

**EFICÁCIA DA PROTEÍNA VIP3AA NO MANEJO DE *Spodoptera frugiperda*  
EM ALGODOEIRO**

por

**MÁRCIO VICTOR GONÇALVES DOS SANTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde – GO

Novembro – 2025

**EFICÁCIA DA PROTEÍNA VIP3AA NO MANEJO DE *Spodoptera frugiperda*  
EM ALGODOEIRO**

por

**MÁRCIO VICTOR GONÇALVES DOS SANTOS**

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira – IF Goiano

Prof. Dr. Luciano Nogueira – IF Goiano

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

D722      Gonçalves dos Santos, Marcio Victor  
            EFICÁCIA DA PROTEÍNA VIP3AA NO MANEJO DE  
            Spodoptera frugiperda EM ALGODOEIRO / Marcio Victor  
            Gonçalves dos Santos. Rio Verde 2026.

38f. il.

Orientador: Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira.

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Nogueira.

Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de  
0233154 - Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos -  
Integral (Campus Rio Verde).

I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 120/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

## PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

### ATA Nº 120 (CENTO E VINTE) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos doze dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e cinco, às 15h00min (quinze horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **MÁRCIO VICTOR GONÇALVES DOS SANTOS**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Jardel Lopes Pereira	IF Goiano – Campus Rio Verde	Presidente
Sihélio Júlio Silva Cruz	IF Goiano – Campus Iporá	Membro interno
Adriano Jakelaitis	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro interno
Luciano Nogueira	IF Goiano – Campus Posse	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jardel Lopes Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 16/12/2025 18:37:29.
- **Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 16/12/2025 18:39:11.
- **Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 16/12/2025 18:48:03.
- **Luciano Nogueira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 16/12/2025 19:05:52.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 774342

**Código de Autenticação:** 75131528d1



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 85/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

EFICÁCIA DA PROTEÍNA VIP3AA NO MANEJO DE *Spodoptera frugiperda* EM ALGODOEIRO

Autor: Márcio Victor Gonçalves dos Santos  
Orientador: Jardel Lopes Pereira

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADA em 12 de dezembro de 2025.

*Assinado eletronicamente*  
Prof. Dr. Luciano Nogueira  
Avaliador externo - IF Goiano Campus  
Posse

*Assinado eletronicamente*  
Prof. Dr. Sihélio Júlio Silva Cruz  
Avaliador interno - IF Goiano Campus  
Iporá

*Assinado eletronicamente*  
Prof. Dr. Adriano Jakelaitis  
Avaliador interno - IF Goiano Campus Rio  
Verde

*Assinado eletronicamente*  
Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira  
Presidente da Banca - IF Goiano Campus  
Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jardel Lopes Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/12/2025 18:39:50.
- **Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/12/2025 18:40:46.
- **Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/12/2025 18:48:13.
- **Luciano Nogueira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/12/2025 19:06:16.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 774350  
**Código de Autenticação:** 3c911608b2



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e persistência para trilhar este caminho e estar proporcionando essa oportunidade de ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

A minha família, especialmente minha mãe por sempre se sacrificar para me dar as oportunidades de estudar e realizar meus sonhos, sem ela eu jamais teria chegado aqui.

A Embrapa e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde e Campus Posse, por todo ensinamento e crescimento pessoal proporcionado pelo mestrado em Bioenergia e Grãos, em especial meu orientador Professor Dr. Jardel e o meu coorientador professor Dr. Luciano.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Cultura do Algodão .....	7
2.2 Lagarta-Militar <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith, 1797) .....	9
2.3 <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith, 1797) na Cultura do Algodão .....	10
2.4 Cultivares de Algodão Transgênicos Vip3Aa19 .....	12
2.5 Custo Adaptativo de um Inseto-Praga e um Cultivar Transgênico .....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1 População de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	16
3.2 Experimentos de Laboratório e Casa de Vegetação .....	16
3.2.1 Plantas .....	16
3.2.2 Custo Adaptativo Associado de Lagartas de <i>S. frugiperda</i> em Plantas com a Expressão da Proteína VIP3Aa .....	17
3.3 Análise Estatística .....	16

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>27</b>

# EFICÁCIA DA PROTEÍNA VIP3AA NO MANEJO DE *Spodoptera frugiperda*

## EM ALGODOEIRO

por

MÁRCIO VICTOR GONÇALVES DOS SANTOS

(Sob Orientação do Professor Dr. Jardel Lopes Pereira – IF Goiano)

### RESUMO

A lagarta-militar (*Spodoptera frugiperda*) é considerada uma das principais pragas agrícolas no Brasil, afetando especialmente o cultivo de algodão produzido em sistema convencional. Para reduzir os prejuízos causados por esse inseto e aumentar a eficiência no manejo, surgiram as variedades geneticamente modificadas que expressam a proteína inseticida de *Bacillus thuringiensis* (Bt), oferecendo uma alternativa mais eficiente de controle. No entanto, o uso inadequado dessa tecnologia, especialmente pela ausência ou condução incorreta da área de refúgio, tem favorecido o desenvolvimento de populações resistentes da praga frente às tecnologias Bt disponíveis. Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficácia da proteína Vip3Aa no controle da *Spodoptera frugiperda* em cultivares de algodão. Para isso, compararam-se lagartas coletadas em Luís Eduardo Magalhães – BA com uma população de referência da Embrapa, ambas mantidas em plantas de algodão convencional e com a tecnologia Bt. Foram avaliados os parâmetros de duração larval, com a viabilidade e sobrevivência diante dos tratamentos analisados. Os resultados obtidos evidenciaram a elevada eficiência da tecnologia Bt (Vip3Aa) no controle de *Spodoptera frugiperda* proveniente de Luís Eduardo Magalhães - BA. Observou-se mortalidade significativa das lagartas alimentadas com folhas e botões florais de algodão Bt, atingindo níveis próximos a 100% após 168 horas de exposição, em contraste com a baixa mortalidade observada no algodão convencional. Diferentemente do hipotetizado, não foi detectada sobrevivência expressiva que indicasse resistência estabelecida ou em

desenvolvimento inicial nesta população de campo. Consequentemente, devido à alta suscetibilidade da população avaliada, não foi possível mensurar o custo adaptativo associado à resistência à proteína Vip3Aa neste estudo, uma vez que a condição primária (presença de indivíduos resistentes) não foi satisfeita. Os dados reforçam que a tecnologia permanece eficaz na região, mas a vigilância e o manejo de resistência (como o uso de refúgios) continuam essenciais para preservar essa eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Gossypium hirsutum*,; algodão transgênico; Cry; MIP; oeste baiano.

EFFICACY OF THE VIP3AA PROTEIN IN THE MANAGEMENT OF *Spodoptera*

*frugiperda* IN COTTON BY

MÁRCIO VICTOR GONÇALVES DOS SANTOS

(Under the advising of Professor Dr. Jardel Lopes Pereira – IF Goiano)

ABSTRACT

The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) is considered one of the most significant agricultural pests in Brazil, particularly affecting cotton crops grown under conventional production systems. To reduce the damage caused by this insect and to enhance management efficiency, genetically modified varieties expressing the insecticidal *Bacillus thuringiensis* (Bt) protein were developed, offering a more effective control alternative. However, the improper use of this technology, especially the absence or incorrect implementation of refuges, has favored the development of resistant populations in response to the available Bt technologies. The objective of this study was to evaluate the efficacy of the Vip3Aa protein in controlling *Spodoptera frugiperda* in cotton cultivars. To this, larvae collected in Luís Eduardo Magalhães, Bahia, were compared with a reference population from Embrapa, both maintained on conventional cotton plants and Bt cotton plants. The parameters assessed included larval duration, viability, and survival under the treatments analyzed. The results demonstrated the high effectiveness of the Bt technology (Vip3Aa) in controlling *Spodoptera frugiperda* originating from Luís Eduardo Magalhães, Bahia. A significant mortality rate was observed in larvae fed with Bt cotton leaves and floral buds, reaching levels close to 100% after 168 hours of exposure, in contrast to the low mortality recorded in conventional cotton. Contrary to the initial hypothesis, no substantial survival was detected that would indicate established or emerging resistance in this field population. Consequently, due to the high susceptibility of the

evaluated population, it was not possible to assess the fitness cost associated with resistance to the Vip3Aa protein in this study, as the primary condition (the presence of resistant individuals) was not met. The findings reinforce that this technology remains effective in the region; however, continuous monitoring and resistance management practices—such as the use of refuge areas—remain essential to preserving its long-term efficacy.

**KEYWORDS:** *Gossypium hirsutum*; transgenic cotton; Cry; IPM; western Bahia.

## 1. INTRODUÇÃO

A lagarta-militar, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma das principais pragas agrícolas das Américas, com ampla distribuição geográfica e elevada capacidade de adaptação a diferentes hospedeiros, incluindo milho, algodão, soja e sorgo (Montezano *et al.* 2018). Apresenta alta capacidade reprodutiva e mobilidade, favorecendo a rápida disseminação e o desenvolvimento de populações resistentes a inseticidas e proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Yu *et al.* 2021; Farias *et al.* 2014).

Na cultura do algodão no Brasil, a *S. frugiperda* veem causando danos expressivos as folhas, estruturas reprodutivas e maçãs do algodoeiro, reduzindo a área fotossintética e comprometendo a qualidade e a produtividade da fibra (Czepak *et al.* 2013). O controle de *S. frugiperda* na cultura do algodão é frequentemente realizado por meio do uso de inseticidas sintéticos, com o objetivo de proteger as plantas contra os danos causados pela praga durante o ciclo de desenvolvimento (Armenta *et al.* 2003; Tavares *et al.* 2010).

Desde a introdução do algodão transgênico no Brasil em 2005, as variedades geneticamente modificadas para expressar proteínas Bt têm sido uma estratégia central no manejo de *S. frugiperda*. Em 2022, aproximadamente 1,4 milhão de hectares de algodão Bt foram plantados, representando a cerca de 86% da área total cultivada no país (Isaaa, 2022). O algodão Bt permite a expressão de proteínas tóxicas, como Cry e Vip3Aa, que promovem a supressão de lepidópteros-praga, redução na aplicação de inseticidas químicos e menor impacto ambiental (Wu *et al.* 2008; Bayer, 2022).

A pressão sobre *S. frugiperda* tem acelerado o processo de evolução da resistência da praga às proteínas Cry1F e Cry1Ab, anteriormente eficazes no controle da lagarta-do-cartucho (Omoto *et al.* 2016). Além disso, a resistência a proteínas Bt tem se espalhado

rapidamente entre populações de *S. frugiperda*, com evidências de resistência cruzada e aumento da frequência de alelos resistentes em diversas regiões agrícolas do Brasil (Bernardi *et al.* 2015).

A proteína Vip3Aa integra a última geração de cultivares de algodão Bt e foi aprovada no Brasil em 2018 pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio, 2018). Contudo, nas safras 2021/2022 e 2022/2023, foram observados casos de populações de *S. frugiperda* resistentes à proteína Vip3Aa em diversas regiões produtoras de algodão, como Mato Grosso e Bahia (Revista Cultivar, 2025). Esses relatos indicam que a resistência à proteína Vip3Aa está se tornando preocupação crescente para a cotonicultura brasileira.

Nos casos de evolução de resistência, é fundamental avaliar o custo adaptativo associado à resistência, que pode afetar a aptidão biológica dos indivíduos resistentes. A resistência a proteínas Bt, como Cry1 e Cry2, pode acarretar custos adaptativos, resultando em menor taxa de crescimento e sobrevivência dos insetos resistentes. No entanto, até o momento, não há estudos publicados no Brasil que avaliem o custo adaptativo associado à resistência de *S. frugiperda* à proteína Vip3Aa em cultivares de algodão (Bernardi *et al.* 2015; Santos-Amaya *et al.* 2016).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficácia da proteína Vip3Aa no controle da *Spodoptera frugiperda* em cultivares de algodão, contribuindo para o entendimento dos impactos da possibilidade de evolução da resistência na dinâmica populacional da praga e no manejo integrado de pragas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Cultura do Algodão

O algodão (*Gossypium* L.) é uma planta da família Malvaceae, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo por causa da fibra natural de alto valor econômico. Acredita-se que a cultura tenha origem há 5.000 anos na Ásia e nas Américas, com evidências arqueológicas de uso no Egito e na Índia antigas (Hutchinson, 2011; Wendel & Grover, 2015). Existem mais de 50 espécies de *Gossypium*, mas apenas quatro são comercialmente importantes: *Gossypium hirsutum* (algodão upland), *Gossypium barbadense* (algodão egípcio ou Pima), *Gossypium arboreum* e *Gossypium herbaceum* (ICAC, 2020). Dentre elas, *G. hirsutum* é responsável por aproximadamente 90 % da produção mundial pela alta produtividade e adaptabilidade a diferentes condições ambientais (FAO, 2023).

A planta possui caule ereto e ramificado, folhas alternadas lobadas e flores axilares ou em ramos floríferos com cinco pétalas, que evoluem para frutos denominados cápsulas ou *bolls*, nos quais se desenvolvem as fibras que recobrem as sementes (Britannica, 2025; World Flora Online, 2025). Do ponto de vista anatômico, a fibra é uma célula epidérmica alongada da semente, composta principalmente por celulose (mais de 90% de massa seca), conferindo resistência, absorção de água e maciez, características essenciais para o uso têxtil (Kim & Triplett, 2001)

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial do cultivo de algodão, com produção altamente tecnificada e foco em sustentabilidade. Segundo dados do United States Department of Agriculture (USDA, 2023), o país produziu a cerca de 3,7 milhões de toneladas de algodão em pluma na safra 2023/24, tornando-se o maior exportador global, ultrapassando os Estados Unidos. A área cultivada alcançou aproximadamente 2,1 milhões de hectares,

concentrando-se principalmente nos estados de Mato Grosso e Bahia (Revista Cultivar, 2024). Esse desempenho é resultado de avanços tecnológicos, melhoramento genético e programas de certificação, como o Algodão Brasileiro Responsável (ABR), que reforçam o compromisso com práticas socioambientais sustentáveis (MAPA, 2024).

Em escala global, o algodão continua sendo uma das principais fibras naturais utilizadas pela indústria têxtil, cultivado em mais de 80 países, com destaque para Índia, China, Estados Unidos, Brasil e Paquistão (FAO, 2023). A produção mundial é próxima de 25 milhões de toneladas anuais, de acordo com o relatório World Cotton Outlook (USDA, 2024). Contudo, a cotonicultura internacional enfrenta desafios estruturais relacionados à mudança climática, à escassez hídrica e à degradação dos solos agrícolas. O International Cotton Advisory Committee (ICAC, 2020) destaca ainda a crescente adoção de cultivares geneticamente modificadas, como o algodão Bt, que contribuem para o controle de pragas e redução no uso de inseticidas, especialmente em países asiáticos e africanos.

Apesar da expansão produtiva, o algodão é considerado uma cultura de alto impacto ambiental. Pesquisas recentes indicam que a cotonicultura global é responsável por grande consumo de água, a cerca de 10 mil litros por quilograma de fibra produzida, e uso intensivo de fertilizantes e pesticidas, acarretando sérios riscos ecológicos (Zhang *et al.* 2023). No Brasil, a expansão para áreas do Cerrado e o aumento do uso de defensivos têm levantado debates sobre sustentabilidade e conservação de biomas sensíveis (Datamar News, 2025). Por outro lado, programas como o Better Cotton Initiative e o ABR/BCI têm estimulado práticas mais sustentáveis, promovendo rastreabilidade, manejo integrado e redução do impacto ambiental (Cotton Brazil, 2024).

No estado de Goiás, o cultivo de algodão tem apresentado crescimento consistente nos últimos anos, com ampliação tanto da área plantada quanto da produção e produtividade. Por exemplo, na safra 2021/22, estimou-se a produção de 127,9 mil toneladas de algodão em Goiás,

em 28,3 mil hectares, representando aumento de 16,5% em produção e de 12,4% na área cultivada em comparação ao período anterior, com produtividade média a cerca de 4,4 toneladas/hectare; Goiás nessa safra estava na terceira posição nacional entre os estados produtores (SEAPA-GO, 2022). Em outra estimativa mais recente, para a safra de 2023/24, projetou-se que a produção atingiria 151,3 mil toneladas, em uma área de aproximadamente 34,5 mil hectares, crescimento similar de 16,5% sobre o ciclo anterior, colocando o estado em quinto lugar no ranking nacional (Agro em Dados / SEAPA-GO, 2024). As práticas agrícolas em Goiás também têm enfatizado controle fitossanitário, certificação e rastreamento das áreas cultivadas, o que contribui para a qualidade da fibra e a competitividade nos mercados externos (AGROEPROSA.TV, 2025).

## **2.2. Lagarta-Militar *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797)**

A lagarta-militar *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) é uma das principais pragas agrícolas do continente americano e, mais recentemente, tem disseminado para a África, Ásia e Oceania, tornando-se uma ameaça global à segurança alimentar (Tay *et al.* 2023). Trata-se de uma espécie polífaga e altamente adaptável, que se alimenta de mais de 350 espécies de plantas cultivadas e espontâneas, com destaque para o milho, sorgo, arroz e algodão (Tay *et al.* 2023). Sua biologia, caracterizada por alta fecundidade, curta duração do ciclo de vida e grande capacidade de dispersão por voo, permite o rápido estabelecimento em novas áreas agrícolas. Além disso, populações distintas (“milho” e “arroz”) apresentam variações genéticas e comportamentais que afetam a preferência hospedeira e a resposta a métodos de controle (Tay *et al.* 2023; Silva *et al.* 2024).

O impacto econômico da *S. frugiperda* na agricultura é expressivo, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Pesquisas mostram que a praga pode causar perdas de até 50% na produtividade do milho, dependendo do estágio fenológico e da intensidade de infestação (Chisonga *et al.* 2023). No Brasil e em outros países produtores, o ataque nas fases iniciais do

desenvolvimento da cultura compromete o crescimento das plantas e reduz a formação de espigas, resultando em menor rendimento e qualidade dos grãos (Embrapa, 2024). Em estudos realizados na África, observou-se que o milho possui alguma capacidade de compensar o dano foliar leve, porém, infestações severas durante o enchimento de grãos provocam reduções significativas de produtividade (Chisonga *et al.* 2023; FAO, 2023). A amplitude de hospedeiros e a resistência aos inseticidas convencionais tornam o manejo dessa praga um desafio crescente para agricultores e pesquisadores.

O manejo da lagarta-militar requer a adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP), combinando monitoramento, controle biológico, práticas culturais e uso racional de inseticidas. Estratégias como o plantio escalonado, a destruição de restos culturais e o uso de armadilhas de feromônio auxiliam na redução das populações iniciais (Cimmyt, 2024). O controle biológico tem se mostrado promissor, com uso de parasitoides como *Telenomus remus*, fungos entomopatogênicos e vírus específicos da espécie (FAO, 2023). Entretanto, casos de resistência a proteínas Bt, como Vip3Aa, já foram relatados em populações de *S. frugiperda* no Brasil, evidenciando a necessidade de rotação de tecnologias e integração de diferentes métodos de controle (Silva *et al.* 2024).

### **2.3. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) na Cultura do Algodão**

A lagarta-militar (*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) – Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga polífaga amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais, e tem se tornado um dos principais desafios no cultivo do algodão no Brasil e em outros países produtores (Czepak *et al.* 2013; Tay *et al.* 2023). Embora seja tradicionalmente associada à cultura do milho, a capacidade de adaptação a diferentes hospedeiros e o aumento do cultivo de algodão Bt em sucessão ou rotação com milho favoreceram sua presença nas lavouras algodoeiras (Silva *et al.* 2024). As lagartas atacam principalmente folhas, estruturas reprodutivas e maçãs novas, causando perdas significativas de produtividade e qualidade da

fibra. Além disso, a presença simultânea de outras pragas, como *Helicoverpa armigera* e *Alabama argillacea*, agrava o manejo integrado e eleva os custos de produção (Embrapa, 2024).

O comportamento alimentar da *S. frugiperda* no algodão é influenciado pela variedade cultivada e pelo nível de expressão das proteínas inseticidas em plantas geneticamente modificadas. Apesar da eficácia inicial das tecnologias Bt, casos de resistência têm sido relatados em populações brasileiras e norte-americanas, principalmente contra as proteínas Cry1F e Vip3Aa (Yang *et al.* 2018; Silva *et al.* 2024). Ensaios de campo realizados em regiões produtoras do Cerrado demonstraram aumento nas taxas de sobrevivência larval em híbridos de algodão Bt, indicando evolução de resistência e necessidade de revisão das estratégias de manejo (Farias *et al.* 2019). A migração de populações oriundas de áreas de milho Bt para lavouras de algodão intensifica a pressão de seleção e reduz a longevidade das tecnologias transgênicas (Tay *et al.* 2023).

O manejo da lagarta-militar na cultura do algodão deve ser baseado no conceito de Manejo Integrado de Pragas (MIP), combinando controle biológico, práticas culturais e uso criterioso de inseticidas (Embrapa, 2024). O monitoramento regular da população da praga por meio de armadilhas de feromônio e amostragens foliares é fundamental para a tomada de decisão e aplicação racional de defensivos (Bueno *et al.* 2022). O uso de agentes biológicos, como o parasitoide *Telenomus remus* e os entomopatógenos *Bacillus thuringiensis* e *Metarhizium anisopliae*, tem mostrado resultados promissores no controle de populações resistentes (Rodrigues *et al.* 2021). Além disso, o manejo da cobertura vegetal e a destruição dos restos culturais reduzem as fontes de infestação e ajudam a interromper o ciclo da praga entre as safras (Embrapa, 2024).

O uso de táticas integradas é essencial para garantir a sustentabilidade da produção algodoeira e a durabilidade das tecnologias Bt. A rotação de cultivos e de proteínas inseticidas,

aliada à manutenção de áreas de refúgio e à diversificação de métodos de controle, constitui a base de um manejo eficaz e ambientalmente responsável (Farias *et al.* 2019; Silva *et al.* 2024). Nesse contexto, o fortalecimento da pesquisa e da extensão rural é indispensável para o desenvolvimento de novas estratégias de monitoramento e controle, especialmente frente às mudanças climáticas e à intensificação dos sistemas produtivos. Assim, o controle racional da *S. frugiperda* no algodão representa um desafio contínuo que requer integração entre ciência, tecnologia e gestão agrícola (Tay *et al.* 2023; Embrapa, 2024).

#### **2.4. Cultivares de Algodão Transgênicas Vip3Aa19**

Os cultivares de algodão transgênicos que expressam a proteína Vip3Aa19, geralmente em pirâmide com outras proteínas Bt, como Cry1Ac ou Cry1F, são avaliados como alternativa promissora para controle de lepidópteros resistentes a Bt tradicionais. Um estudo recente sobre o milho Bt Vip3Aa/Cry no Brasil demonstrou que populações de *Spodoptera frugiperda* ainda permanecem altamente suscetíveis, após vários anos de exposição, com mortalidades de 98 e 100% em menos de cinco dias, quando alimentadas com plantas que expressam Vip3Aa/Cry (Silva *et al.* 2024). Embora esse estudo tenha sido em milho, indica que Vip3Aa continua sendo eficaz em ambientes sob pressão de uso prolongado de híbridos Bt, sugerindo que cultivares de algodão com Vip3Aa19 também podem manter bom desempenho, caso haja expressão adequada da proteína (Silva *et al.* 2024).

Contudo, há evidências de que a resistência pode evoluir, e que a eficácia de Vip3Aa19 pode sofrer redução dependendo da população de praga e do histórico de uso. O estudo de Cry realizado por Santos-Amaya *et al.* (2022), apresentou frequências de alelos de resistência, base genética e possíveis custos de aptidão associados à resistência, e é relevante para culturas como o algodão, que compartilham a mesma praga. Além disso, estudos laboratoriais sobre interaction of Cry1 and Vip3A proteins with *S. frugiperda* demonstram que Vip3A tem um

local de ligação no intestino diferente do Cry, ajudando no uso piramidal das proteínas, evitando cross-resistência (Sena, Hernández-Rodríguez & Ferré, 2009).

Em relação ao desempenho prático em algodão, um estudo na Universidade Federal de Viçosa avaliou cultivares Bt com Vip (não necessariamente exatamente Vip3Aa19 em todos os casos) contra *H. armigera* e *S. frugiperda*, mostrando que cultivares que expressam Vipow Bt + Cry apresentam menor dano larval em órgãos reprodutivos do algodoeiro comparado aos cultivares convencionais, embora com variação entre os estágios larvais e tecido vegetal atacado (Alves Neto, 2024).

Por fim, para garantir durabilidade da tecnologia Vip3Aa19 em algodão, é essencial implementar estratégias de manejo de resistência, tais como uso de áreas de refúgio, rotação de genes Bt, combinação de Bt com controle biológico, monitoramento regional de suscetibilidade da praga e adoção de práticas culturais (por exemplo, destruição de restos culturais). Baseado nos estudos revisados, Vip3Aa19 mostra alto potencial, mas o uso responsável é fundamental para evitar perda de eficácia com o tempo (Silva *et al.* 2024; Yang *et al.* 2022; Sena *et al.* 2009).

## **2.5. Custo Adaptativo de um Inseto-Praga e um Cultivar Transgênico**

A adoção de cultivares transgênicos que expressam proteínas inseticidas, como as de *Bacillus thuringiensis* (Bt), pressionam populações de insetos-praga a evoluírem resistência. Esse processo adaptativo envolve o aparecimento ou aumento de alelos de resistência que permitem ao inseto sobreviver ou reproduzir-se em plantas modificadas. No entanto, muitas vezes tal adaptação carrega consigo um custo adaptativo, ou seja, indivíduos portadores dos alelos de resistência podem ter menor aptidão (sobrevivência, desenvolvimento ou reprodução) em ambientes em que o gene inseticida não está presente ou em hospedeiros alternativos (refúgios) (Hackett & Bonsall, 2016).

Esse custo adaptativo manifesta-se por compensações biológicas: por exemplo, mutações que conferem resistência podem alterar o metabolismo, a alocação de recursos ou o desenvolvimento larval, de modo que, embora o inseto sobreviva no cultivar transgênico, ele cresce mais lentamente, produz menos descendentes ou sofre maior mortalidade em plantas convencionais. Em um estudo recente, verificou-se que populações de *Spodoptera frugiperda* resistentes a um cultivar de milho Bt (Cry1A.105 + Cry2Ab2) apresentaram redução significativa na aptidão em plantas hospedeiras menos adequadas, evidenciando que o custo adaptativo pode ser amplificado sob condições desfavoráveis para o inseto (Santos-Amaya *et al.* 2022).

Por outro lado, a ausência ou a pouca magnitude desses custos adaptativos facilita a rápida evolução da resistência e compromete a durabilidade de cultivar transgênico. Conforme revisão global, a cerca de 60% dos casos estudados de resistência aos cultivares Bt, não foram detectados custos adaptativos ou eles eram muito baixos (Huang, 2020). Essa falta de custo permite que os insetos resistentes mantenham aptidão competitiva mesmo em refúgios (plantios de plantas não Bt), o que acelera a disseminação do alelo de resistência e reduz a eficácia da estratégia refúgio tradicional de manejo (Hackett & Bonsall, 2016).

No caso do cultivar transgênico, o custo adaptativo relaciona-se também à própria eficácia e longevidade da tecnologia. Quando o inseto-praga adapta-se rapidamente e com baixo custo adaptativo, o cultivar deixa de controlar eficientemente a praga, exigindo novas estratégias ou mesmo o abandono da tecnologia. Nesse sentido, compreender e quantificar os custos adaptativos dos insetos é essencial para o manejo sustentável dos cultivares Bt, definindo por exemplo o tamanho e a forma dos refúgios, a rotação de plantas ou a introdução de genes múltiplos (piramidagem) nas plantas transgênicas (Gould, 1998; Züst & Agrawal, 2017).

Assim, o conceito de custo adaptativo entre insetos-praga e cultivares transgênicos revela complexa interligação entre genética da resistência, ecologia de planta hospedeira e estratégias de manejo agrícola. Embora o uso de cultivares Bt seja uma ferramenta poderosa, seu sucesso de longo tempo depende justamente de explorar os custos adaptativos dos insetos para retardar a evolução da resistência. Essa dinâmica evidencia que a evolução adaptativa não é “gratuita”: resistência pode acarretar penalidades que, se bem aproveitadas no manejo, aumentam a sustentabilidade da tecnologia.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os bioensaios foram conduzidos em Correntina – BA e Luís Eduardo Magalhães – BA. O município de Correntina – BA a altitude média de 623 m enquanto em Luís Eduardo Magalhães a altitude média é de 720 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical com estação seca bem definida), caracterizado por uma estação chuvosa, compreendida entre os meses de outubro a abril. A classificação do solo em Correntina é Latossolos (vermelho-amarelo e amarelo), Neossolos Quartzarênicos e Cambissolos, já em Luís Eduardo Magalhães é predominantemente Latossolos (vermelhos, vermelhos-amarelos e amarelos) com textura arenosa/média, distrófico e presença de Neossolos Quartzarênicos. Os dados climáticos de temperatura e precipitação das cidades em que foram conduzidos os bioensaios estão dispostos na Figura 1 (Correntina – BA) e Figura 2 (Luís Eduardo Magalhães – BA).

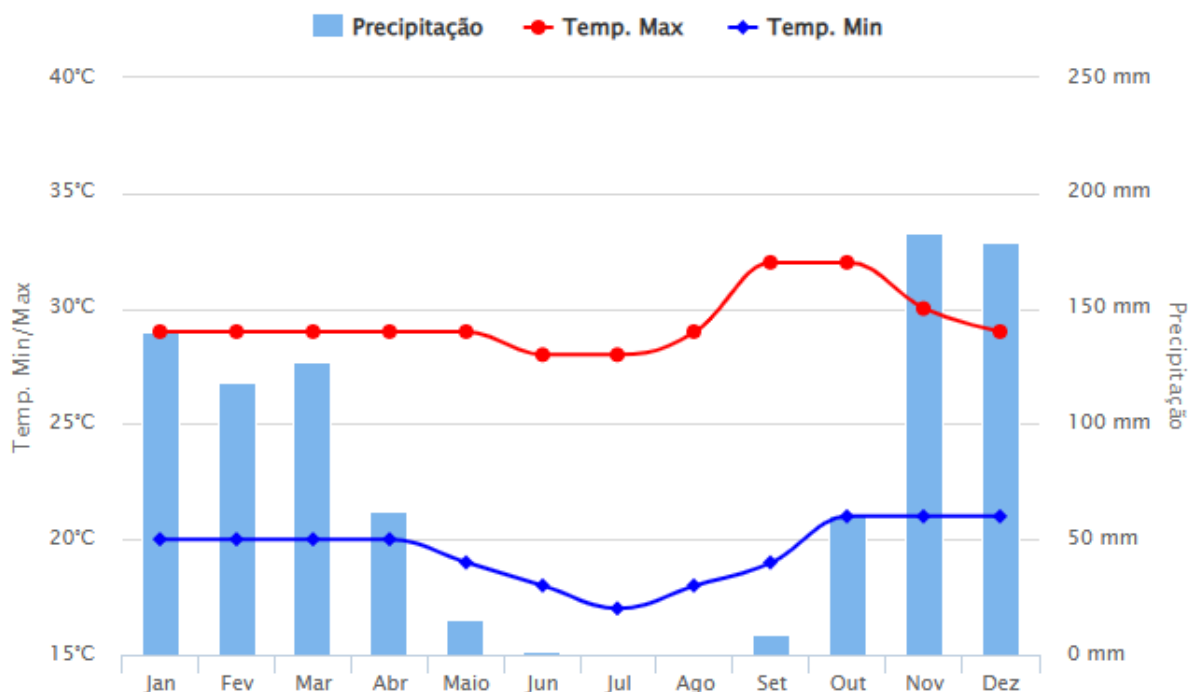


Figura 1. Precipitação e temperatura na cidade de Correntina – BA.

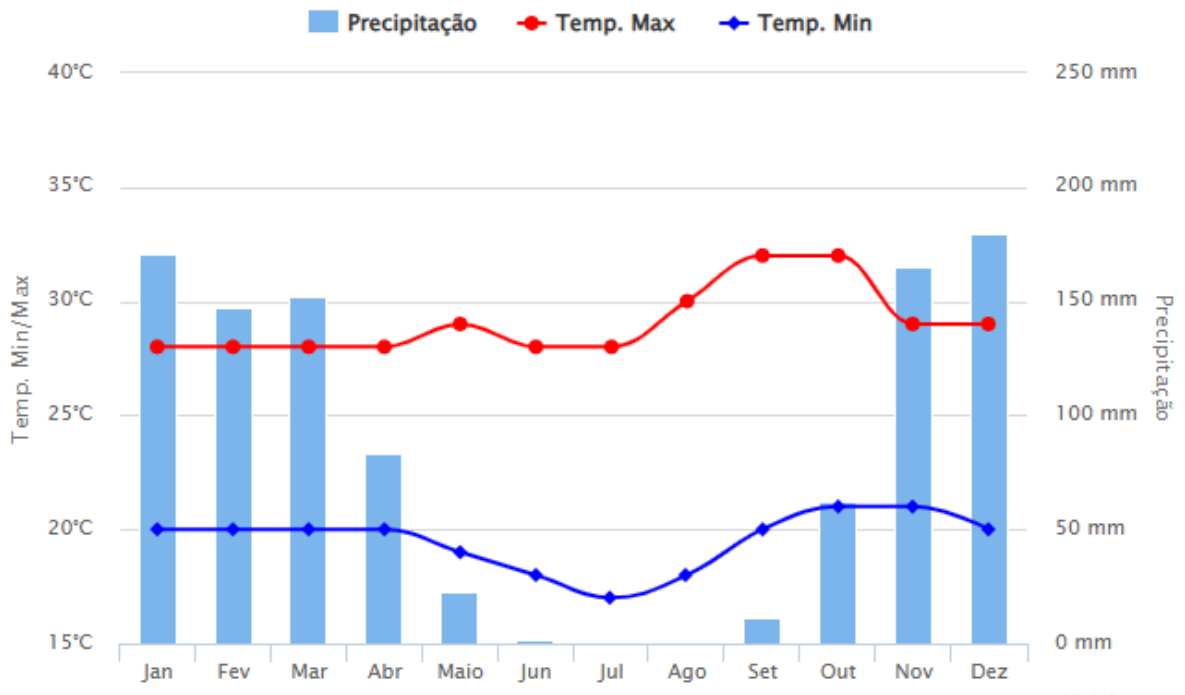


Figura 2. Precipitação e temperatura na cidade de Luís Eduardo Magalhães – BA.

### 3.1. População de *Spodoptera frugiperda*

A população de referência foi recebida da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. A população comercial de insetos utilizadas nos bioensaios foram coletados em área comercial de algodão, *Glossypium hirsutum* L., no município de Luís Eduardo Magalhães na safra de 2023 para 2024. A coleta das lagartas de *S. frugiperda* (~ 200 lagartas) foi realizada em área de cultivo de algodão com a tecnologia Widestrike® 3. As lagartas foram colocadas em recipientes de criação (tubos de ensaio) de 39 cm<sup>3</sup> fechados na extremidade com chumaço de algodão hidrófobo, com aproximadamente 7 cm<sup>3</sup> de dieta artificial, segundo a metodologia descrita por Greene *et al.* (1976). A alimentação das lagartas foi realizada por meio da dieta artificial e os adultos em solução de mel a 10% (w v<sup>-1</sup>). A criação foi mantida em laboratório sob condições controladas (Temperatura: 25 ± 2°C; Umidade Relativa: 70 ± 10%, e fotoperíodo de (12L: 12D h).

### 3.2. Experimentos de Laboratório e Casa de Vegetação

#### 3.2.1. Plantas

Os cultivares de algodão utilizados foram FM 944 GL sem a expressão da proteína resistente e FM 985 GLTP a qual possui a expressão da proteína VIP3Aa19, ambos foram cultivados na casa de vegetação. As plantas foram cultivadas com espaçamento entre sementes de 8 cm, as entrelinhas com 70x70 cm, com o total de seis linhas de plantio com extensão de 4 m, o solo foi preparado com adição de esterco bovino e adubação mineral em NPK na formulação de 8-20-18 com aplicação de 400 kg/ha na linha e duas adubações de cobertura sendo uma com 30 dias de plantio com dose 200 kg/ha com aplicação a lanço e outra aos 45 dias com mais 200 kg/ha, em ambos os casos foram utilizados 20-0-20, em cada adubação foi aplicado boro na proporção de 0,5% da dose de NPK formulado na forma de octaborato com concentração de 20,5% com sementes sendo plantadas a 2 cm de profundidade.

As plantas foram mantidas em casa de vegetação (tela antiafídeo - 50 mesh) e irrigadas diariamente usando quantidades similares de água para evitar indução indesejada de estresse hídrico. Para a realização dos experimentos foi utilizada estruturas vegetativas e reprodutivas de plantas de algodão de acordo com (Marur; Ruano, 2004), sendo entre folhas de V4 e V6 e botões florais B2 a B4.

### **3.2.2. Custo Adaptativo Associado de Lagartas de *S. frugiperda* em Plantas com a Expressão da Proteína VIP3Aa**

Os experimentos foram realizados utilizando folhas e os botões florais das plantas nos estádios fenológicos descritos e foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso constituído por dois tratamentos para cada estrutura e sete repetições, sendo cada repetição constituída por cinco insetos. As estruturas utilizadas foram retiradas da região apical das plantas de algodão e conduzidas ao laboratório, colocadas em solução de hipoclorito de sódio a 0,075%, por 30 segundos, seguida de três lavagens em água deionizada e posteriormente enxugadas com papel toalha. Após, foram retiradas secções foliares (4 × 5 cm) e acondicionadas em recipientes de criação (recipientes plásticos) de 8 cm de altura × 5 cm de diâmetro, contendo ao fundo papel

filtro umedecido com água deionizada. Em cada recipiente foram inoculadas cinco lagartas recém-eclodidas de *S. frugiperda* com prazo máximo de 24 h da eclosão. As folhas foram trocadas dia sim e dia não até a finalização das análises, a fim de manter alimento disponível para as lagartas.

Para o estudo parâmetros biológicos, foi avaliado o período larval observando a duração, a sobrevivência e a viabilidade, das lagartas, as avaliações foram feitas nos períodos de 24, 72h, 120 e 168h após a instalação do experimento em laboratório.

### **3.3. Análise Estatística**

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Kolmogorov-Sminorv ( $P < 0,05$ ) e Levene ( $P < 0,05$ ) para verificação da normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Após a verificação, foi realizada a análise de variância (ANOVA) pelo teste F e com efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Os dados expressos em porcentagem foram transformados em  $\arcsen(x/100)^{1/2}$  para atender aos requisitos da análise de variância (ANOVA) em seguida as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). As análises estatísticas dos dados foram realizadas usando o Software R versão 4.2.0 (R Core Team, 2022).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mortalidade de *Spodoptera frugiperda* variou significativamente entre os tratamentos e o tempo de exposição (24, 72, 120 e 168 horas) das lagartas. Às 24 h após a exposição, a mortalidade foi baixa em todos os tratamentos, com valores variando de 1% nas folhas de algodão convencional e Bt a 8% nos botões florais de algodão Bt. Às 72 h, a mortalidade aumentou substancialmente nas plantas Bt, atingindo 78% nas folhas e 61% nos botões florais, enquanto o algodão convencional apresentou apenas 9% e 50%, respectivamente. Após 120 e 168 h, a mortalidade nas plantas Bt foi próxima de 100%, indicando alta eficiência do algodão Bt no controle da praga, enquanto o algodão convencional manteve mortalidades inferiores a 16%. Os valores de P e F confirmam diferenças significativas entre tratamentos ao longo do tempo ( $P < 0,05$ ;  $F = 0,0001$ ) conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1. Mortalidade ( $\pm$ EPM) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* coletadas em Correntina- BA em algodão Bt e convencional Luís Eduardo Magalhães – Bahia, 2025.

Tratamentos	% Mortalidade (horas)			
	24	72	120	168
Folha Algodão conv.	1,00 $\pm$ 1,00 b	9,00 $\pm$ 2,70 a	12,00 $\pm$ 3,05 a	15,00 $\pm$ 3,27 a
Botão Floral Algodão conv.	5,00 $\pm$ 2,14 ab	50,00 $\pm$ 0,00 b	16,00 $\pm$ 3,33 b	0,00 $\pm$ 0,00 a
Folha Algodão Bt	1,00 $\pm$ 1,00 b	78,00 $\pm$ 3,82 b	99,00 $\pm$ 1,00 c	100,00 $\pm$ 0,00 b
Botão Floral Algodão Bt	8,00 $\pm$ 2,61 a	61,00 $\pm$ 3,85 c	80,00 $\pm$ 4,28 c	99,00 $\pm$ 1,01 c
<i>F</i>	3,45*	93,10**	197,40**	976,24**
<i>P</i>	0,0178	0,0001	0,0001	0,0001

EPM – Erro Padrão da Média. \* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os resultados demonstram a elevada eficiência da tecnologia Bt no controle de *S. frugiperda*, principalmente após 72 h de exposição, corroborando com estudos anteriores que registraram alta suscetibilidade dessa espécie às proteínas inseticidas produzidos por *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Holman *et al.* 2025). A presença de aleloquímicos no algodoeiro, especialmente o gossypol e outros aldeídos terpenoides produzidos em glândulas epidérmicas,

constitui um dos principais mecanismos de defesa da planta contra insetos herbívoros. O gossypol apresenta distribuição desigual entre os órgãos da planta, tendo altos níveis em sementes, folhas jovens e brácteas florais, e concentrações menores em caules e raízes, resultando em diferentes graus de proteção para cada tecido (Gadelha *et al.*, 2014; ScienceDirect Topics, 2025). Essa variação espacial afeta diretamente o desempenho de lagartas, uma vez que a ingestão de tecidos com maior teor de gossypol provoca redução na digestibilidade, diminuição do ganho de peso e aumento da mortalidade em espécies como *Helicoverpa zea* e *Helicoverpa armigera* (Kreml *et al.*, 2016), corroborando com os resultados obtidos nesse estudo (Tabela 1). Estudos também mostram que a produção de terpenoides pode alterar em resposta a estímulos bióticos e varia entre genótipos de algodão, influenciando o nível de resistência conferido pela planta (Wang & Davis, 1997). Além disso, pesquisas recentes demonstram que é possível modular a distribuição do gossypol via engenharia genética, reduzindo a concentração nas sementes e mantendo-o em tecidos vegetativos sem comprometer a defesa química (Gao *et al.*, 2022).

A mortalidade próxima de 100% observada em larvas de *Spodoptera frugiperda* expostas a plantas transgênicas que expressam a proteína Vip3Aa20 confirma a elevada eficiência dessa toxina contra populações de campo (Moscardini *et al.* 2020; Agronomy, 2024). Esse desempenho contrasta fortemente com o cenário de redução de eficácia relatado para proteínas do grupo Cry1F/Cry1A.105/Cry2Ab2 no Brasil, em especial diante dos relatos de resistência natural ou adaptativa à tecnologia Bt, o que poderia comprometer o controle quando tais eventos ficam isolados ou não suficientemente refugados (Bernardi *et al.* 2015; Theoretical and Applied Genetics, 2022). A ausência de sobrevivência significativa da população testada, presumivelmente oriunda da região de Luís Eduardo Magalhães, sugere que a frequência de alelos de resistência à Vip3Aa20 permanece baixa nesta área produtora, corroborando dados recentes de monitoramento nacional que estimaram frequências de alelos de resistência para

Vip3Aa20 perto de 0,0027 a 0,0033 (Moscardini *et al.* 2020; Geographical distribution of Vip3Aa20 resistance allele frequencies, 2019). Devido a essa alta suscetibilidade, não foi possível observar sobreviventes suficientes para estimar parâmetros biológicos em dieta não-Bt, inviabilizando a caracterização de eventual custo adaptativo, custo este que foi previamente documentado em linhagens selecionadas em laboratório para resistência a Vip3Aa20, com redução na sobrevivência larval e menor fecundidade dos adultos (Yu *et al.* 2016).

Sorgatto, Bernardi & Omoto (2015) observaram mortalidades superiores a 80% em neonatos de *S. frugiperda* em folhas de algodão Bt (Cry1Ac/Cry2Ab2 e Cry1Ac/Cry1F) comparadas à planta não-Bt. A rápida mortalidade observada em folhas e botões florais de algodão Bt, pode ser atribuída ao mecanismo de ação das proteínas Cry (Crystal) e Vip3Aa, expressas no tecido vegetal, que causam desorganização do epitélio intestinal das lagartas (Bravo *et al.* 2017). Apesar de não ter sido possível localizar um estudo que correlacione especificamente Vip3Aa + Cry em algodão no Brasil com *S. frugiperda*, as análises de cultivos Bt que combinam Cry1Ac e Vip3A evidenciam que a pirâmide de toxinas aumenta o espectro e a velocidade de ação (Chen *et al.* 2017).

No algodão convencional, a baixa mortalidade confirma a ausência de expressão dessas proteínas inseticidas e, conseqüentemente, permite maior sobrevivência e desenvolvimento das lagartas. A resistência evoluída em *S. frugiperda* às proteínas Cry1F e Cry1Ab em milho indica que, em hospedeiros que expressam apenas uma proteína ou nenhuma (como variedades convencionais), a sobrevivência da praga pode ser muito elevada (Omoto *et al.* 2016). Além disso, a diferença entre mortalidade em folhas e botões florais pode estar relacionada à variação de concentração ou expressão da proteína Bt nos diferentes tecidos do algodoeiro, conforme alertado por Adamczyk & Gore (2004) para algodão Bt nos EUA, em que diferentes partes da planta e diferentes cultivares expressam níveis distintos de Cry1Ac, afetando o nível de controle da praga.

Os altos níveis de mortalidade em algodão Bt nesse experimento indicam que, no momento, a tecnologia continua eficaz no controle de *S. frugiperda* na região de Luís Eduardo Magalhães – BA. No entanto, deve-se destacar que casos de resistência já foram documentados para essa espécie no Brasil, sobretudo contra a proteína Cry1F (Farias *et al.* 2014) e contra Cry1Ab (Omoto *et al.* 2016). Por exemplo, Bernardi *et al.* (2014) relataram baixa suscetibilidade de *S. frugiperda* a soja que expressa Cry1Ac, demonstrando que a praga pode já apresentar tolerância ou resistência a certas toxinas de Bt. Do mesmo modo, Horikoshi *et al.* (2015) selecionaram linhagem near-isogênica de *S. frugiperda* resistente a Cry1F no Brasil, avaliando custo de aptidão da resistência.

Ao considerar a durabilidade desta eficácia, torna-se fundamental abordar o conceito de custo adaptativo associado à resistência a Bt. Em termos evolutivos, se indivíduos de *S. frugiperda* desenvolverem alelos de resistência que lhes permitam sobreviver na planta Bt, a existência ou magnitude de um *cost* adaptativo em ambientes não Bt (e.g., planta convencional ou refúgio) pode determinar a rapidez com que a resistência se espalha (Gassmann, Carrière & Tabashnik 2009).

Em relação da *S. frugiperda* no Brasil, estudos avaliaram se há ou não custos adaptativos relevantes para resistência à proteína Cry1F. Santos-Amaya *et al.* (2017) identificou que, em duas linhagens brasileiras selecionadas para resistência a Cry1F; não observaram custos de aptidão significativos no laboratório. Horikoshi *et al.* (2015) concluíram que não foram observados “custos de aptidão relevantes” em uma linhagem *near-isogenic* resistente a Cry1F, em condição de dieta artificial.

Ao comparar o nível de mortalidade observados neste estudo com dados obtidos da literatura, a tecnologia Bt está conseguindo levar a *S. frugiperda* à morte na região de Luis Eduardo Magalhães - BA (Tabela 1). Mas se a resistência evoluir e não for acompanhada por custos adaptativos significativos, isso significa que os indivíduos resistentes poderiam manter

ou recuperar aptidão semelhante aos suscetíveis em ambientes não Bt (ou em partes de planta com menor expressão de Bt, como pode ser o caso dos botões florais), o que facilitaria a disseminação da resistência. Por exemplo, a menor mortalidade no botão floral de algodão Bt (61% aos 72 h vs 78% na folha) sugere que essa parte da planta pode representar um nicho de menor expressão ou menor eficácia da toxina Bt, e poderia permitir sobreviventes iniciarem seleção de resistência.

Em termos de manejo, isso implica que embora a tecnologia Bt tenha mostrado excelente desempenho imediato, a durabilidade desse desempenho depende de três fatores interligados: (1) minimizar o número de sobreviventes em planta Bt (ou em tecidos de “escape”); (2) garantir que, caso surjam indivíduos resistentes, esses apresentem custos adaptativos que retardem a propagação; (3) implementar estratégias de manejo de resistência, tais como refúgios, rotação de modos de ação, monitoramento de danos, para reforçar a pressão sobre os suscetíveis e reduzir a vantagem dos resistentes (Tabashnik & Carrière 2017). Contudo, a eficácia atual reforça a necessidade urgente da manutenção de áreas de refúgio estruturado para retardar a evolução da resistência, visto que a Vip3Aa representa, atualmente, uma das últimas tecnologias Bt altamente eficazes disponíveis para a cultura do algodão no país.

Os milhos Bt expressam toxinas para controlar e reduzir inseticidas químicos, mas o uso intenso gera forte pressão de seleção e já levou a evolução de resistência em várias espécies-alvo (Tabashnik & Carrière, 2017; Xiao & Wu, 2019; Kabede, 2020). O besouro da raiz do milho (*Diabrotica virgifera virgifera*) no Estados Unidos; desde 2009 foram transmitidos campos com dano severo em híbridos Bt Cry3Bb1, bioensaios confirmaram a resistências de campo e mostraram demonstração positiva (Gassmann *et al.* 2011; Gassmann, 2012). A resistência expandiu para outros eventos (mCry3A e eCry3.1Ab), com forte resistência cruzada entre toxinas Cry (Gassmann *et al.* 2014; Jakka *et al.* 2016; Gassmann *et al.* 2020).

A determinação da concentração de proteínas Bt (como Cry1Ab, Cry1Ac, Vip3A) em tecidos de milho é baseado em reação de antígeno-anticorpo e leitura colorimétrica. A microplaca é recoberta com um anticorpo de captura específico da proteína Bt (anti-Cry1Ab ou anti-Cry1Ac) (Walschus *et al.*, 2002). Extrai-se a proteína das plantas (folhas, raízes, grãos etc.) com tampão, o extrato é colocado no poço, e a proteína Bt (antígeno) liga-se ao anticorpo de capturas (Wang *et al.* 2007). Adiciona-se um segundo anticorpo, também específico para a mesma toxina, ligado a uma enzima formando-se o “sanduíche”: anticorpo de captura – Bt – anticorpo marcado (Zhang *et al.* 2016); depois é adicionado o substrato cromogênico; a enzima converte o substrato em um produto colorido. A intensidade da cor medida no leitor (absorbância) é proporcional à quantidade de Bt no poço (Nguyen *et al.* 2009), uma curva padrão é gerada usando concentrações conhecidas de Bt purificada; a partir dessa curva, calcula-se a concentração nas amostras de planta (ng/mL, µg/g tecido etc.) (Zhang *et al.* 2016).

## CONCLUSÕES

O estudo comprovou que o algodão Bt promoveu mortalidades de *Spodoptera frugiperda* muito superiores às observadas no algodão convencional, especialmente a partir de 72 h de exposição, com valores próximos de 100% em 120 h e 168 h nos tecidos avaliados. Esses resultados comprovam que, no curto prazo e sob as condições avaliadas em Luís Eduardo Magalhães (BA), a tecnologia Bt continua eficaz no controle desta praga.

Entretanto, para assegurar a durabilidade desta eficácia é fundamental considerar o risco de evolução da resistência da praga e, particularmente, o papel do custo adaptativo: se os indivíduos resistentes à tecnologia Bt não sofrerem penalidades de aptidão (por exemplo menor sobrevivência, desenvolvimento retardado ou fecundidade reduzida) quando alimentados em hospedeiros não Bt ou em tecidos de menor expressão da toxina, então esses indivíduos poderão persistir e disseminar mesmo sem seleção direta.

Para mitigar a ação da praga (*S. frugiperda*) nas plantações de algodão deve-se associar o cultivo de algodão com a tecnologia Bt juntamente com Manejo Integrado de Pragas (MIP), usar controle biológico (feromônio para disrupção de acasalamento), ao usar inseticidas sintéticos, usar a dose recomendada pela bula para evitar resistência dos insetos; sempre dando preferência a sementes com tecnologia Bt Vip3AA.

Recomenda-se ao produtor que esteja plantando algodão com tecnologia Bt Vip3AA que faça monitoramento logo após a emergência (para evitar ataques ao “coração” do ponteiro) até a fase reprodutiva (para evitar danos aos botões florais e maçãs), na fase reprodutiva precisa-se redobrar a atenção ao monitoramento para evitar danos aos capulhos. O monitoramento pode ser realizado com espaçamento de 3-14 dias.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Adamczyk, J.J., Jr. & Gore, J. 2004.** Development of bollworms, *Helicoverpa zea*, on two commercial Bollgard® that differ in overall Cry1Ac levels. *Journal of Insect Science*, 4:32.

**Afzal, M. B. S.; Ijaz, M.; Abbas, N.; Shad, S. A. & Serrão, J. E. 2024.** Resistance of Lepidopteran Pests to *Bacillus thuringiensis* Toxins: Evidence of Field and Laboratory Evolved Resistance and Cross-Resistance, Mode of Resistance Inheritance, Fitness Costs, Mechanisms Involved and Management Options. *Toxins (Basel)*. 12;16(7):315.

**Agro Em Dados / SEAPA-GO. 2024.** Em sua nova edição, Agro em Dados destaca cenário do cultivo de algodão em Goiás. 13 mar. 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/agricultura/em-sua-nova-edicao-agro-em-dados-destaca-cenario-do-cultivo-de-algodao-em-goias/>. Acesso em: 16 out. 2025.

**AGROEPROSA. TV. 2025.** Goiás amplia certificação e mira mercado asiático de algodão. 20 mar. 2025. Disponível em: <https://www.agroeprosa.tv/noticia/2540/mercado/goias-amplia-certificacao-e-mira-mercado-asiatico-de-algodao.html>. Acesso em: 16 out. 2025.

**Alves, A.F.N. 2024.** Potencial do algodão transgênico *Bacillus thuringiensis* Vip3A contra *Spodoptera frugiperda* resistente a Bt Cry e *Helicoverpa armigera*. 2024. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: [https://locus.ufv.br/items/e4f778b2-efe5-4685-ac1e-9f04b086b6b5?utm\\_source=chatgpt.com](https://locus.ufv.br/items/e4f778b2-efe5-4685-ac1e-9f04b086b6b5?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 17 de out. 2025.

**Armenta, R., Martínez, A.M., Chapman, J.W., Magallanes, R., Goulson, D., Caballero, P., Cave, R.D., Cisneros, J., Valle, J., Castillejos, V., Penagos, D.I., García, L.F. & Williams, T. 2003.** Impact of a nucleopolyhedrovirus bioinsecticide and selected synthetic insecticides on the abundance of insect natural enemies on maize in southern Mexico. *Environmental Entomology*, 29(3):442–452.

**Bayer. 2022.** A Sustentabilidade do Algodão Bt. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/a-sustentabilidade-do-algodao-bt>. Acesso em: 15 de out. 2025.

**Bernardi, O, Bernardi, D, Horikoshi, R.J, Okuma, D.M, Miraldo, L.L., Fatoletto, J, & Omoto, C. 2015.** Selection and characterization of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistant to the Bt protein Cry1F in Brazil. *Pest Management Science*, 71(8):1058–1066.

**Bernardi, D., Salmeron, E., Horikoshi, R.J., Bernardi, O., Dourado, P.M. & Carvalho, R. A. 2015.** Cross-Resistance between Cry1 Proteins in Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) May Affect the Durability of Current Pyramided Bt Maize Hybrids in Brazil. *PLOS ONE*, 10(10):e0140130.

**Bernardi, O.; Sorgatto, R.J.; Barbosa, A.D.; Domingues, F.A.; Dourado, P.M.; Carvalho, R.A. & Omoto, C. 2014.** Low susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuidae) to Cry1F protein in Brazil. *Pest Management Science*, 70(8): 1187–1192.

**Britannica. 2025.** Cotton: Description, Fiber, History, Production, Uses, Botanical Name, & Facts. 2025. Disponível em: <https://www.britannica.com/money/cotton-fibre-and-plant>. Acesso em: 16 out. 2025.

**Bueno, A. de F.; Pessoa, M.C.P.Y. & Corrêa-Ferreira, B.S. 2022.** Manejo integrado de pragas na cultura do algodão. Londrina: Embrapa Soja, 45 p.

**Chen, W.B.; Lu, G.Q.; Cheng, H.M.; Liu, C.X.; Xiao, Y.T.; Xu, C.; Shen, Z.C. & Wu, K.M. 2017.** Transgenic cotton co-expressing Vip3A and Cry1Ac has a broad insecticidal spectrum against lepidopteran pests. *Journal of Invertebrate Pathology*.

**Chisonga, C.; Chipabika, G.; Sohati, P.H. & Harrison, R.D.** Understanding the impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) leaf damage on maize yields. *PLOS ONE*, 18(6): e0279138, 2023.

**CIMMYT – International Maize and Wheat Improvement Center.** Fall Armyworm R4D and Management. México: CIMMYT, 2024. Disponível em: <https://www.cimmyt.org/projects/fall-armyworm-r4d-and-management/>. Acesso em: 17 out. 2025.

**Cotton Brazil. 2024.** Rastreabilidade e sustentabilidade do algodão brasileiro. 2024. Disponível em: <https://cottonbrazil.com>. Acesso em: 16 out. 2025.

**CTNBio - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. 2018.** Parecer Técnico nº 1.179/2018. Disponível em: <https://www.ctnbio.gov.br>. Acesso em: 26 de mai. 2023.

**Czepak, C, Albernaz, K.C, Vivan, L.M, Guimarães, H.O, & Carvalhais, T. 2013.** Primeiro registro de ocorrência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) resistente à proteína Cry1F no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(1):110–113.

**Datamar News. 2025.** Brazil leads cotton exports but faces climate challenges. 2025. Disponível em: <https://datamarnews.com/noticias/brazil-leads-cotton-exports-but-faces-climate-challenges/> . Acesso em: 16 out. 2025.

**EMBRAPA.** Lagarta-do-cartucho do milho: biologia, monitoramento e manejo integrado. Brasília, DF: Embrapa Milho e Sorgo, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 17 out. 2025.

**EMBRAPA.** Lagarta-do-cartucho e lagarta-militar na cultura do algodão: estratégias de manejo integrado. Brasília, DF: Embrapa Algodão, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/algodao>. Acesso em: 17 out. 2025.

**FAO – Food and Agriculture Organization. 2023.** World Cotton Outlook 2023. Roma: FAO, 2023. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e04f2b4-82fc-4740-8cd5-9b66f5335239/content> . Acesso em: 16 out. 2025.

**FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Global Action for Fall Armyworm Control: Progress Report 2023. Roma: FAO, 2023. 48 p. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e50d4cd9-c774-4a3b-ab8e-6144eca8af5c/content> . Acesso em: 16 out. 2025.

**Farias, J.R, Horikoshi, R.J, Santos, A.C, & Omoto, C. 2016.** Geographical and temporal variability in susceptibility to Cry1F toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 109(2):745–751.

**Farias, J.R.; Bernardi, O.; Salmeron, E. & Omoto, C. 2019.** Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 125:104905.

**Farias, J.R, Andow, D.A, Horikoshi, R.J, Sorgatto, R.J, Fresia, , dos Santos, A. C, & Omoto, C. 2014.** Frequency of Cry1F resistance alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations from Brazil. *Pest Management Science*, 70(5):829–834.

**Gassmann, A. J., Shrestha, R. B., Kropf, A. L., St Clair, C. R., & Brenizer, B. D. (2020).** Field-evolved resistance by western corn rootworm to Cry34/35Ab1 and other *Bacillus thuringiensis* traits in transgenic maize. *Pest management science*, 76(1), 268-276.

**Gassmann, A. J., Petzold-Maxwell, J. L., Clifton, E. H., Dunbar, M. W., Hoffmann, A. M., Ingber, D. A., & Keweshan, R. S. (2014).** Field-evolved resistance by western corn

rootworm to multiple *Bacillus thuringiensis* toxins in transgenic maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), 5141-5146.

**Gassmann, A. J., Petzold-Maxwell, J. L., Keweshan, R. S., & Dunbar, M. W. (2011).** Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm. *PloS one*, 6(7), e22629.

**Gassmann, A.J.; Carrière, Y. & Tabashnik, B.E. 2009.** Fitness Costs of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology*, 54:147-163.

**Gassmann, A. J. (2012).** Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm: predictions from the laboratory and effects in the field. *Journal of invertebrate pathology*, 110(3), 287-293.

**Gould, F. 1998.** Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology*, 43:701-726.

**Hackett, S.C. & Bonsall, M.B. 2016.** Type of fitness cost influences the rate of evolution of resistance to transgenic Bt crops. *Journal of Applied Ecology*, 53(5):1391-1401.

**Holman, S., Grundy, P., Spafford, H., & Furlong, M. 2025.** Lethal and sublethal effects of cotton expressing single and pyramided proteins of *Bacillus thuringiensis* (Bt) on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae), and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, toaf089.

**Horikoshi, R.J.; Bernardi, D.; Okuma, D.M.; Farias, J.R.; Miraldo, L.L.; Amaral, F.S.A. & Omoto, C. 2015.** Near-Isogenic Cry1F-Resistant Strain of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Investigate Fitness Cost Associated With Resistance in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 109(2):854-859.

**Huang, F. 2020.** Dominance and fitness costs of insect resistance to genetically modified *Bacillus thuringiensis* crops. *GM Crops & Food*, 12(1):192-211.

**Hutchinson, J. 2011.** The Origin and Spread of Cotton. *Journal of Economic Botany*, 2011.

**ICAC – International Cotton Advisory Committee. 2020.** Sustainable Cotton Production: Challenges and Opportunities. Washington, D.C.: ICAC, 2020. Disponível em: <https://icac.org/wp-content/uploads/2025/02/Article-for-World-Cotton-Day-2020-converted.pdf> . Acesso em: 16 out. 2025.

**Isaaa. 2022.** International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA): global status of commercialized biotech/GM. Cotton. Disponível em: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/default.asp>. Acesso em: 26 de mai. 2023.

**Jakka, S. R., Shrestha, R. B., & Gassmann, A. J. (2016).** Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins by western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). *Scientific reports*, 6(1), 27860.

**Kebede, G. G. (2020).** Development of resistance to *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin by insect pests. *Asian Journal of Research in Biosciences*, 2(1), 9-28.

**Kim, H.J. & Triplett, B.A. 2001.** Cotton Fiber Growth in Planta and in Vitro. Models for Plant Cell Elongation and Cell Wall Biogenesis, *Plant Physiology*, 127(4):1361–1366.

**MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. 2024.** Características da produção de algodão no Brasil. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/conheca-caracteristicas-da-producao-de-algodao-no-brasil>. Acesso em: 16 out. 2025.

**MGPS (Multiple Genes Pyramiding and Silencing). 2020.** Insect resistancemanagement in *Bacillus thuringiensis* cotton by MGPS (multiple genes pyramiding and silencing). *Journal of Cotton Research*, Article number: 33. 13 p.

**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. 2018.** Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2):286–300.

**Nguyen, H. T., & Jehle, J. A. (2009).** Expression of Cry3Bb1 in transgenic corn MON88017. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 9990-9996.

**Omoto, C., Bernardi, O., Salmeron, E., Sorgatto, R.J., Dourado, P.M., Crivellari, A., Carvalho, R.A., Willse, A., Martinelli, S. & Head, G.P. 2016.** Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, 72(4):772–779.

**Otim, M. H., Ajam, A. L., Ogwal, G., Adumo, S. A., Kanyesigye, D., Niassy, S., Hailu, G., Akutse, K. S., & Subramanian, S. 2024.** Biorationals and Synthetic Insecticides for Controlling Fall Armyworm and Their Influence on the Abundance and Diversity of Parasitoids. *Sustainability*, 16(8):3118.

**Revista Cultivar. 2025.** Quebra de tecnologia no milho preocupa produtores de MT. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/quebra-de-tecnologia-no-milho-preocupa-produtores-de-mt>. Acesso em: 15 de out. 2025.

**Revista Cultivar. 2024.** Produção de algodão cresce no Brasil, diz USDA. 2024. Disponível em: <https://revistacultivar.com>. Acesso em: 16 out. 2025.

**Rodrigues, J. L.M.; Costa, R.R.; Andrade, R.S. & Santos, A.M.** Controle biológico e integração de estratégias no manejo de *Spodoptera frugiperda* em algodoeiro. Revista Brasileira de Entomologia Aplicada, 10(3)45–56.

**Santos-Amaya, O.F.; Tavares, C.S.; Rodrigues, J. V. C.; Oliveira, E.E.; Guedes, R.N. C. & Pereira, E.J.G. 2022.** Strong fitness costs of fall armyworm resistance to dual-gene Bt maize are magnified on less-suitable host-crop cultivars. Agronomy, 12(3):682.

**Santos-Amaya, O.F.; Tavares, C.S.; Rodrigues, J.V.C.; Campos, S.O.; Guedes, R.N. C.; Alves, A.P. & Pereira, E.J.G. 2017.** Fitness Costs and Stability of Cry1Fa Resistance in Brazilian Populations of *Spodoptera frugiperda*. Pest Management Science, 73:35-43.

**Santos-Amaya, O.F., Tavares, C.S., Monteiro, H.M., Teixeira, T.P., Guedes, R.N., Alves, A.P. & Pereira, E.J. 2016.** Genetic basis of Cry1F resistance in two Brazilian populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Crop Protection. 81:154-162.

**SEAPA-GO.** Goiás deve registrar aumento de 16,5% na produção de algodão na safra 2021/2022. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Goiás. 14 mar. 2022. Disponível em: <https://goias.gov.br/emater/goias-deve-registrar-aumento-de-algodao-na-producao-de-algodao-na-safra-2021-2022/>. Acesso em: 15 out. 2025.

**Sena, J.A.D.; Hernández-Rodríguez, C.S. & Ferré, J. 2009.** Interaction of *Bacillus thuringiensis* Cry1 and Vip3A proteins with *Spodoptera frugiperda* midgut binding sites. Applied and Environmental Microbiology, 75(7):2236-2237.

**Silva, A.F.T.; Silva, L.B.; Malaquias, J.B.; Salustino, A.S.; Correia Neto, D.F.; Pacheco, D.M.; Fragoso, D.B. & Pereira, E.J.G. 2024.** Susceptibility of Fall Armyworm Field Populations to Vip3Aa/Cry Bt Maize in a Tropical Agricultural Region. Agronomy, 14(3):art.451.

**Silva, A.F.T.; Malaquias, J.B.; Salustino, A.S.; Pacheco, D.M.; Fragoso, D.B. & Pereira, E.J.G. 2024.** Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* Field Populations to Vip3Aa/Cry Bt Cotton in Brazil. Agronomy, 14(3)art.451.

**Sorgatto, R.J.; Bernardi, O. & Omoto, C. 2015.** Survival and development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on Btcotton and implications for resistance management strategies in Brazil. *Environmental Entomology*, 44(1), 186-192.

**Tabashnik, B. E., & Carrière, Y. (2017).** Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. *Nature biotechnology*, 35(10), 926-935.

**Tabashnik, B.E. & Carrière, Y. 2017.** Insect resistance to Bt crops: lessons from the first two decades. *Nature Biotechnology*, 35:114–128. (citado através de revisão MGPS, 2020)

**Tay, W.T.; Meagher, R.L.; Czapak, C. & Groot, A.T. 2023.** *Spodoptera frugiperda*: Ecology, evolution, and management options of an invasive species. *Annual Review of Entomology*, 68:299–320.

**Tavares, W.S, Costa, M.A, Cruz, I, Silveira, R.D, Serrao, J.E, & Zanuncio, J.C. 2010.** Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* and its predator *Eriopis connexa*. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 45(6):557-561.

**USDA – United States Department of Agriculture. 2023.** Cotton and Wool Outlook 2023–2024 Report. Washington, D.C.: USDA, 2024. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/kp78gg36g/j9603s109/3n205r20h/cotton.pdf>. Acesso em: 16 out. 2025.

**Yang, F.; Wang Z. & Kerns, D.L. 2022.** Resistance of *Spodoptera frugiperda* to Cry1, Cry2, and Vip3Aa Proteins in Bt Corn and Cotton in the Americas: Implications for the Rest of the World. *J Econ Entomol*, 14;115(6):1752-1760.

**Yang, F.; WU, Y. & Huang, F. 2018.** Cross-resistance and biochemical mechanisms of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to Cry1F and Cry1Ab proteins in transgenic maize. *Pest Management Science*, 74(12):2844–2854.

**Yu, H.; Wu, K. & Jiang, Y. 2021.** Resistance evolution of *Spodoptera frugiperda* to Bt crops: mechanisms, monitoring, and management strategies. *Insects*, 12(5):468.

**Walschus, U. W. E., Witt, S., & Wittmann, C. (2002).** Development of monoclonal antibodies against Cry1Ab protein from *Bacillus thuringiensis* and their application in an ELISA for detection of transgenic Bt-maize. *Food and agricultural immunology*, 14(4), 231-240.

**Wang, S., Guo, AY, Zheng, WJ, Zhang, Y., Qiao, H., & Kennedy, IR (2007).** Desenvolvimento de ELISA para a determinação de algodão transgênico Bt usando anticorpos contra a proteína Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* HD-73. *Engineering in Life Sciences* , 7 (2), 149-154.

**Wendel, J.F. & Grover, C.E. 2025.** Taxonomy and Evolution of Cotton Genus, *Gossypium*. Crop Science, 2015.

**World Flora Online. 2025.** *Gossypium L.* Disponível em: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000016081>. Acesso em: 16 out. 2025.

**Wu, K.M.; Lu, Y. H.; Feng, H.Q.; Jiang, Y. Y.; & Zhao, J. Z. 2008.** Suppression of Cotton Bollworm in Multiple Crops in China in Areas with Bt Toxin-Containing Cotton. *Science*, 321(5896):1676-1678.

**Xiao, Y., & Wu, K. (2019).** Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1767), 20180316.

**Zhang, Y., Zhang, W., Liu, Y., Wang, J., Wang, G., & Liu, Y. (2016).** Development of monoclonal antibody-based sensitive ELISA for the determination of Cry1Ie protein in transgenic plant. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 408(28), 8231-8239.

**Zhang, Z.; Huang, J.; Yao, Y.; Peters, G.; Macdonald, B.; La Rosa, A.D. & Scherer, L. 2023.** Environmental impacts of cotton and opportunities for improvement. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4:703-715.

**Züst, T. & Agrawal, A.A. 2017.** Trade-offs between plant growth and defense against insect herbivory: an emerging mechanistic synthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 68:513-534.