

**BIANCA STEFANI PEREIRA DIAS**

**IMPACTO DE GENÓTIPOS DE MILHO COM TECNOLOGIAS Bt NO CONTROLE  
DE *Spodoptera frugiperda* E *Helicoverpa zea* EM CAMPOS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Defesa Sanitária Vegetal, para obtenção do título de *Magister*.

Orientador: Eugênio Eduardo de Oliveira

Coorientadores: Eliseu José Guedes Pereira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

D541i  
2023  
Dias, Bianca Stefani Pereira, 1994-  
Impacto de genótipos de milho com tecnologias Bt no controle de *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea* em campos de cultivo / Bianca Stefani Pereira Dias. – Viçosa, MG, 2023.  
1 dissertação eletrônica (29 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Eugênio Eduardo de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, 2023.

Referências bibliográficas: f. 26-29.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.400>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Milho - Resistência a doenças e pragas - Aspectos genéticos. 2. Milho - Doenças e pragas - Controle. I. Oliveira, Eugênio Eduardo de, 1979-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Defesa Sanitária Vegetal. III. Título.

CDD 22. ed. 633.152


**BIANCA STEFANI PEREIRA DIAS**

**IMPACTO DE GENÓTIPOS DE MILHO COM TECNOLOGIAS Bt NO CONTROLE  
DE *Spodoptera frugiperda* E *Helicoverpa zea* EM CAMPOS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Defesa Sanitária Vegetal, para obtenção do título de *Magister*.


APROVADA: 26 de maio de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 BIANCA STEFANI PEREIRA DIAS  
Data: 11/07/2023 11:35:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Bianca Stefani Pereira Dias**  
Autora

Documento assinado digitalmente  
 EUGENIO EDUARDO DE OLIVEIRA  
Data: 12/07/2023 08:14:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Eugênio Eduardo de Oliveira**  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

Aos meus pais.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

DIAS, Bianca Stefani Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2023. **Impacto de genótipos de milho com tecnologias Bt no controle de *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea* em campos de cultivo.** Orientador: Eugênio Eduardo de Oliveira. Coorientador: Eliseu José Guedes Pereira.

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais versáteis, apresentando grande adaptabilidade sob variadas condições em todo o mundo. Contudo, os cultivos de milho são atacados por insetos-pragas e, para minimizar o risco de perdas, utiliza-se cultivares transgênicos resistentes a alguns deles. Essa resistência decorre da inserção um ou mais genes de *Bacillus thuringiensis* (Bt) no genoma do milho, tornando-o geneticamente modificado. O milho Bt possui grande área de plantio e as suas principais pragas-alvo são *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho) e *Helicoverpa zea* (lagarta-da-espiga). O presente estudo objetivou determinar o desempenho de milhos Bt com as tecnologias transgênicas PWU, PW, Leptra, VIP3 e VTPRO3 no controle dessas principais lagartas que atacam a cultura do milho. Para isto, foram avaliados o grau da injúria foliar causada por *S. frugiperda* e a intensidade de infestação por lagartas em campos de milho nas safras 2020/2021 (Ano 1) e 2021/2022 (Ano 2) no município de Indianópolis, Minas Gerais, Brasil. Para a avaliação da injúria foliar provocada pela lagarta do cartucho foi utilizada a escala Davis, aos 25 dias e 35 dias após a emergência das plantas (DAE). Avaliou-se o número de lagartas presentes nas plantas, contabilizando-se aquelas maiores ou menores que 1,5 cm (3º instar) em dez plantas por parcela. Também se avaliou a área danificada (cm<sup>2</sup>) nas espigas e o número de lagartas nelas presentes. Os resultados mostraram que a infestação e a injúria foliar pela lagarta do cartucho foram condicionadas pela interação ano × tecnologia de milho Bt nas duas safras em que os dados foram coletados, tanto aos 25 quanto aos 35 dias após a emergência das plantas (DAE). Nas plantas de milho de 35 DAE, a densidade populacional de lagartas pequenas (< 1,5 cm) foi inferior no Ano 2 independentemente das tecnologias de milho Bt avaliadas. O grau de injúria na espiga variou entre os anos e as tecnologias de milho Bt, a interação entre o ano e tecnologia Bt foi significativa somente para *S. frugiperda*. A infestação por *S. frugiperda* foi maior na safra 2021/2022 enquanto a infestação e injúria por *H. zea* não diferiram. Também houve

diferença entre as tecnologias de milho Bt na infestação por *H. zea* e danos na espiga por *S. frugiperda*. No milho não-Bt, as lagartas do cartucho cresceram acima de 1,5 cm, e causaram grau de injúria na escala de Davis em anos de alta (nota igual a 7) e baixa infestação (nota igual a 4). As plantas com as tecnologias Bt VTPRO3 e PW apresentaram notas de injúria na faixa de 3 a 5 na escala de Davis. Nas plantas expressando a toxina Vip3Aa não houve a presença de lagartas do cartucho e da espiga e nem injúria delas. Assim, pode-se concluir que as tecnologias de milho Bt PWU e Leptra são eficientes contra as duas espécies de lagartas, *S. frugiperda* e *H. zea*, e o risco de infestação e injúria por elas podem variar dependendo da safra ou ano de condução do cultivo.

Palavras-chave: *Bacillus thuringiensis*. Infestação de lagartas. Injúria foliar. Milho Bt.

## ABSTRACT

DIAS, Bianca Stefani Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May 2023. **Impact of maize genotypes with Bt technologies on the control of *Spodoptera frugiperda* and *Helicoverpa zea* in corn fields.** Adviser: Eugênio Eduardo de Oliveira. Co-adviser: Eliseu José Guedes Pereira.

Corn (*Zea mays L.*) is one of the most versatile emerging cereals, having greater adaptability under different conditions around the world, and to obtain it transgenic in order to control crop pests, one or more genes of *Bacillus thuringiensis* (Bt) in which they produce genetically modified maize. Bt corn has a large current planting area in its cultivation and, among the main target pests of Bt control, are the caterpillars of the species *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) and *Helicoverpa zea* (corn earworm). The present study aimed to determine the performance of Bt corn using PWU, PW, Leptra, VIP3 and VTPRO3 technologies in controlling the main caterpillars that attack the corn crop. For this, the leaf damage rating caused by *S. frugiperda* (Davis scale), the intensity of infestation by caterpillars in an experimental field in a corn crop installed in the 2020/2021 (Year 1) and 2022/2023 (Year 2) harvests were determined in the municipality of Indianópolis, Minas Gerais, Brazil. The Davis Scale was used as a parameter for evaluating the damage caused by the fall armyworm and the analyzes were performed 25 days (25DAE) and 35 days (35DAE) after emergence. The number of caterpillars larger and smaller than 1.5 centimeters (3rd instar) in 10 plants per plot were evaluated. The damaged area (cm<sup>2</sup>) in the ears and the number of caterpillars present in them were also assessed. Data were analyzed using generalized linear models, in a procedure analogous to the analysis of variance. The effects of fixed factors were tested with the *F* test, and the significant differences ( $P < 0.05$ ) were determined by contrast test using the estimates of the least square means. The results showed that the infestation and leaf damage by the fall armyworm were conditioned by interaction year × Bt corn technology in the two seasons in which the data were collected, both at 25 and 35 days after plant emergence (DAE). On corn plants of 35 DAE, the population density of small caterpillars (< 1.5 cm) was lower in Year 2 regardless of the Bt corn technologies evaluated. The damage level in the ear varied between the years and the Bt corn technologies, the interaction between the year and Bt technology was

significant only for *S. frugiperda*. Infestation by *S. frugiperda* was higher in the 2021/2022 season, while infestation and damage by *H. zea* did not differ. There was also a difference between Bt corn technologies in the infestation by *H. zea* and ear damage by *S. frugiperda*. On non-Bt corn, the fall armyworms higher than 1.5 cm, and caused a leaf damage rating of score 7 on the Davis scale in year of high and score 4 under low infestation, respectively. The plants with Bt VTPRO3 and PW technologies presented damage scores in the range of 3 to 5 on the Davis scale. On the plants expressing Vip3Aa, there was no fall armyworms and corn earworms present and no damage by them. Thus, it can be concluded that the PWU and Leptra Bt corn technologies are efficient against the two caterpillar species, *S. frugiperda* and *H. zea*, and their infestation and plant damage levels caused by them may vary depending on the season or year of cultivation.

Keywords: *Bacillus thuringiensis*. Bt corn. Caterpillar infestation. Leaf injury.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Infestação por lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em tecnologias de milho Bt que produzem duas ou três proteínas Bt nas plantas aos 25 dias após emergência do cultivo. Asterisco (\*) indica diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre o desempenho da tecnologia Bt em ano de Alta vs. Baixa infestação por lagartas. As médias e erros padrões com a mesma linha vertical não diferem entre si ( $P > 0,05$ ).....22
- Figura 2 - Infestação por lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em tecnologias de milho Bt que produzem duas ou três proteínas Bt nas plantas aos 35 dias após a emergência do cultivo.....23
- Figura 3 - Injúria foliar por lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em tecnologias de milho Bt que produzem duas ou três proteínas Bt. Dados de plantas aos 25 dias após a emergência do cultivo.....24

## LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Lista de híbridos utilizados no experimento.....	20
Quadro 2 - Descrição da escala de Davis com as notas (0 a 9) utilizada para avaliação de injúria foliar causada pela lagarta do cartucho nas tecnologias Bt e convencional do milho.....	20
Tabela 1 - Resultados do teste F para efeitos fixos dos fatores e sua interação na injúria foliar e infestação pela lagarta do cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ) na fase vegetativa do milho.....	22
Tabela 2 - Resultados do teste F para efeitos fixos dos fatores e da interação entre eles para a injúria na espiga e a infestação pela lagarta do cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ) e lagartas da espiga ( <i>Helicoverpa zea</i> ).....	22

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
2.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	13
2.2. VARIÁVEIS AVALIADAS .....	14
2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
5. CONCLUSÃO .....	18
REFERÊNCIAS.....	26

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta pertencente à família Poaceae, nativa das Américas e é uma das culturas mais exploradas no mundo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor e um dos cinco maiores exportadores de milho (USDA, 2021). O milho é cultivado em todas as regiões do Brasil, principalmente na segunda safra (CONAB, 2022). Devido ao ataque de pragas, a produtividade do milho pode ser reduzida, dependendo da época do cultivo e do híbrido utilizado (Burtet et al., 2017).

No Brasil, as estimativas das perdas causadas por ataques de insetos nas 35 principais lavouras variam entre 2 e 43% e, em média, os insetos causam perdas de 7,7% nessas principais culturas, gerando um prejuízo anual de aproximadamente US\$ 14,7 bilhões para a economia brasileira (BENTO, 1999; GOELLNER, 1993).

Além dos prejuízos econômicos relacionados à redução da produção, o controle de pragas requer medidas que contribuam para o aumento dos gastos, o que aumenta os danos que esses organismos causam à economia, ao meio ambiente e à saúde humana e animal (SINDAG, 2013). O Brasil é um dos maiores consumidores de defensivos agrícolas e, embora no Brasil sejam utilizadas estratégias bem-sucedidas de controle de pragas que permitem o controle de pragas-chave com impactos ambientais reduzidos, baseadas, por exemplo, em agentes de controle biológico, como o uso de plantas geneticamente modificadas em culturas como soja, milho e algodão (BERNARDI et al., 2013; OKUMURA et al., 2013).

Uma das principais pragas da cultura do milho no Brasil é a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae), que pode ocorrer em todos os estágios da cultura, causando danos nas folhas, colmo e na espiga e pode reduzir a produção em até 50%, dependendo das condições ambientais e estágio da planta. Seu ciclo de vida é de aproximadamente 30 dias e cada fêmea adulta pode colocar de 1500 a 2000 ovos, variando de 100 a 200 por postura (CRUZ et al., 2013; VALICENTE, 2015; Lima et al., 2021). O uso de variedades resistentes é um método de controle que pode potencialmente diminuir as perdas causadas por *S. frugiperda*.

Neste caso, a resistência de plantas aos insetos é uma outra proposta de controle no manejo e integrado ao *S. frugiperda* para reduzir e minimizar os efeitos

adversos que os produtos químicos no meio ambiente podem ser usados em conjunto com outros produtos químicos como estratégia de controle (MONTEZANO et al., 2018).

Outra praga que ocasiona perdas econômicas na da cultura do milho é a espécie *Helicoverpa zea* (lagarta-da-espiga), com seus primeiros relatados no Brasil com quase 97% de infestação diretamente na espiga de milho e o restante em danos diretos nos grãos formados. Esta praga pode interferir no desenvolvimento da segunda espiga e/ou impedir que a maioria dos estigmas sejam fertilizados, causando falhas na formação de partículas na extremidade livre da espiga, além de prejudicar o corpo e a fisiologia estrutural reprodutiva da planta de milho ocasionados pelas larvas ficam nas espigas para fornecer entrada aos patógenos produzidos principalmente pelas micotoxinas deixados pelos fungos (SANTOS et al., 2016).

O manejo das populações de *H. zea* é quase totalmente feita por pesticidas que possuem substâncias químicas, que reduzem a eficiência de acordo com a posição do inseto na planta, protegido dentro da espiga de milho. É dito ser difícil ao implementar um plano de manejo integrado de pragas, isso se deve à extensa diversidade de hospedeiros, dependendo da espécie da planta e a boa adaptabilidade dessas pragas aos diferentes ambientes (HANASHIRO, 2014).

O uso da tecnologia Bt ainda é uma das principais estratégias para o manejo de pragas lepidópteras. Para obter um cereal transgênico para controlar as pragas, insere-se um ou mais genes do *Bacillus thuringiensis* (Bt) no qual produzem milho geneticamente modificados. Assim, as lagartas ao se alimentam de tecido foliar, ingerem esta proteína do milho geneticamente modificado e atuam nas células epiteliais do próprio trato digestivo, promovendo a destruição osmótica dessas células, o que determinará a morte de insetos antes que causem danos às plantações (MICHELOTTO et al., 2011).

Após o primeiro lançamento comercial em 2008, vários híbridos Bt geneticamente modificados foram introduzidos e amplamente usados pelos produtores e no Brasil, o milho Bt possui mais de 80% da área de plantio atual em seu cultivo e as principais pragas alvo do controle Bt são a lagarta-do-exército do outono, *Spodoptera litura frugiperda*, *Diatraea saccharalis* e a lagarta *Helicoverpa zea* (VERTUAN et al., 2017).

Com o uso crescente de tecnologia milho Bt, as preocupações também aumentaram com o desenvolvimento de resistência, no qual entre as pragas alvo do milho Bt, *S. frugiperda* é a que tem maior potencial de evolução de resistência, pois tem-se uma grande capacidade de reprodução, as gerações são contínuas e sobrepostas e a disponibilidade permanece constante ao longo do ano, o que torna bom para manter uma população elevada, ocorrência e durante todas as estações ter o crescimento da espécie (MORAES; LOURENÇÃO; PATERNIANI, 2014).

As proteínas Cry e Vip, como a Cry1, Cry2 e Vip3, são codificadas pelos genes do Bt. Elas têm efeito inseticida atuando no intestino médio de alguns lepidópteros, incluindo *S. frugiperda*. O efeito inseticida dessas proteínas podem ser brevemente descrito como quatro estágios, primeiramente quando os cristais de proteína são ingeridos e dissolvidos em um pH alcalino, a protoxina é liberada no intestino do inseto, o que determina a especificidade da espécie alvo, posteriormente, as protoxinas são ativadas por enzimas digestivas, as protoxinas se ligam aos receptores da membrana do intestino médio e os poros são formados na membrana do intestino médio dos insetos, causando um desequilíbrio dos íons ambientais dentro e fora das células, levando à paralisia e morte dos insetos (PETERLINI; OLIVEIRA; AZEVEDO, 2014).

Com isto, as hipóteses do presente estudo são: a) As tecnologias PwU e Leptra permitirão alta proteção (poucas raspagens nas folhas) das plantas de milho contra injúrias *S. frugiperda*; b) As tecnologias PwU e Leptra permitirão proteção satisfatória das plantas milho contra injúrias de *H. zea* (baixa ou nula proporção de espigas danificadas).

O objetivo neste trabalho foi determinar o desempenho de milhos Bt com as tecnologias PWU, PW, Leptra, VIP3 e VTPRO3 no controle das principais lagartas que atacam e são importantes para a cultura do milho. Foram determinados a nota de injúria foliar causada por *S. frugiperda* (escala Davis), a intensidade de infestação por lagartas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

O trabalho foi realizado em campo experimental de milho. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela totalizou oito linhas com comprimento de cinco metros, o espaçamento entre linhas de 50 cm. O número de plantas semeado por metro foi de três plantas. O experimento foi instalado nas safras verão 2020/2021, 2021/2022 no município de Indianópolis-MG, cuja área tem uma altitude de 804 metros, latitude 19° 2' 33" Sul, Longitude: 47° 55' 1" Oeste, (Brasil, 2021). Foi testado o desempenho de cinco tecnologias de milho Bt e convencional.

As tecnologias de milho Bt utilizadas foram PWU, PW, Leptra, VIP3 e VTPRO3. A fonte dos insetos para infestação das plantas com as espécies *S. frugiperda* e *H. zea* foi por via natural. Os híbridos de milho utilizados foram como a listagem na Tabela 1. Para o cultivo, utilizou-se adubação de base de 400 kg /ha da fórmula NPK 8-28-16. Na adubação de cobertura, foram utilizados 150 kg/ha ureia. Os herbicidas utilizados foram Soberan 240 mL/ha mais 3,5 L de Atrazine 500, dois dias após o plantio e repetido no estágio fenológico V5 (5 folhas completamente expandidas). Duas capinas foram feitas para controle de algumas plantas daninhas que escaparam, principalmente nos corredores. Não foram utilizados nenhum produto à base de inseticida.

## 2.2. VARIÁVEIS AVALIADAS

Durante o estágio vegetativo da cultura foi avaliado as injúrias causadas pela *S. frugiperda*. Usou-se como parâmetro de avaliação a Escala Davis, a escala de Davis et al., (1992), consiste na avaliação visual do dano, onde dá-se notas em uma escala de 0 (plantas sem danos) a 9 (plantas com tecido foliar totalmente destruído). (Tabela 2). As análises foram feitas 25 e 35 dias após a emergência. A avaliação foi realizada em 25 plantas atribuindo a cada uma delas nota 0 (zero, sem injúrias) a 9 (cartuchos completamente destruídos) (Tabela 2).

Foi avaliado também o número de lagartas maior e menor que 1,5 centímetros (3º instar) em 10 plantas por parcela. A contabilização foi nas mesmas plantas das avaliações iniciais, sendo utilizadas as plantas das linhas centrais das parcelas.

No estágio reprodutivo, foi avaliado a área (cm<sup>2</sup>) danificada na espiga pelas lagartas. Isso ocorreu em 10 plantas por parcela no estágio R2, quando também foi

avaliado o número de lagartas da espiga maior e menor que 1,5 centímetros presentes nas espigas. O tamanho das lagartas tanto no estágio vegetativo quanto no reprodutivo foram mensurados com o uso de uma régua.

### 2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados usando modelos lineares generalizados, em procedimento análogo à análise de variância (Proc Glimmix, SAS, 2013). Os efeitos dos fatores fixos *Ano* (um de baixa e outro de alta infestação), *Milho* (as tecnologias Bt, em 6 níveis) e da interação *Ano* × *Milho* foram testados com o teste  $F$  ( $P < 0,05$ ). Para cada uma das variáveis respostas usou-se uma adequada distribuição de probabilidade, incluindo a distribuição normal para o número de lagartas por planta e a multinomial para as notas de injúria foliar. Em caso de significância nos testes de efeito dos fatores ou interação ( $P < 0,05$ ), as diferenças significativas foram determinadas por teste de contraste usando as estimativas das médias de mínimo quadrado.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A injúria foliar e a infestação por lagartas do cartucho foram condicionadas pela interação do ano de cultivo com a tecnologia Bt presente no cultivar de milho (Tabela 3,  $P < 0,05$ ) aos 25 e 35 dias após a emergência das plantas. A densidade populacional das lagartas pequenas ( $< 1,5$  cm) correlacionou significativamente com aquela de lagartas grandes ( $> 1,5$  cm) e assim analisou-se ambas como a densidade total das lagartas de *S. frugiperda* (Tabela 3), embora foram mostrados os números das lagartas de cada tamanho (Figuras 1 e 2).

A infestação de lagartas medida aos 25 dias após a emergência das plantas (DAE) foi cerca de 3 vezes maior em 2020/2021 (Ano 1) que em 2021/2022 (Ano 2) (Figura 1) e padrão semelhante ocorreu aos 35 DAE (Figura 2). No Ano 1 aos 25 DAE, a infestação de lagartas do cartucho foi quase três vezes maior nas plantas da testemunha não-Bt que naquelas das tecnologias Bt PW (Cry1F + Cry1A.105 + Cry2Ab) e VTPRO3 (Cry1A.105 + Cry2Ab + Cry3A) (em média 4 vs. 1-1,5 lagartas por planta) enquanto não se observou a presença de lagarta alguma nas plantas das

tecnologias Bt LEPTRA (Cry1F + Cry1Ab + Vip3A), PWU (Cry1F+Cry1A.105 + Cry2Ab + Vip3A) e VIP3 (Cry1Ab + Vip3A) (Figura 1).

Já no Ano 2, houve infestação de cerca de 0,5-0,6 lagarta do cartucho por planta nas tecnologias PW, VTPRO3 e não-Bt e nenhuma em PWU, LEPTRA e VIP3 (Figura 1). Esse padrão de resposta manteve-se na avaliação realizada aos 35 DAE (Figura 2).

Em relação à injúria foliar, o maior grau de injúria pela lagarta do cartucho ocorreu nas plantas do milho não-Bt no Ano 1, que apresentaram notas com valores médios de 7–8 na escala Davis (Figura 3). Nesse ano, as plantas dos milhos Bt PW e VTPRO3 apresentaram notas 4–5 aos 25 e 35 DAE enquanto nenhuma injúria foliar ocorreu nas plantas contendo a toxina Vip3Aa. No Ano 2, os valores foram menores que os do Ano 1 nas plantas do milho não-Bt (4–6), VTPRO3 (1) e PW (2–3) e nenhuma injúria foliar da lagarta do cartucho ocorreu nas plantas Bt dos híbridos contendo Vip3Aa (Figura 3).

A Tabela 4 apresenta efeitos dos fatores e da interação entre eles para a injúria na espiga e a infestação pela lagarta do cartucho e lagartas da espiga. Pode-se observar que somente o ano afetou a infestação de *S. frugiperda*, com 2020-2021 apresentando  $0,038 \pm 0,011$  contra  $0,00 \pm 0,00$  lagarta/espiga em 2021-2022. Já a infestação de *H. zea* sofreu efeito da interação do ano com o atributo do milho cultivado.

Somente as plantas de milho com a tecnologia VTPRO3 tiveram infestação de  $0,05 + 0,008$  lagarta por espiga no primeiro ano; nas demais, nenhuma lagarta foi observada. Quanto a injúria na espiga, a área de grãos danificados por *H. zea* foi maior em 2020-2021 que em 2021-2022 (médias =  $0,485$  e  $0,112$  cm<sup>2</sup>, erro =  $0,117$ ) independente das tecnologias Bt (Tabela 4). Já para *S. frugiperda*, a interação ano e tecnologia foi significativa (Tabela 4), havendo injúria nos grãos dos híbridos não-Bt, PW e VTPRO3 de  $2,24$ ,  $1,07$  e  $0,87$  cm<sup>2</sup>, respectivamente.

James (2004) relatou que, em alguns países, por meio da utilização da tecnologia do milho Bt, a cadeia de produção obteve incremento médio de US\$ 68 por hectare, representando 9% de aumento de produtividade, bem como a significativa redução do uso de inseticidas químicos. No Brasil, isso pode não ter ocorrido pela necessidade de uso desses produtos para controlar outras pragas, tais como a cigarrinha do milho.

Cruz (1996) argumenta que a lagarta do cartucho (*S. frugiperda*) é a principal

praga do milho convencional, atacando com infestações entre 17.7% a 55.6% das plantas, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura. As lagartas recém-eclodidas afetam principalmente as folhas mais jovens e deixam lesões não muito visíveis, mas que depois se agravam e podem levar a perdas. Posteriormente, na fase reprodutiva da cultura, essa lagarta pode se alojar na espiga, causando danos consideráveis na produtividade, além de facilitar a entrada de microorganismos patogênicos responsáveis por outras doenças vegetais.

Os resultados deste trabalho apresentam dados positivos da resistência das tecnologias do milho Bt quanto à infestação e injúria foliar, mesmo que influenciado pela variação anual. Essa inclui diferenças de condições climáticas entre os Anos 1 e 2, tais como temperatura, chuva, umidade do solo e do ar, ventos e radiação solar, que afetam a infestação e variabilidade genética das lagartas, uma vez que vão se adaptando às medidas de controle e podem conseguir atacar as culturas. Na Figura 1, pode-se observar que o milho convencional (testemunha não-Bt) apresentou maior infestação, seguido das tecnologias VTPRO3 e PW. As demais tecnologias Bt (VIP3, LEPTRA e PWU) não apresentaram infestação por lagartas cartucho.

Paiva (2015) relata em seu trabalho em que verificou o desempenho de diversas tecnologias Bt no controle da lagarta cartucho e concluiu que a tecnologia do milho VIP3 proporcionou melhor eficiência no controle e redução dos danos ocasionados por *S. frugiperda* e o acréscimo na produtividade quando comparado ao híbrido convencional e demais tecnologias Bt testadas seu desempenho. Além disso, a autora apresentou a tecnologia VIP3 como a que presenciou menor número de lagartas ( $N = 0,13$ ) e menor injúria foliar em comparação às demais tecnologias Bt (Paiva, 2015).

A Figura 3 apresenta as notas de injúria foliar de acordo com a escala de Davis (de 1 a 9) nas diferentes tecnologias Bt no controle da lagarta do cartucho. Quanto à nota pela escala Davis, pôde-se verificar que o milho não-Bt foi o mais afetado pela lagarta do cartucho com nota 7 para alta (2020/2021) e 4 para baixa infestação (2021/2022), seguido das tecnologias VTPRO3 com notas 4 e 1 para alta e baixa infestação e, ainda, PW com notas 5 e 2 para alta e baixa infestação, respectivamente. As demais tecnologias Bt não apresentaram notas de injúria foliar pela escala de Davis (Figura 3;  $P < 0,05$ ).

No trabalho de Barcelos e Angelini (2018), apenas o tratamento convencional (não-Bt) obteve nota de injúria foliar acima de 3 seguindo a escala Davis (1 a 9) e,

ainda, apenas em 20% das parcelas totais. A tecnologia VIP3 foi aquela com maior proteção contra a lagarta do cartucho *S. frugiperda*, corroborando com o presente estudo.

Atualmente, a principal estratégia de controle de *S. frugiperda* tem sido o uso de plantas de milho geneticamente modificadas que expressam toxinas de Bt Cry e Vip (BURTET et al., 2017. GARLET et al., 2021). Porém, devido à crescente ocorrência de populações de *S. frugiperda* resistentes a algumas toxinas Bt das classes Cry1 e Cry2, tem sido recomendado realizar pulverizações de inseticidas mesmo em plantas de milho Bt. Esse é um desafio na agricultura intensiva praticada nestas áreas, que proporciona condições para a evolução de populações de *S. frugiperda* resistentes às tecnologias Bt e aos insumos sintéticos.

A presença da toxina Vip3Aa é provavelmente a causa da alta eficiência de controle dos insetos nos tratamentos contendo as biotecnologias Leptra, PWU e VIP3, que apresentaram 100% de eficiência no controle de lagartas de 3º instar. Esses resultados são consistentes com aqueles de Scoton et al. (2019). Esse autor relata que é alta a atividade biológica, ou seja, a eficiência de controle da tecnologia Bt do milho expressando Vip3Aa sobre *S. frugiperda*. Essa alta potência da toxina Vip3Aa leva à nulidade do grau de injúria foliar e quantidade das lagartas infestando as plantas (Sousa Filho 2021).

Contudo, pode haver seleção de variantes resistentes às proteínas Bt nas populações das lagartas-praga de milho, uma vez que é alta a pressão de seleção, a qual tende a ocasionar alteração na frequência de indivíduos resistentes (BERNARDI, 2012). O risco da evolução de resistência da lagarta-do-cartucho às tecnologias Bt do milho pode ser diminuído devido ao frequente uso de inseticidas sintéticos contra a cigarrinha do milho. Para manutenção da eficácia das proteínas Bt que ainda possuem bons resultados de resistência às lagartas torna-se essencial a adoção de boas práticas de manejo a fim de prolongar a eficácia e a durabilidade das tecnologias Bt.

#### **4. CONCLUSÃO**

As tecnologias do milho Bt se diferenciam entre si tanto pela injúria foliar quanto pela infestação de lagartas grandes e pequenas. Pode haver variação entre os anos de cultivo na infestação de lagartas e injúria foliar. As tecnologias do milho

Bt contendo a toxina Vip3Aa apresentam-se eficientes no controle das lagartas de *S. frugiperda* e *H. zea*.

## LISTA DE QUADROS E FIGURAS

**Quadro 1 - Lista de híbridos utilizados no experimento.**

		Ano		Localização
		2020-2021	2022-2023	
<b>Tecnologias</b>	PwU	2B688PwU	102533-48	
	PW	2B688PW	1035704-44	Monsanto e Dow AgroSciences
	Leptra	30F35	30F53VYH	DuPont Pioneer
	VIP3	SYN555	54GALOVIP3	Syngenta
	VTPRO3	AS1633	ACRAG8070RRO3	Monsanto
	Convencional	1037704-22	1037704-22	

**Quadro 2** - Descrição da escala de Davis com as notas (0 a 9) utilizada para avaliação de injúria foliar causada pela lagarta do cartucho nas tecnologias Bt e convencional do milho.

Nota	Descrição
0	Planta sem dano
1	Planta com pontuações (mais que uma pontuação por planta)
2	Planta com pontuações; 1 a 3 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm)
3	Planta com 1 a 5 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm); mais 1 a 3 lesões alongadas (até 1,5 cm)
4	Planta com 1 a 5 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm); mais 1 a 3 lesões alongadas (maiores que 1,5 cm e menores que 3 cm)
5	Planta com 1 a 3 lesões alongadas grandes (maior que 3 cm) em 1 a 2 folhas; mais 1 a 5 furos ou lesões alongadas até 1,5 cm.
6	Planta com 1 a 3 lesões alongadas grandes (maior que 3 cm) em 2 ou mais folhas; mais 1 a 3 furos grandes (maior que 1,5 cm) em 2 ou mais folhas
7	Planta com 3 a 5 lesões alongadas grandes (maior que 3,5 cm) em 2 ou mais folhas; mais 3 a 5 furos grandes (maior que 1,5 cm) em 2 ou mais folhas
8	Planta com muitas lesões alongadas (mais que 5) de todos os tamanhos na maioria das folhas. Muitos furos médios a grandes (mais que 5) maiores que 3 cm em muitas folhas
9	Plantas com muitas folhas, na quase totalidade, destruídas

Fonte: FERNANDES et al. (2010).

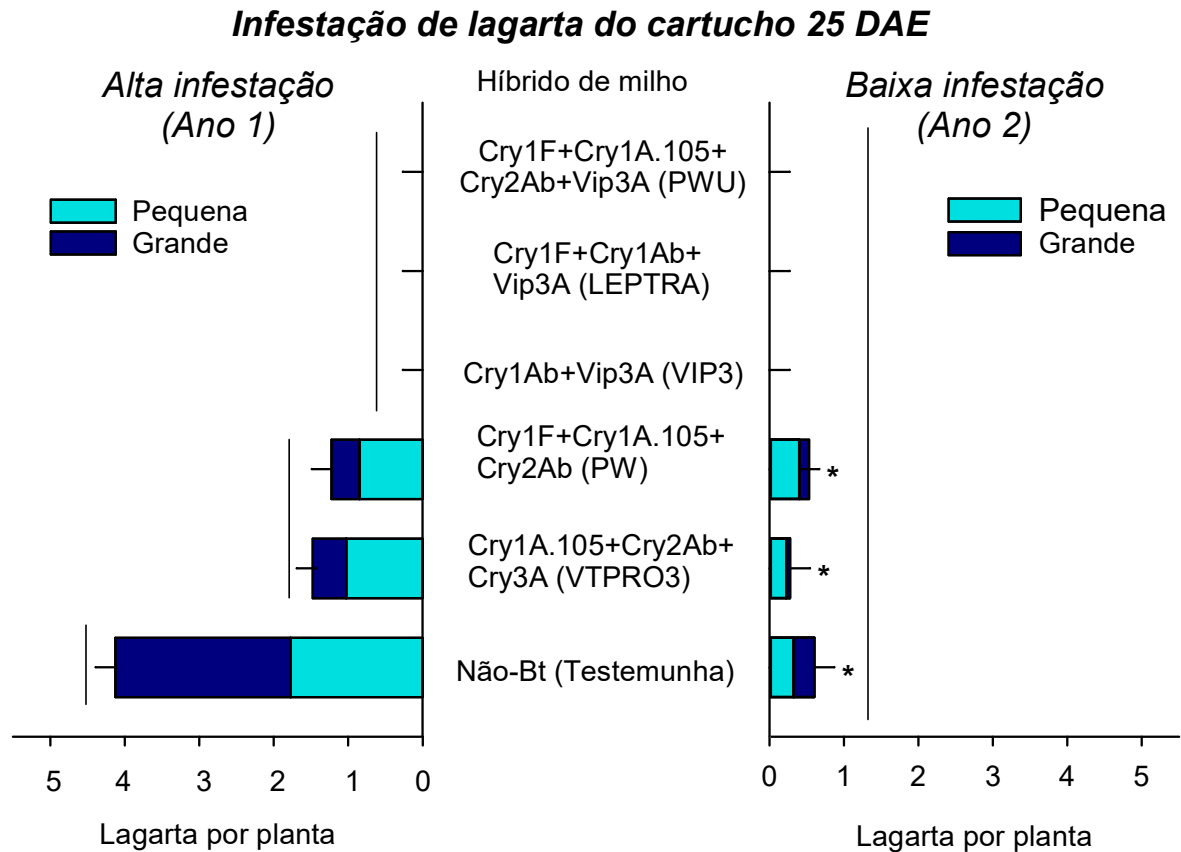
**Tabela 1** - Resultados do teste F para efeitos fixos dos fatores e sua interação na injúria foliar e infestação pela lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) na fase vegetativa do milho.

Variável	Fonte de Variação	GL	25 DAE		35 DAE	
			F	P-valor	F	P-valor
Injúria	Ano	1	49,04	< 0,01	53,40	< 0,01
Foliar	Milho	5	80,39	< 0,01	162,78	< 0,01
	Ano x Milho	5	9,88	< 0,01	16,30	< 0,01
	Resíduo	36				
Infestação	Ano	1	31,66	< 0,01	27,96	< 0,01
Lagartas	Milho	5	23,77	< 0,01	21,08	< 0,01
Totais	Ano x Milho	5	13,10	< 0,01	6,87	< 0,01
	Resíduo	36				

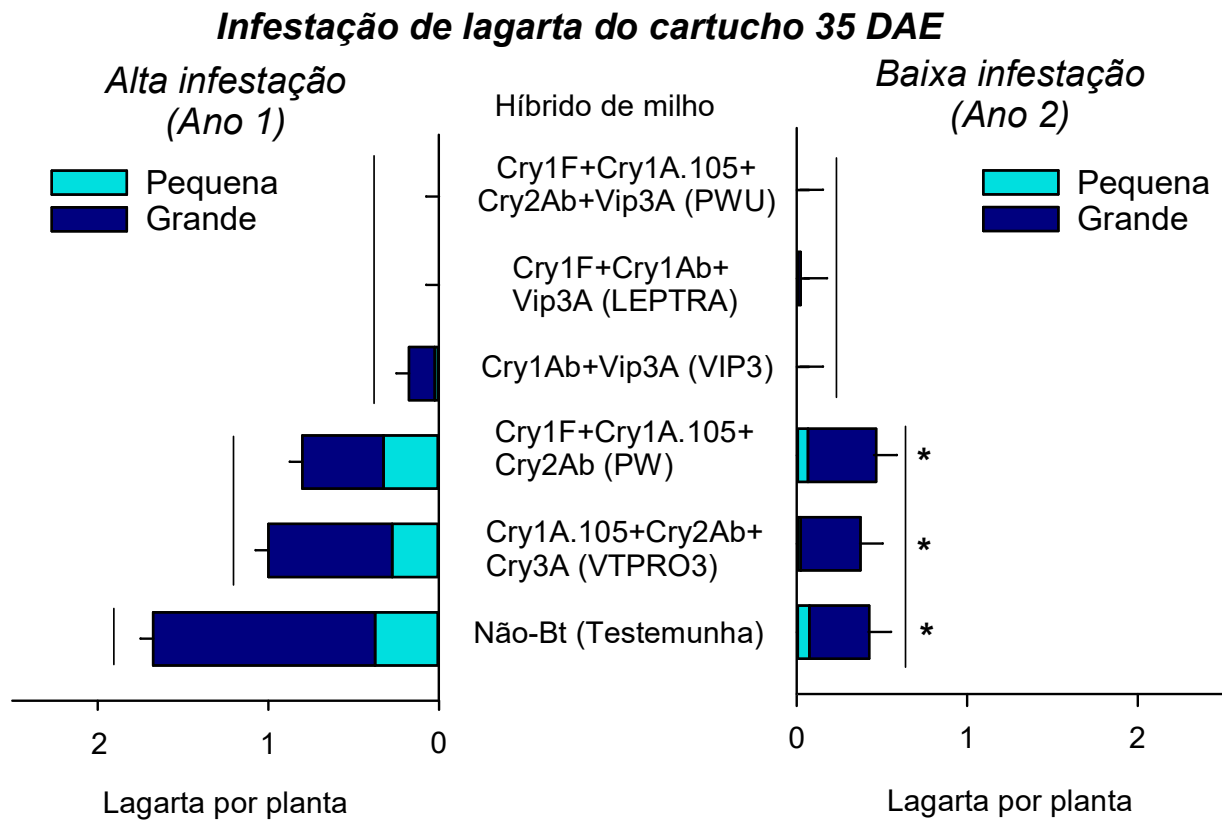
DAE = Dias após a emergência.

**Tabela 2** - Resultados do teste F para efeitos fixos dos fatores e da interação entre eles para a injúria na espiga e a infestação pela lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e lagartas da espiga (*Helicoverpa zea*).

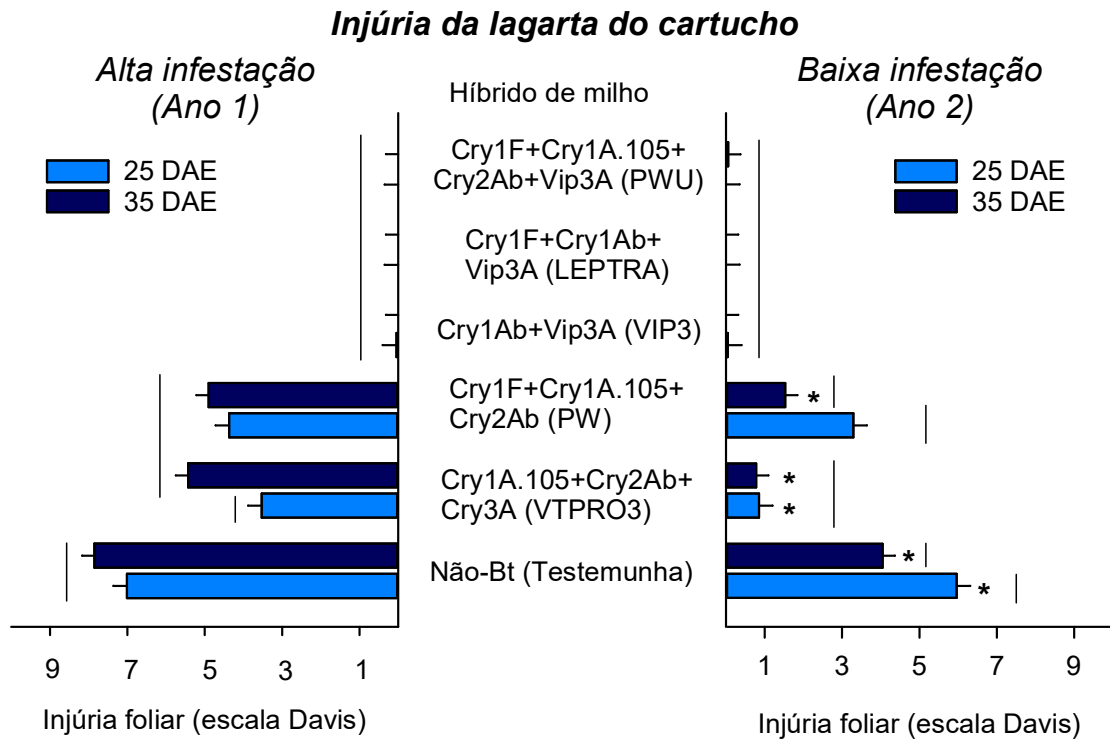
Espécie de lagarta	Fonte de Variação	GL	Infestação		Injúria	
			F	P-valor	F	P-valor
<i>Spodoptera frugiperda</i>	Ano	1	6,23	0,02	13,87	< 0,01
	Milho	5	1,43	0,24	3,81	0,01
	Ano x Milho	5	1,43	0,24	3,81	0,01
	Resíduo	36				
<i>Helicoverpa zea</i>	Ano	1	3,00	0,09	5,10	0,03
	Milho	5	3,00	0,02	0,62	0,69
	Ano x Milho	5	3,00	0,02	1,27	0,30
	Resíduo	36				



**Figura 1** - Infestação por lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em tecnologias de milho Bt que produzem duas ou três proteínas Bt nas plantas aos 25 dias após emergência do cultivo. Asterisco (\*) indica diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre o desempenho da tecnologia Bt em ano de Alta vs. Baixa infestação por lagartas. As médias e erros padrões com a mesma linha vertical não diferem entre si ( $P > 0,05$ ).



**Figura 2** - Infestação por lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em tecnologias de milho Bt que produzem duas ou três proteínas Bt nas plantas aos 35 dias após a emergência do cultivo.



**Figura 3** - Injúria foliar por lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em tecnologias de milho Bt que produzem duas ou três proteínas Bt. Dados de plantas aos 25 dias após a emergência do cultivo.

## REFERÊNCIAS

- BARCELOS, P.H.S.; ANGELINI, M.R. Controle de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) em diferentes tecnologias Bts (*Bacillus thuringiensis*) na cultura do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 1, p. 35-40, 2018. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1824>. Acesso em: 09 fev. 2023.
- BENTO, J.M.S. Perdas por insetos na agricultura. **Ação Ambiental**, n.4, p.19-21, 1999.
- BERNARDI, O. et al. High levels of biological activity of Cry1Ac protein expressed on MON 87701× MON 89788 soybean against *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, n. 70, v.4, p. 588-594, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23687086/>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- BERNINI, C.S. et al. Depressão endogâmica e heterose de híbridos de populações F2 de milho no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 217-223, 2013. DOI: 10.1590/brag.2013.038. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/DcVNVRy7fpd9ktD3wcVYVQQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 ago. 2022.
- COSTA, F.M.; SILVA, N.C.A.; OGLIARI, J.B. Maize diversity in southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 64, p. 681–700, mar. 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10722-016-0391-2>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB, 2022. 88p. (v.9 – Safra 2021/22, n.10. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/43195\\_4877b01240f0ee94340214d6c9e37afa](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/43195_4877b01240f0ee94340214d6c9e37afa). Acesso em: 13 jun. 2023.
- CRUZ, I.; VALICENTE, F. H.; VIANA, P. A.; MENDES, S. M. **Risco potencial das pragas de milho e sorgo no Brasil**. Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas, MG, p. 1-42, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/962995/risco-potencial-das-pragas-de-milho-e-de-sorgo-no-brasil#:~:text=Resumo%3A%20A%20infesta%C3%A7%C3%A3o%20de%20insetos,potencial%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20das%20culturas>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- CRUZ, I. Efeito do tratamento de semente de milho com inseticidas sobre o rendimento de grãos. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 25, n. 2, p. 181-189, 1996. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/474559>. Acesso em: 07 mar. 2023.
- FERNANDES, O.D.; PARRA, J.R.P.; ANTONIO NETO, F.; PÍCOLI, R.; BORGATTO, A.F.; DEMÉTRIO, C.G.B. Efeito do milho geneticamente modificado MON810 sobre alagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)

(Lepidoptera:Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.2, p.25-35, 2010. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR2012710267>. Acesso em: 09 fev. 2023.

GIORGENON, C.H.B. **Capacidade de combinação para seleção de genótipos de milho**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2015, 63p. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/131928/000855250.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 ago. 2022.

GOELLNER, C.I. **Utilização dos defensivos agrícolas no Brasil: análise do seu impacto sobre o ambiente e a saúde humana**. São Paulo: Art Graph, 1993.

HANASHIRO, R.M. **Dialelo de populações F2 de milho (*Zea mays* L.) visando produtividade, resistência a *Spodoptera frugiperda* e a *Helicoverpa zea***. 2014. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, SP, 2014. Disponível em: <http://ciiagro.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/repositorio/storage/pb394112.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2022.

HERNANDÉZ-TREJO, A. et al. Importance of biological control of pests in corn (*Zea mays* L.). **Revista Mexicana de Ciências Agrícolas**, v. 10, n. 4, p. 803-824, mai/jun. 2019. DOI: 10.29312/remexca.v10i4.1665. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n4/2007-0934-remexca-10-04-803-en.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2022.

JAMES, C. **Milho Geneticamente Modificado Resistente a Insetos**. In: MIRANDA, V. G.; GALVÃO, C. C. J. (ORG). **BRASIL: Tecnologia de Produção de Milho**. 1.ed. Viçosa: 2004. 90p.

MICHELOTTO, M.D. et al. Interação entre transgênicos (bt) e inseticidas no controle de pragas-chave em híbridos de milho-safrinha. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 1, p. 71-79, jan/mar. 2011. DOI: 10.1590/1808-1657v78p0712011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/BP3hkgpTMDbwdZQjnbsKZkn/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 24 ago. 2022.

MICHELOTTO, M.D. et al. Milho transgênico (Bt): efeito sobre pragas alvo e não alvo. **Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava**, v. 10, n. 3, 2013. DOI: 10.3738/nucleus.v0i0.903. Disponível em: <http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/903/1075>. Acesso em: 27 ago. 2022.

MONTEZANO, D.G. et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 2, set. 2018. DOI: 10.4001/003.026.0286. Disponível em: <https://journals.co.za/doi/pdf/10.4001/003.026.0286>. Acesso em: 24 ago. 2022.

MORAES, A.R.A.; LOURENÇÃO, A.L.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. Resistência de híbridos de milho convencionais e isogênicos transgênicos a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Bragantia**, v. 74, n. 1, p.50-57, nov. 2014. DOI:

10.1590/1678-4499.0367. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/brag/a/WrCbWmYZNXKzj3QBms55sNR/?lang=pt&format=pdf>.  
 Acesso em: 24 ago. 2022.

MUNICIPIO DE INDIANOPOLIS. (2021). **Cidade Brasil**. Retrieved August 31, 2021,  
 From <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-indianopolis.html>

OLIVEIRA, C.M. et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50-54, 2014. Disponível em:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026121941300269X?casa\\_token=tWwGGCwKDIMAAAAA:BlgP1S\\_09Gz0oYbidpDamJcROqD949YJtKUiyXDV4Hx2ZHlc6Yag5dKNu8tmQOQkq4RPIZGos7U#bib36](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026121941300269X?casa_token=tWwGGCwKDIMAAAAA:BlgP1S_09Gz0oYbidpDamJcROqD949YJtKUiyXDV4Hx2ZHlc6Yag5dKNu8tmQOQkq4RPIZGos7U#bib36). Acesso em: 13 jun. 2023.

PAIVA, L.A. **Resistência de genótipos de milho a lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**. 2015. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS, Ipameri, Go. 2015. 80p. Disponível em:  
[http://www.bdtd.ueg.br/bitstream/tede/433/2/Dissert.\\_Lgia1.pdf](http://www.bdtd.ueg.br/bitstream/tede/433/2/Dissert._Lgia1.pdf). Acesso em: 09 fev. 2023.

PETERLINI, E.; OLIVEIRA, N.C.; AZEVEDO, A.P. Desenvolvimento da lagarta-do-cartucho em híbridos de milho com diferentes tecnologias Bt. **Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 58-65, dez. 2014. Disponível em:  
<http://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/1808/605>. Acesso em: 27 ago. 2022.

SANTOS, C.A. et al. Desenvolvimento de *Helicoverpa spp.* em milho Bt com expressão de diferentes proteínas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 537-544, mai. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000500014. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/pab/a/wQz6vcTT63ckLNZrBcCvdyD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 ago. 2022.

SAS. **GLIMMIX Procedure Documentation**. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc.; 2013.

SCOTON, A.M.N. et al. **Controle de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae) e desempenho produtivo de genótipos de milho Bt**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/1775>. Acesso em: 09 de fev. 2023.

SOUSA FILHO, W.J. **Eficiência de tecnologias de milho Bt no controle de *Spodoptera frugiperda***. 2021. Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO. 2019. 21p. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1516/1/TCC%20-%20Wayner%20Jos%20c3%a9%20de%20Sousa%20Filho.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2023.

VALICENTE, F. H. **Manejo Integrado de pragas na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, p. 1-13, 2015. Disponível em:  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1017489>. Acesso em: 13 jun. 2023.

VERTUAN, H.V. et al. Eficácia de tecnologias de milho bt no manejo de lepidópteros-pragas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 22-29, 2017. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v16n1p22-29. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/download/698/1261>. Acesso em: 24 ago. 2022.