

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Tiago Giacomelli

**MANEJO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) EM MILHO COM  
PLANTAS Bt, INSETICIDAS QUÍMICOS E *Baculovirus***

Santa Maria, RS

2021

**Tiago Giacomelli**

**MANEJO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) EM MILHO COM PLANTAS  
Bt, INSETICIDAS QUÍMICOS E *Baculovirus***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM - RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Jerson Vanderlei Carús Guedes

Santa Maria, RS

2021

## Ficha catalográfica

Giacomelli, Tiago  
MANEJO DE Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797)  
EM MILHO COM PLANTAS Bt, INSETICIDAS QUÍMICOS E  
Baculovirus / Tiago Giacomelli.- 2021.  
60 p.; 30 cm

Orientador: Jerson V. C. Guedes  
Coorientador: Jonas A. Arnemann  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2021

1. Principal praga do milho 2. Manejo integrado de  
pragas 3. Plantas Bt 4. Inseticidas químicos 5.  
Inseticidas biológicos I. V. C. Guedes, Jerson II. A.  
Arnemann, Jonas III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Tiago Giacomelli. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Avenida Santa Catarina, Nº 897, Canarana, MT, Brasil

CEP: 78.640-000

Fone (55) 999447106; E-mail: tiago.giacomelli@hotmail.com

---

**Tiago Giacomelli**

**MANEJO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) EM MILHO COM PLANTAS  
Bt, INSETICIDAS QUÍMICOS E *Baculovirus***

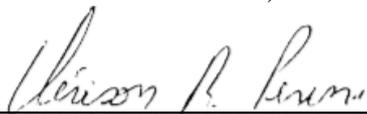
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM - RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

**Aprovado em 10 de setembro de 2021:**



---

**Jerson Vanderlei Carús Guedes, Dr.** (UFSM) - Videoconferência  
(Presidente/Orientador)



---

**Clérison Régis Perini, Dr.** (PROTEPLAN) – Videoconferência



---

**Deivid Araujo Magano, Dr.** (UNIJUÍ) – Videoconferência

Santa Maria, RS

2021

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de estudar em uma das mais renomadas instituições públicas do país.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Jerson Guedes pela orientação, conselhos e amizade dedicada durante este período de trabalho.

Ao professor Jonas André Arnemann pela colaboração e amizade dedicada durante este período de trabalho.

Aos amigos e colegas de pós-graduação Régis Felipe Stacke, Clérison Régis Perini, Luis Eduardo Curioletti, Regina Stacke, Lucas Cavalin, Lucas Drebes e Natalie Feltrin, pela troca de experiências, companheirismo e troca de conhecimentos.

Aos colegas do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas (LabMIP), que de alguma forma, contribuíram para a concretização desse trabalho. Aqui deixo um agradecimento em especial aos integrantes e incansáveis Matheus Ceolin e Willian Daltrozo por todo o suporte prestado durante a execução dos experimentos.

À minha companheira de caminhada Gisele Cossa, por todo o apoio prestado, tanto emocional quanto funcional, ao disponibilizar-se em ajudar, sempre que possível.

Ao Gustavo Ugalde, técnico de laboratório do LabMIP, por sempre estar disposto a ajudar, quando solicitado.

À empresa Agrum Agrotecnologias Integradas por disponibilizar a área e os equipamentos necessários para a execução do trabalho.

Aos meus pais, Maria e Valdecir Giacomelli, pelo apoio em todos os sentidos e fases da minha vida, gratidão.

Aos amigos, que de alguma forma contribuíram e se fizeram presente durante essa etapa da vida.

## **EPÍGRAFE**

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

**Leonardo da Vinci**

## RESUMO

### MANEJO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) EM MILHO COM PLANTAS Bt, INSETICIDAS QUÍMICOS E *Baculovirus*

AUTOR: Tiago Giacomelli  
ORIENTADOR: Jerson Vanderlei Carús Guedes

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é considerada o principal inseto-praga da cultura do milho (*Zea mays*) no Brasil. O controle dessa praga é realizado principalmente com o uso de Plantas Bt (*Bacillus thuringiensis*) e inseticidas químicos e, mais recentemente, tem crescido o uso de inseticidas biológicos como uma nova alternativa a ser somada ao Manejo Integrado de Pragas. Tendo como objetivo avaliar a eficácia das proteínas Bt expressas por alguns híbridos de milho disponíveis no mercado, assim como a interação com o uso de inseticidas químicos e biológicos a base de *Baculovirus spodoptera* para o controle dessa espécie, foram realizados experimentos em campo, com infestação natural de *S. frugiperda*, durante duas épocas de semeadura na safra de 2019/20. Foram avaliados 5 híbridos de milho Bt e um híbrido de milho não-Bt, além de 6 inseticidas químicos e 2 inseticidas biológicos. As avaliações foram realizadas em intervalo de cinco dias, atribuindo-se notas de dano, de acordo com a Escala de Davis (1992), além de contabilizar o número de plantas atacadas. Para a tomada de decisão das aplicações inseticidas, foi atribuído um nível de controle sempre que 10% das plantas avaliadas apresentassem nota de dano  $\geq 3$ . No primeiro cultivo da safra 2019/2020, DKB 290 (Cry1A.105/ Cry2Ab2/ Cry3Bb1) e Morgan 20A78 (Cry1F/ Cry1A.105/ Cry2Ab2) necessitaram de quatro aplicações inseticidas, enquanto Pioneer 32R22YHR (Cry1F/ Cry1Ab) e Pioneer 30F53R (não-Bt) necessitaram de cinco aplicações inseticidas para mitigar os danos de *S. frugiperda*. No segundo cultivo, DKB 290 e Morgan 20A78 necessitaram de três a seis aplicações inseticidas, enquanto Pioneer 32R22YHR e Pioneer 30F53R (não-Bt) necessitaram de cinco a sete aplicações inseticidas. Por outro lado, em ambos os cultivos, Pioneer 30F53VYHR (Cry1Ab/ Cry1F/ Vip3Aa20) e Brevant 2401 (Cry1F/ Cry1A.105/ Cry2Ab2/ Vip3Aa20) não necessitaram de aplicações inseticidas, evidenciando a eficiência das toxinas Vip. A respeito da combinação de inseticida químicos + biológicos, no primeiro cultivo, iniciar as aplicações com *Baculovirus spodoptera* foi mais eficiente, sendo que no híbrido de milho Pioneer 30F53R a combinação *Baculovirus spodoptera* + Exalt foi a que desempenhou melhor resultado e, no híbrido de milho Pioneer 32R22YHR a melhor combinação foi *Baculovirus spodoptera* + Exalt e Avatar. Já no segundo cultivo, iniciar as aplicações com inseticidas químicos apresentou menor índices de danos, pois em ambos os híbridos de milho, a melhor combinação foi iniciar os tratamentos utilizando Exalt + *Baculovirus spodoptera*. Dentre os inseticidas químicos utilizados neste trabalho, os que desempenharam melhor resultado foram Exalt e Premio.

**Palavras-chave:** *Bacillus thuringiensis*. Controle biológico. Controle químico. Toxinas Vip.

## ABSTRACT

### MANAGEMENT OF *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) IN MAIZE WITH Bt PLANTS, CHEMICAL INSECTICIDES AND *Baculovirus*

AUTHOR: Tiago Giacomelli  
ADVISOR: Jerson Vanderlei Carús Guedes

The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is considered the main insect pest of corn (*Zea mays*) in Brazil. The control of this pest is carried out mainly with the use of Bt Plants (*Bacillus thuringiensis*) and chemical insecticides and, more recently, the use of biological insecticides has grown as a new alternative to be added to Integrated Pest Management. In order to evaluate the efficacy of Bt proteins expressed by some corn hybrids available on the market, as well as the interaction with the use of chemical and biological insecticides based on *Baculovirus spodoptera* for the control of this species, field experiments were carried out, with infestation natural of *S. frugiperda*, during two sowing seasons in the 2019/20 crop. Five Bt corn hybrids and one non-Bt corn hybrid were evaluated, in addition to 6 chemical insecticides and 2 biological insecticides. The evaluations were carried out at an interval of five days, attributing damage scores, according to the Davis Scale (1992), in addition to counting the number of plants attacked. For decision-making on insecticide applications, a control level was assigned whenever 10% of the evaluated plants had a damage score  $\geq 3$ . In the first crop of the 2019/2020 season, DKB 290 (Cry1A.105/ Cry2Ab2/ Cry3Bb1) and Morgan 20A78 (Cry1F/ Cry1A.105/ Cry2Ab2) required four insecticidal applications, while Pioneer 32R22YHR (Cry1F/ Cry1Ab) and Pioneer 30F53R (non-Bt) required five insecticidal applications to mitigate *S. frugiperda* damage. In the second crop, DKB 290 and Morgan 20A78 required three to six insecticide applications, while Pioneer 32R22YHR and Pioneer 30F53R (non-Bt) required five to seven insecticide applications. On the other hand, in both cultures, Pioneer 30F53VYHR (Cry1Ab/ Cry1F/ Vip3Aa20) and Brevant 2401 (Cry1F/ Cry1A.105/ Cry2Ab2/ Vip3Aa20) did not require insecticidal applications, showing the efficiency of Vip toxins. Regarding the combination of chemical + biological insecticides, in the first crop, starting applications with *Baculovirus spodoptera* was more efficient, and in the Pioneer 30F53R corn hybrid the *Baculovirus spodoptera* + Exalt combination performed better, and in the corn hybrid Pioneer 32R22YHR the best combination was *Baculovirus spodoptera* + Exalt and Avatar. In the second crop, starting applications with chemical insecticides showed lower damage rates, because in both corn hybrids, the best combination was to start treatments using Exalt + *Baculovirus spodoptera*. Among the chemical insecticides used in this work, the ones that performed better were Exalt and Premio.

**Keywords:** *Bacillus thuringiensis*. Biological control. Chemical control. Vip Toxins.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

- Figura 1** - Evolução do nível de dano médio das plantas atacadas com nota  $\geq 3$  (escala de Davis) causada por *Spodoptera frugiperda* em milho no primeiro cultivo (a) e segundo cultivo (b) da safra 2019/2020 ..... 26
- Figura 2** - Porcentagem de plantas atacadas com nota  $\geq 3$  (escala de Davis) causada por *Spodoptera frugiperda* em milho no primeiro cultivo (a) e segundo cultivo (b) da safra 2019/2020 ..... 27
- Figura 3** - Porcentagem de plantas de milho com dano  $\geq 3$  sob diferentes tratamentos inseticidas semeado no primeiro cultivo da safra de 2019/2020 ..... 29
- Figura 4** - Porcentagem de plantas de milho com dano  $\geq 3$  sob diferentes tratamentos inseticidas semeado no segundo cultivo da safra de 2019/2020 ..... 30

### ARTIGO 2

- Figura 1** - Porcentagem de plantas atacadas com nota  $\geq 3$  (escala de Davis) causada por *Spodoptera frugiperda* em milho, considerando a ordem do primeiro e o segundo experimento, no primeiro cultivo (a) e segundo cultivo (b) da safra 2019/2020..... 45
- Figura 2** - Porcentagem de plantas de milho com dano  $\geq 3$  sob diferentes tratamentos inseticidas em milho nos ensaios 1 e 2, do primeiro e segundo cultivo da safra de 2019/2020 ..... 47

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

<b>Tabela 1</b> - Híbridos de milho Bt, tecnologia e a toxina expressa pelas plantas .....	23
<b>Tabela 2</b> - Inseticidas, ingrediente ativo, concentração e a dose utilizada para o controle de <i>S. frugiperda</i> em milho .....	23
<b>Tabela 3</b> - ANOVA usando modelos mistos lineares para os efeitos de híbridos, inseticidas, datas de avaliação, época de cultivo e as interações nos danos, plantas atacadas e produtividade do milho .....	25
<b>Tabela 4</b> – Produtividade média de híbridos de milho e número de aplicações sob diferentes tratamentos inseticidas contra <i>S. frugiperda</i> , para o primeiro e o segundo cultivo na safra de 2019/2020 .....	33

### ARTIGO 2

<b>Tabela 1</b> - Híbridos de milho Bt, nome da tecnologia e a toxina expressa pelas plantas .....	42
<b>Tabela 2</b> - Inseticidas, concentração e a dose utilizada para o controle de <i>S. frugiperda</i> em milho .....	42
<b>Tabela 3</b> - ANOVA usando modelos mistos lineares para os efeitos de híbridos, inseticidas, datas de avaliação, época de cultivo e as interações nos danos, plantas atacadas e produtividade do milho .....	44
<b>Tabela 4</b> - Produtividade média de híbridos de milho e número de aplicações sob diferentes tratamentos inseticidas contra <i>S. frugiperda</i> , nos ensaios 1 e 2 do primeiro e segundo cultivo na safra de 2019/2020 .....	50

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>17</b>
<b>3 ARTIGO 1 .....</b>	<b>20</b>
Manejo da lagarta-do-cartucho no milho integrando plantas Bt, inseticidas químicos e biológicos .....	20
Resumo .....	20
1. Introdução .....	21
2. Material e métodos .....	22
2.1. Local e semeadura dos experimentos .....	22
2.2. Delineamento experimental e tratamentos .....	22
2.3. Avaliação dos danos de <i>S. frugiperda</i> e aplicação dos tratamentos .....	24
2.4. Análise estatística .....	24
3. Resultados .....	25
3.1. ANOVA .....	25
3.2. Resposta dos híbridos no controle de <i>S. frugiperda</i> .....	26
3.3. Resposta dos inseticidas no controle de <i>S. frugiperda</i> .....	28
3.4. Produtividade dos híbridos de milho .....	31
4. Discussão .....	34
5. Referências bibliográficas .....	36
<b>4 ARTIGO 2 .....</b>	<b>39</b>
Ordem de aplicação de inseticidas químicos e biológicos no manejo da lagarta-do-cartucho em milho .....	39
Resumo .....	39
1. Introdução .....	40
2. Material e métodos .....	41
2.1. Local e semeadura dos experimentos .....	41
2.2. Delineamento experimental e tratamentos .....	42
2.3. Avaliação dos danos de <i>S. frugiperda</i> e aplicação dos tratamentos .....	43
2.4. Análise estatística .....	43

3. Resultados .....	44
3.1. ANOVA .....	44
3.2. Resposta dos híbridos no controle de <i>S. frugiperda</i> .....	45
3.3. Resposta dos inseticidas no controle de <i>S. frugiperda</i> .....	46
3.4. Produtividade dos híbridos de milho .....	48
4. Discussão .....	51
5. Referências bibliográficas .....	54
<b>5 DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>58</b>
<b>6 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é uma das mais importantes no contexto econômico e social, com uma produção superior a 1,114 bilhão de toneladas na safra 2019/2020, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial, depois dos EUA e China (USDA, 2020). No Brasil, dentre os cereais cultivados, o milho é o mais expressivo, com cerca de 18,5 milhões de ha de área cultivada na safra 2019/2020, correspondendo à uma produção de 102,3 milhões de toneladas, com produtividade média de 5,5 mil kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020). No Rio Grande do Sul a área cultivada foi de 783,3 mil hectares com produtividade de 4,11 milhões de toneladas na safra 2019/20 (EMATER, 2020). Apesar da importância da cultura, sua produtividade ainda é considerada baixa, em que um dos pontos a se destacar é o ataque de pragas, sendo este um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade.

Com a expansão da época e da área de cultivo de milho no Brasil, os problemas fitossanitários também se agravaram. Dentre as pragas, a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), tem se destacado como a mais prejudicial à cultura do milho (ROSA; MARTINS, 2011). Esta é uma espécie polífaga que se alimenta de plantas de diferentes famílias e espécies de importância agrícola, tais como: arroz, feijão, trigo, sorgo, tomate, batata, abóbora, alfafa, amendoim, pastagens, entre outros (CRUZ et al., 1999; MONTEZANO et al., 2018).

Historicamente, *S. frugiperda* é um dos insetos mais destrutivos na cultura do milho, causando injúrias em praticamente todas as fases de desenvolvimento da planta em que, logo após a emergência da cultura já é possível observar as posturas efetuadas pelos adultos deste inseto. Em função das injúrias desta praga, são observadas reduções significativas nos índices de produtividade das lavouras, podendo chegar a perdas de até 100%, caso não sejam adotadas estratégias de controle (TOSCANO et al., 2012; OMOTO et al., 2015).

No Sul do Brasil, apesar de invernos rigorosos, as chuvas permitem o cultivo de diversas culturas durante o inverno, o que favorece para que as lagartas de *S. frugiperda* se reproduzam e tenham grande densidade populacional no início do verão (FARIAS et al., 2014). Os adultos de *S. frugiperda* apresentam hábito noturno e são menos ativos durante o dia e, quando incomodados, voam até encontrarem outro local apropriado para acasalamento e oviposição. A fêmea é capaz de fazer posturas que variam de 300 a 1000 ovos, os quais formam camadas sobrepostas uns aos outros (CRUZ, 1995; GALLO et al., 2002; CRUZ et al., 2013). Após a eclosão, as neonatas permanecem em repouso de duas a dez horas e, logo após esse período,

começam a se alimentar, preferindo as folhas mais novas do cartucho da planta e, em níveis mais severos, atacam também as espigas, resultando na má formação dos grãos (CRUZ, 1995; BUSATO et al., 2004).

O método mais eficiente de controle das lagartas de *S. frugiperda* tem sido o uso de inseticidas químicos. Porém, em sua tentativa de minimizar os prejuízos causados por ela, muitas vezes, não produz o efeito esperado, pela dificuldade em atingir as lagartas no interior do cartucho da planta, gerando a elevação dos custos de produção e o aumento dos riscos de contaminação ambiental (CORREIA et al., 2009; MENDES et al., 2011). A má regulagem dos equipamentos, a escolha incorreta dos inseticidas químicos a serem utilizados e a condução nem sempre adequada da cultura tem favorecido o aumento do número médio de aplicações, sem um controle efetivo adequado (FIGUEIREDO et al., 1999). A alta taxa de infestação de *S. frugiperda* causa uma grande dependência de aplicação de inseticidas químicos para o controle dessa praga, mas infelizmente, o uso indiscriminado de inseticidas tem contribuído para a evolução de populações resistentes à várias classes de inseticidas, como por exemplo os organofosforados, carbamatos, piretróides e benzoilureias (CARVALHO et al., 2013). Mas graças ao avanço da biotecnologia agrícola, foi possível desenvolver uma nova forma de controlar lagartas, aliando mais uma forma de controle ao manejo integrado de pragas (MIP).

Esses organismos são conhecidos como plantas geneticamente modificadas, e se enquadram na resistência de plantas a insetos sendo um componente chave para as técnicas de MIP. Essas se caracterizam pela capacidade de expressar genes da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), fazendo com que sejam expressas as toxinas Cry ou Vip nos tecidos vegetais das plantas de milho, resultando no controle de algumas espécies de lagartas. No Brasil, estão liberadas para a comercialização plantas de milho com a expressão das proteínas Cry1Ab, Cry1F, Cry1A.105, Cry2Ab2, Cry3Bb1 e Vip3Aa20, sendo elas expressas de forma isolada ou piramidadas (BRAVO; GILL; SOBERÓN, 2007; BIALOZOR, 2017; QUEIROZ, 2020). A estratégia de piramidação de genes Bt é usualmente caracterizada por um aumento no nível de proteção das plantas Bt contra as pragas-alvo, dessa forma a piramidação de genes Bt pode retardar o estabelecimento de populações de insetos resistentes (STORER et al., 2012; HEAD; GREENPLATE, 2012).

A utilização de plantas geneticamente modificadas, que expressam proteínas Bt, tem sido amplamente propagadas, tornando-se assim uma das principais técnicas de controle para *S. frugiperda* (OMOTO et al., 2016). Com a utilização de plantas Bt, há expressão contínua de proteínas inseticidas durante todo o ciclo das plantas, que representam ameaças a durabilidade da tecnologia, devido à forte pressão de seleção sobre os insetos praga, causando assim uma

falha de controle ou redução na eficácia das plantas Bt (HUANG; ANDOW; BUSCHMAN, 2011). A lagarta-do-cartucho tem alto risco de evolução da resistência às proteínas expressas no milho devido a fatores bioecológicos próprios, como alteração nos receptores do intestino médio, tornando-a capaz de degradar essas proteínas Bt, além de estar ligado ao intenso sistema de cultivo no Brasil, com múltiplas safras e a baixa utilização de áreas de refúgio (BERNARDI et al., 2015).

A estratégia de refúgio é usada para retardar a resistência das pragas nas lavouras Bt. Essa estratégia usa plantas hospedeiras não-Bt como refúgio para genótipos suscetíveis as plantas Bt. O acasalamento de pragas suscetíveis com pragas resistentes à Bt resulta em progênes heterozigotas para característica de resistência. O atraso na resistência esperado sob a estratégia de refúgio torna-se maior à medida que a dominância da resistência diminui e é maior quando a resistência é completamente recessiva. Assim, à medida que a área plantada para refúgio diminui, prevê-se que as pragas desenvolvam resistência mais rapidamente (GASSMANN et al., 2011).

O controle da lagarta-do-cartucho no Brasil é realizado quase que exclusivamente com plantas Bt e inseticidas químicos. Entretanto, devido aos problemas associados a utilização destes, há um aumento na seleção de indivíduos resistentes às plantas Bt e alguns inseticidas químicos utilizados. Dessa forma, outras estratégias para o controle dessa praga estão sendo abordadas e utilizadas. Dentro do MIP, o controle biológico com o uso de agentes microbianos pode contribuir no controle de lagartas de *S. frugiperda* (DORNELES, 2020). O controle biológico com entomopatógenos vem se tornando uma alternativa viável no que se refere ao MIP dessa espécie-praga.

A utilização de organismos entomopatogênicos é uma alternativa ambientalmente segura, pois os vírus são altamente específicos para determinada espécie alvo, não causando assim, prejuízos aos demais organismos vivos (MONOBRULLAH; NAGATA, 1999). Os gêneros *Nucleopolyhedrovirus* (NPV) e o *Granulovirus* (GV), comumente conhecido como *Baculovirus*, pertencem a família Baculoviridae, uma grande família de vírus oclusos e, há muito tempo, *Baculovirus* é reconhecido como uma alternativa potencial e ambientalmente segura para ser utilizada no controle da *S. frugiperda* (BARRETO et al., 2005).

Os tipos de progênes infecciosas que o *Baculovirus* possui são dois: um é responsável pela transmissão de inseto para inseto, sendo uma forma oclusa do inseto e outra, responsável pela transmissão de célula para célula em um mesmo indivíduo, referindo-se a forma não oclusa (VALICENTE; TUELHER, 2009). O sucesso de multiplicação do *Baculovirus* depende da dose, temperatura, nutrição, caráter físico e idade das larvas e, a infecção, se dá nos estágios

larvais dos insetos, pois o potencial da patogenicidade do *Baculovirus* depende da idade das larvas (SUKIRNO et al., 2018).

*Baculovirus* surgem como uma alternativa de controle biológico ecologicamente sustentável, sendo incluído nos programas do MIP e, dessa forma, o Brasil lidera as investigações sobre seu uso, como agentes biológicos de controle, através de inúmeros estudos (ALMEIDA et al., 2010; SANTOS et al., 2014). Sendo assim, para o desenvolvimento da produção agrícola, o controle biológico tem um papel importante e, como agentes de biocontrole, a utilização de *Baculovirus* demonstra ser uma alternativa interessante, devido a sua especificidade (DANTAS et al., 2014).

A utilização integrada de métodos de controle de pragas é uma alternativa para o sucesso e a manutenção de estratégias de manejo. Fazer uso de apenas um método de controle, com o mesmo mecanismo de ação ou a utilização somente de plantas Bt acaba por gerar um alto risco à cultura, no quesito resistência de insetos, visto que a pressão de seleção dos indivíduos acaba sendo muito intensa e as chances de ocorrer evolução na resistência se elevam muito, permitindo que os insetos desenvolvam mecanismos de tolerância cada vez maiores a doses que seriam letais para a maioria dos indivíduos. Assim, este trabalho visa analisar a eficácia de diferentes interações entre plantas Bt, inseticidas químicos e inseticidas biológicos a base de *Baculovirus spodoptera* visando subsidiar o manejo integrado de pragas.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. F.; MACEDO, G. R.; CHAN, L. C. L.; PEDRINI, M. R. S. Kinetic Analysis of in vitro Production of Wild-Type *Spodoptera frugiperda* Nucleopolyhedrovirus. **Brazilian Archives Biology and Technology**, v. 53 n. 2, p. 285 - 291, 2010.
- BARRETO, M. R.; GUIMARAES, C. T.; TEIXEIRA, F. F.; PAIVA, E.; VALICENTE, F. H. Effect of *Baculovirus spodoptera* isolates in *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae and their characterization By RAPD. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 1, p. 067 - 075, 2005.
- BERNARDI, D.; SALMERON, E.; HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, O.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Cross-Resistance between Cry1 Proteins in Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) May Affect the Durability of Current Pyramided Bt Maize Hybrids in Brazil. **Plos One**, v. 10, n. 10, p. 1 - 15, 2015.
- BIALOZOR, R. **Controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) em milho Bt com inseticidas aplicados após a irrigação**. 2017. 83 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.
- BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. **Toxicon**, v. 49, n. 4, p. 423 - 435, 2007.
- BUSATO, G. R.; GRÜTZMACHER, A. D.; GARCIA, M. S.; GIOLO, F. P.; NÖRNBERG, S. D. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas temperaturas. **Ciência Agrotecnológica**, v. 28, n. 6, p. 1278 - 1283, 2004.
- CARVALHO, R. A.; OMOTO, C.; FIELD, L. M.; WILLIAMSON, M. S.; BASS, C. Investigating the Molecular Mechanisms of Organophosphate and Pyrethroid Resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. **Plos One**, v. 8, n. 4, p. 262 - 268, 2013.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de grãos – 12º levantamento – Safra 19/20**. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/33275\\_6780e71910d3f0d489c5f171231b65cd](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/33275_6780e71910d3f0d489c5f171231b65cd)>. Acessado em: 10 de junho de 2021.
- CORREIA, A. A.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; TEIXEIRA, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; TORRES, J. B. Morfologia do canal alimentar de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentadas com folhas tratadas com nim. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 1, p. 1 - 9, 2009.
- CRUZ, I. A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, Circular Técnica n. 21, 1995.
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; MATOSO, M. J. Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos *Trichogramma*. **Embrapa**, Circular técnica n. 30, 1999.

CRUZ, I; VALICENTE, F. H.; VIANA, P. A.; MENDES, S. M. Risco potencial das pragas de milho e de sorgo no Brasil. **Embrapa Milho e Sorgo**, Documento n. 150, 2013.

DANTAS, G. C.; ALMEIDA, A. F.; REIS, A. R. A.; MACEDO, G. R.; SOUZA, M. L.; PEDRINI, M. R. S. Determinação da quantidade de inóculo viral para o processo de produção em batelada alimentada de baculovírus *Spodoptera*. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis. p. 1-8, 2014.

DORNELES, J. **Características físico-químicas de baculovírus spodoptera e a compatibilidade com produtos fitossanitários para o manejo integrado de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: noctuidae)**. 2020. 79 p. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2020.

EMATER/RS – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Avaliação de produtividade e produção – Safra 19/20**. Disponível em: <[https://www.emater.tche.br/site/arquivos\\_pdf/safra/safraTabela\\_21052020.pdf](https://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_21052020.pdf)>. Acessado em: 10 de junho de 2021.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. S.; FRESIA, P.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: noctuidae) in brazil. **Crop Protection**, v. 64, p. 150 - 158, 2014.

FIGUEIREDO, M. L. C.; CRUZ, I.; LUCIA, T. M. C. D. Controle integrado de *Spodoptera frugiperda* (Smith & Abbott) utilizando-se o parasitóide *Telenomus remus nixon*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 1975-1982, 1999.

GALLO, D.; NAKANO, O.; NETO, S. S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C.; FILHO, E. B.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**, FEALQ, 2002.

GASSMANN, A. J.; PETZOLD-MAXWELL, J. L.; KEWESHAN, R. S.; DUNBAR, M. W. Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. **Plos One**, v. 6, n. 7, p. 1 - 7, 2011.

HEAD, G. P.; GREENPLATE, J. The design and implementation of insect resistance management programs for Bt crops. **Gm Crops & Food**, v. 3, n. 3, p. 144 - 153, 2012.

HUANG, F.; ANDOW, D. A.; BUSCHMAN, L. L. Success of the high-dose/refuge resistance management strategy after 15 years of Bt crop use in North America. **Entomologia Experimentalis Et Applicata**, v. 140, n. 1, p. 1 - 16, 10 jun. 2011.

MENDES, S. M.; BOREGAS, K. G. B.; LOPES, M. E.; WAQUIL, M. S.; WAQUIL, J. M. Respostas da lagarta-do-cartucho a milho geneticamente modificado expressando a toxina Cry 1A(b). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 3, p. 239 - 244, 2011.

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: noctuidae) in the americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286 - 300, 2018.

MONOBRULLAH, M.; NAGATA, M. Immunity of lepidopteran insects against baculoviruses. **Journal of the Entomological Research Society**, v. 23, n. 3, p. 185 - 194, 1999.

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

QUEIROZ, B. C. **Manejo da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho expressando a proteína inseticida Vip3Aa20 através da potencialização do custo adaptativo associado à resistência.** 2020. 80 p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2020.

ROSA, A. P. S. A.; MARTINS, J. F. S. **Manejo da Resistência de *Spodoptera frugiperda* a Inseticidas na Cultura do Milho: Situação Atual.** Embrapa Clima Temperado, Documento 334, 2011.

SANTOS, A. M.; URIBE, L. A.; RUIZ, J. C.; TABIMA, L.; GÓMEZ, J. A.; VILLAMIZAR, L. F. Nucleopoliedrovirus de *Spodoptera frugiperda* SfNPV003: compatibilidade con agroquímicos y estabilidad en condiciones de almacenamiento. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 15, n. 2, p. 219 - 228, 2014.

STORER, N. P.; THOMPSON, G. D.; HEAD, G. P.; Application of pyramided traits against Lepidoptera in insect resistance management for Bt crops. **Gm Crops & Food**, v. 3, n. 3, p. 154 - 162, 2012.

SUKIRNO, S., TUFAIL, M.; RASOOL, K. G.; SALAMOUNY, S.; SUTANTO, K. D.; ALDAWOOD, A. S. The Efficacy and persistence of *Spodoptera littoralis* Nucleopolyhedrovirus (SpliMNPV) applied in UV protectants against the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) under saudi field conditions. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 50, n. 5, p. 1895 - 1902, 2018.

TOSCANO, L. C.; CALADO FILHO, G. C.; CARDOSO, A. M.; MARUYAMA, W. I.; TOMQUELSKI, G. V. Impacto de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, noctuidae) e seus inimigos naturais em milho safrinha cultivado em Cassilândia e Chapadão do Sul, MS. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 2, p. 224 - 230, 2012.

USDA - U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/crop-production-and-protection/crop-production/>>. Acessado em: 10 de junho de 2021.

VALICENTE, F. H.; TUELHER, E. S. Controle Biológico da Lagarta do Cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com Baculovírus. **Embrapa – Circular Técnica**, v. 114, p. 1-14, 2009.

### 3 ARTIGO 1

#### **Manejo da lagarta-do-cartucho no milho integrando plantas Bt, inseticidas químicos e biológicos**

##### **RESUMO**

No Brasil, a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é considerada a principal praga desfolhadora da cultura do milho (*Zea mays* L.). O controle dessa praga é realizado principalmente por meio de plantas Bt, inseticidas químicos e ultimamente vem crescendo a utilização de inseticidas biológicos, como uma alternativa de controle. *S. frugiperda* é um inseto polífago e cosmopolita, com grande adaptação que, devido ao uso exclusivo e contínuo de plantas Bt e inseticidas químicos, apresenta aumento do número de casos de resistência. Visando avaliar alguns híbridos de milho, inseticidas químicos e inseticidas biológicos disponíveis no mercado, foram realizados experimentos em campo, com infestação natural de *S. frugiperda*, durante duas épocas de cultivo, na safra de 2019/2020. Foram analisados cinco híbridos de milho Bt e um de milho não-Bt, além de seis inseticidas químicos e dois inseticidas biológicos. As avaliações dos danos nas plantas de milho foram realizadas a cada cinco dias após a primeira aplicação, de acordo com a Escala de Davis (1992). Para a tomada de decisão das aplicações inseticidas, foi atribuído um nível de controle sempre que 10% das plantas apresentassem nota de dano  $\geq 3$ . No primeiro cultivo da safra 2019/2020, DKB 290 (Cry1A.105/ Cry2Ab2/ Cry3Bb1) e Morgan 20A78 (Cry1F/ Cry1A.105/ Cry2Ab2) necessitaram de quatro aplicações inseticidas, já Pioneer 32R22YHR (Cry1F/ Cry1Ab) e Pioneer 30F53R (não-Bt) necessitaram de cinco aplicações inseticidas para auxiliar no controle de *S. frugiperda*. No segundo cultivo, DKB 290 e Morgan 20A78 necessitaram de três a seis aplicações inseticidas, enquanto Pioneer 32R22YHR e Pioneer 30F53R (não-Bt) necessitaram de cinco a sete aplicações inseticidas para auxiliar no controle de *S. frugiperda*. Em ambos os cultivos, Pioneer 30F53VYHR (Cry1Ab/ Cry1F/ Vip3Aa20) e Brevant 2401 (Cry1F/ Cry1A.105/ Cry2Ab2/ Vip3Aa20) não necessitaram de aplicações inseticidas. Os resultados apontam que nos híbridos com expressão das proteínas *Cry* é indispensável a aplicação de inseticidas para complementar o controle de *S. frugiperda*. Todavia, nos híbridos de milho que expressam as proteínas *Vip* não há essa necessidade, caracterizando eficácia do híbrido é suficiente para controlar essa praga. Entre os inseticidas biológicos testados, ambos não foram eficazes, sendo necessário estudos adicionais como testar melhor posicionamento de épocas de controle e combinações dos inseticidas biológicos com os químicos.

**Palavras-chave:** controle, proteína *Vip*, resistência, *Spodoptera frugiperda*.

## 1 INTRODUÇÃO

A lagarta-do-cartucho, [*Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)], é uma espécie polífaga e cosmopolita, sendo considerada uma praga mundial, tendo sua ocorrência relatada em diversos continentes, como a América, a Ásia, a Oceania, a Europa e a África (BATEMAN et al., 2018; EPPO, 2021). A capacidade de migrar e de se alimentar de uma ampla gama de plantas, além das múltiplas gerações na mesma safra, torna *S. frugiperda* uma das pragas mais destrutivas e de importância econômica em diversas culturas agrícolas (BELAY; HUCKABA; FOSTER; 2012). No milho, *S. frugiperda* pode causar redução na produtividade de até 58%, dependendo do local, época de cultivo e do híbrido utilizado (CRUZ et al., 1999).

Os problemas de controle de *S. frugiperda* dificultam as reduções dos danos, baseadas especialmente por pulverizações que não atingem as lagartas de forma eficaz, no interior do cartucho do milho e, por fatores de resistência aos inseticidas químicos e às plantas de milho geneticamente modificadas que expressam proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1911) (Eubacteriales: Bacillaceae) (plantas Bt). As lagartas, logo após a eclosão, raspam as folhas e penetram no interior do cartucho da planta de milho, dificultando o controle com pulverização foliar (VIANA et al., 2002). Esse manejo pode ser melhorado com o aumento de volume de calda, que confere maior eficácia de controle (SILVA, 1999; BIALOZOR et al., 2020). No entanto, elevados volumes de calda não são praticados pelos produtores, devido as dificuldades operacionais dos equipamentos, rendimento das aplicações e custo operacional.

Com a liberação comercial de plantas de milho Bt a partir de 2007, como nova estratégia de controle para *S. frugiperda*, essa passa a ser o método de controle mais usado pelos produtores (WAQUIL et al., 2013; SORGATTO et al., 2015) e atualmente ocupa uma área de 93% no Brasil com plantas expressando toxinas Cry e Vip (GALVÃO, 2020). O uso de aplicações foliares com inseticidas, principalmente químicos, tem sido associado aos escapes de controle das plantas Bt em razão das populações de *S. frugiperda* resistentes às toxinas de Bt (PEDLOWSKI et al., 2012). Outra técnica utilizada para o controle de *S. frugiperda* é o controle biológico, que tem assumido cada vez maior importância no manejo integrado de pragas (MIP) (WAGUIL et al., 2020) e no manejo de resistência de insetos (MRI). Entretanto, o uso de controle biológico para essa praga é muitas vezes questionado, devido a mortalidade ocorrer de forma lenta até vários dias após a exposição ao tratamento, o que não confere uma

supressão rápida o suficiente da alimentação para evitar a desfolha (VASCONCELOS et al., 2005).

No Brasil, há casos demonstrados de resistência desta espécie para os ingredientes químicos ativos de clorraniliprole, clorpirifos, lambda-cialotrina, deltametrina, lufenuron, spinetoram e spinosad, além de proteínas Bt como Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac e Cry1F (APRD, 2021). Portanto, pesquisas que integram os métodos e diferentes formas de controle precisam ser avaliadas, buscando as combinações mais eficazes e adequadas para a época de cultivo. O objetivo deste estudo foi avaliar danos de *S. frugiperda* em milho, usando diferentes tecnologias de milho Bt, inseticidas químicos e inseticidas biológicos à base de *Baculovirus spodoptera*, a fim de identificar o manejo mais eficiente para essa praga.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL E SEMEADURA DOS EXPERIMENTOS

O cultivo das plantas de milho Bt foram realizadas em condições de campo no município de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, Brasil (29° 43' 28" S e 53° 33' 34" O). A semeadura do primeiro cultivo foi realizada em 21 de novembro de 2019 e, do segundo cultivo, em 27 de janeiro de 2020. O controle de plantas daninhas foi realizado com o herbicida glifosato (1620 g i.a/ha) na dessecação e aos 7 e 21 dias após a emergência do milho, foi aplicada uma mistura de glifosato mais atrazina (1080 + 1500 g i.a/ha). A densidade de semeadura foi de 4,5 sementes por metro com um espaçamento de 0,45 m entre linhas. Na adubação de base, foi utilizado 300 kg/ha de nitrogênio – fósforo – potássio (NPK 5-20-20) e, na adubação de cobertura, nos estágios V4 (quatro folhas totalmente expandidas) e em V8 (oito folhas completamente expandidas) foram aplicados 115 kg de N/ha, em cada aplicação.

### 2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi organizado em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada parcela composta de 5 linhas de milho com 5 m de comprimento. O

arranjo fatorial dos tratamentos foi 6 x 9 x 2. O fator A foi representado por 6 híbridos de milho com diferentes tecnologias Bt (Tabela 1). O fator B composto por 8 tratamentos inseticidas, sendo 6 inseticidas químicos, 2 inseticidas à base de *Baculovirus spodoptera* e um tratamento testemunha (Tabela 2). O fator C foi representado pelas duas datas de semeadura de milho Bt. Entre os tratamentos à base de inseticidas químicos e à base de *Baculovirus spodoptera*, respeitou-se um espaçamento de 40 m de bordadura, sendo semeado nesta área um milho Bt de tecnologia Vip 3, para evitar contaminação dos vírus nos tratamentos químicos em decorrência de epizootia.

Tabela 1. Híbridos de milho Bt, tecnologia e a toxina expressa pelas plantas.

<b>Nome comercial do híbrido</b>	<b>Nome da tecnologia</b>	<b>Proteínas Bt</b>
Pioneer 32R22YHR	Optimun Intrasect	Cry1aB/ Cry1F
DKB 290	VT PRO 3	Cry1A.105/ Cry2Ab2/ Cry3Bb1
Pioneer 30F53VYHR	Leptra	Cry/ Cry1Ab/ Cry1F/ Vip3Aa20
Morgan 20A78	PowerCore	Cry1F/ Cry1A.105/ Cry2Ab2
Brevant 2401	PoweCore Ultra	Cry1F, Cry1A.105, Cry2Ab2 e Vip3Aa20
Pioneer 30F53R (não-Bt)	-	-

Tabela 2. Inseticidas, ingrediente ativo, concentração e a dose utilizada para o controle de *S. frugiperda* em milho.

<b>Inseticida</b>	<b>Ingrediente ativo</b>	<b>Concentração (g i.a./L ou kg)</b>	<b>Dose (ml ou g p.c./ha)</b>
Exalt	espinetoram	120	100
Proclaim 50	benzoato de emamectina	50	250
Pirate	clorfenapir	240	750
Premio	clorantraniliprole	800	125
Avatar	indoxacarbe	150	400
Voraz	metomil + novalurom	440 + 35	500
VirControl SF	SfMNPV * <sup>1</sup>	8,6x10 <sup>9</sup> * <sup>2</sup>	50

Cartugen	SfMNPV	404	100
Testemunha		-	-

\*<sup>1</sup> Baculovirus *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus.

\*<sup>2</sup> Corpos de oclusão/mL ou g de produto formulado.

### 2.3 AVALIAÇÃO DOS DANOS DE *S. frugiperda* E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os danos causados pela infestação natural das lagartas de *S. frugiperda* foram avaliados a cada cinco dias, nas folhas do cartucho de 10 plantas escolhidas aleatoriamente em duas linhas centrais de cada parcela. A classificação de dano, atribuída a cada planta, foi de acordo com a escala de Davis (0 = de nenhum dano até três lesões muito pequenas a 9 = dano grave) (DAVIS et al., 1992).

Para a tomada de decisão de pulverização dos tratamentos inseticidas se considerou 10% das plantas atacadas com nota de dano  $\geq 3$ . Foi utilizado um equipamento de aplicação pressurizado com CO<sub>2</sub>, contendo barra lateral de 2,5 m e espaçamento entre bicos de 0,5 m (ponta tipo leque XR 110.02), utilizando a taxa de 150 L/ha. Ao final do experimento foi avaliada a produção dos grãos com a colheita das espigas de 10 plantas escolhidas aleatoriamente em duas linhas centrais da parcela. Para estimar o rendimento por hectare de cada tratamento, as espigas foram debulhadas e a umidade foi corrigida para 15% (NUNES; BACKES).

### 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk com o software Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2014). Após, os dados foram submetidos a análise da variância (ANOVA) tipo III utilizando modelos lineares mistos no software R. Os fatores milho Bt, inseticidas químicos e inseticidas biológicos, e suas interações, foram considerados como fatores fixos no modelo.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 ANOVA

Houve interação significativa para os fatores híbridos x inseticidas, híbridos x época de cultivo, inseticidas x época de cultivo e híbridos x inseticidas x época de cultivo para nota de dano (1-9) causada por *S. frugiperda*, plantas atacadas com dano  $\geq 3$  e produtividade (Tabela 3).

Tabela 3. ANOVA usando modelos mistos lineares para os efeitos de híbridos, inseticidas, datas de avaliação, época de cultivo e as interações nos danos, plantas atacadas e produtividade do milho.

<b>Safra 1 x Safra 2 - nota de dano (1-9)</b>	<b>DF</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Híbridos	5	1655.86	<.0001
Inseticidas	8	223.879	<.0001
Época de cultivo	1	8.075	0.0051
Híbridos x Inseticidas	40	25.831	<.0001
Híbridos x Época de cultivo	5	11.001	<.0001
Inseticidas x Época de cultivo	8	65.575	<.0001
Híbridos x Inseticidas x Época de cultivo	40	7.404	<.0001
<b>Safra 1 x Safra 2 - Plantas atacadas com dano <math>\geq 3</math></b>			
Híbridos	5	1026.638	<.0001
Inseticidas	8	132.225	<.0001
Época de cultivo	1	8.823	0.0034
Híbridos x Inseticidas	40	15.584	<.0001
Híbridos x Época de cultivo	5	5.891	<.0001
Inseticidas x Época de cultivo	8	48.473	<.0001
Híbridos x Inseticidas x Época de cultivo	40	5.731	<.0001
<b>Safra 1 x Safra 2 - Produtividade</b>			
Híbridos	5	565.318	<.0001
Inseticidas	8	94.862	<.0001
Época de cultivo	1	131.332	<.0001
Híbridos x Inseticidas	40	21.306	<.0001
Híbridos x Época de cultivo	5	89.084	<.0001
Inseticidas x Época de cultivo	8	5.943	<.0001
Híbridos x Inseticidas x Época de cultivo	40	5.139	<.0001

CV (%) = 51,59

### 3.2 RESPOSTA DOS HÍBRIDOS NO CONTROLE DE *S. frugiperda*

No primeiro cultivo, as notas de dano de *S. frugiperda* no milho, foram consideravelmente baixas e similares entre tratamentos até a terceira data de avaliação (estágio V6). Desta fase em diante, os híbridos de milho diferiram estatisticamente entre si, com exceção dos híbridos com a presença da proteína Vip (Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401), além de não necessitarem de aplicações inseticidas para complementar o controle da praga. (Figura 1). Enquanto isso, no segundo cultivo, a partir da segunda data de avaliação (estágio V4), ocorreu aumento expressivo das notas de danos causados por *S. frugiperda*, caracterizando uma maior pressão de pragas no segundo cultivo. Em ambas as safras, se observou uma divisão das respostas, entre os híbridos analisados, segmentada em três grupos, do maior para o menor nível de dano, sendo eles: 1) Pioneer 30F53R e Pioneer 32R22YHR; 2) DKB 290 e Morgan 20<sup>a</sup>78; e 3) Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401, com um nível de maior suscetibilidade da praga, respectivamente. Esses agrupamentos das respostas podem ser atribuídos à similaridade das proteínas Bt, presentes em cada um destes híbridos e da interação com as duas épocas de cultivo.

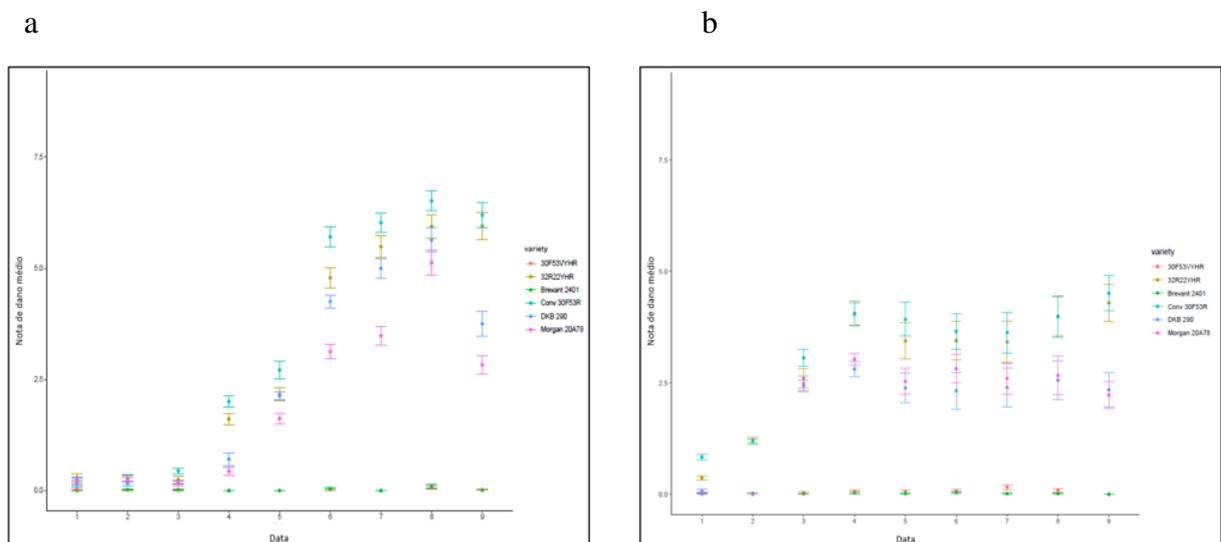


Figura 1. Evolução do nível de dano médio das plantas atacadas com nota  $\geq 3$  (escala de Davis) causada por *Spodoptera frugiperda* em milho no primeiro cultivo (a) e segundo cultivo (b) da safra 2019/2020. Linhas com a mesma letra não diferem entre si por ANOVA seguido pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ). Santa Maria – RS.

Para a variável número de plantas atacadas por *S. frugiperda* com nota de dano  $\geq 3$ , as diferenças foram significativas. No primeiro cultivo, os híbridos de milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401 não diferiram entre si (apenas 0,45% e 0,55%, respectivamente, das plantas

com nota de dano  $\geq 3$ ). Por sua vez, Morgan 20A78 (40%), DKB 290 (45,7%), Pioneer 32R22YHR (51,3%) e Pioneer 30F53R (não-Bt) (55,8%) diferiram dos demais tratamentos, aumentando o percentual de plantas atacadas, em função da variação de eficácia da proteína inseticida (Figura 2-a). No segundo cultivo, ocorreu um aumento significativo de plantas com nota de dano  $\geq 3$ , em relação ao primeiro cultivo, chegando aos níveis de dano de até 70,9% das plantas atacadas. Os híbridos de milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401 mantiveram seus níveis de eficácia de controle da lagarta, não diferindo estatisticamente entre si, com percentuais de plantas com classificação de dano  $\geq 3$  de apenas 0,9% e 0,31%, respectivamente. Em contraste, DKB 290 (45,8%), Morgan 20A78 (46,1%), Pioneer 32R22YHR (65,1%) e Pioneer 30F53R (não-Bt) (70,9%) diferiram entre si para o percentual de plantas atacadas com classificação de dano  $\geq 3$  (figura 2-b). O único híbrido de milho Bt que, em ambos os cultivos conseguiu manter percentual aceitável de plantas atacadas com classificação de dano  $\geq 3$ , foi o DKB 290, situando-se em torno de 45%. Em suma, na safra 2019/2020, somente os híbridos de milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401 se mostraram eficazes, quanto aos danos causados por *S. frugiperda*, não havendo necessidade da realização de aplicações inseticidas para auxiliar no manejo. Este primeiro conjunto de resultados aponta para a maior infestação de *S. frugiperda* no segundo cultivo de milho, e para a clara diferença entre as tecnologias testadas, com perda da eficiência de controle em algumas delas.

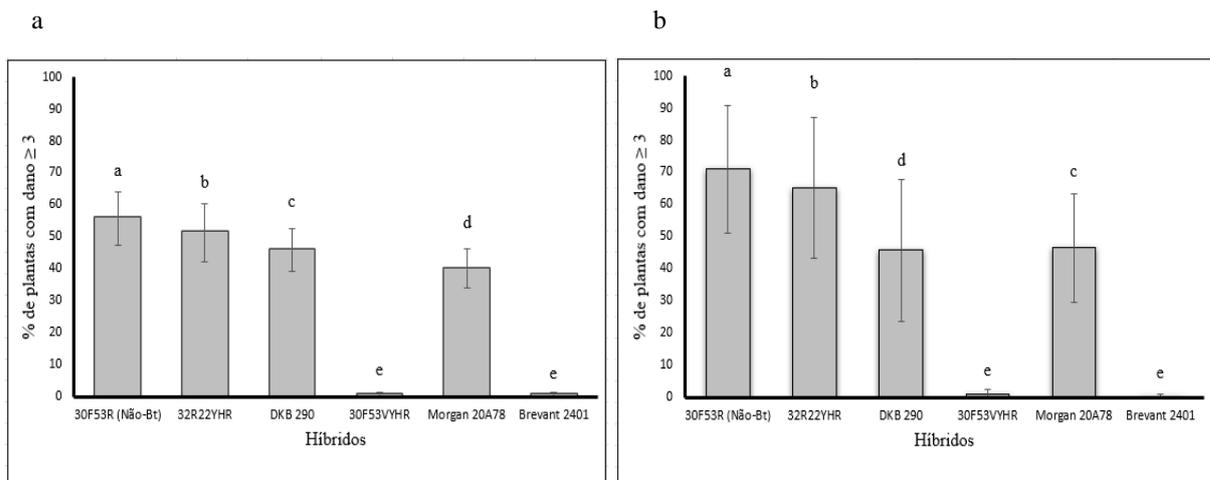


Figura 2. Porcentagem de plantas atacadas com nota  $\geq 3$  (escala de Davis) causada por *Spodoptera frugiperda* em milho no primeiro cultivo (a) e segundo cultivo (b) da safra 2019/2020. Barras com a mesma letra não diferem entre si por ANOVA seguido pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

### 3.3 RESPOSTA DOS INSETICIDAS NO CONTROLE DE *S. frugiperda*

O milho do primeiro cultivo sofreu menos danos, sendo que Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401 apresentaram menos de 10% de plantas atacadas na classificação de dano  $\geq 3$ , não havendo necessidade de realizar aplicações inseticidas para auxiliar no controle de *S. frugiperda*. Por outro lado, Pioneer 30F53R, Pioneer 32R22YHR, DKB 290 e Morgan 20A78 apresentaram danos superiores ao aceitável, sendo necessário realizar até 5 aplicações inseticidas para auxiliar no controle de *S. frugiperda* (Tabela 4). O híbrido de milho não-Bt (Pioneer 30F53R) apresentou 52,75% de plantas com dano  $\geq 3$ , contrapondo o inseticida Exalt, que reduziu esse dano a 29,75%, sendo o inseticida que apresentou a maior eficácia. Os tratamentos com os inseticidas Premio e Avatar, não diferiram, diminuindo o nível de dano ocasionado pela praga, reduzindo o número de plantas atacadas com dano  $\geq 3$  em 38,5% e 40%, respectivamente (Figura 3). O percentual de plantas atacadas no híbrido de milho Pioneer 32R22YHR chegou até 48,5% no tratamento sem aplicação inseticida. Em contrapartida, os tratamentos com os inseticidas Exalt, Pirate, Premio e Avatar foram os tratamentos mais eficazes no controle de *S. frugiperda*, reduzindo o número de plantas atacadas com nota  $\geq 3$  em até 31,25%. Com relação ao híbrido DKB 290, 41,5% de plantas atacadas atingiram dano  $\geq 3$  no tratamento sem aplicação inseticida, não diferindo significativamente dos tratamentos à base de *Baculovirus spodoptera*. Em contrapartida, os demais tratamentos inseticidas, que não diferiram significativamente, reduziram o número de plantas atacadas com nota  $\geq 3$  em até 27,75%. O número de plantas atacadas com nota de dano  $\geq 3$  no tratamento sem aplicação inseticida no híbrido Morgan 20A78 foi de 35,5%. Neste, não diferindo significativamente, Voraz (24%), Exalt e Avatar (26%), Premio (26,5%) e Pirate (27%) foram os tratamentos inseticidas que desempenharam melhores resultados no auxílio ao controle de *S. frugiperda*.

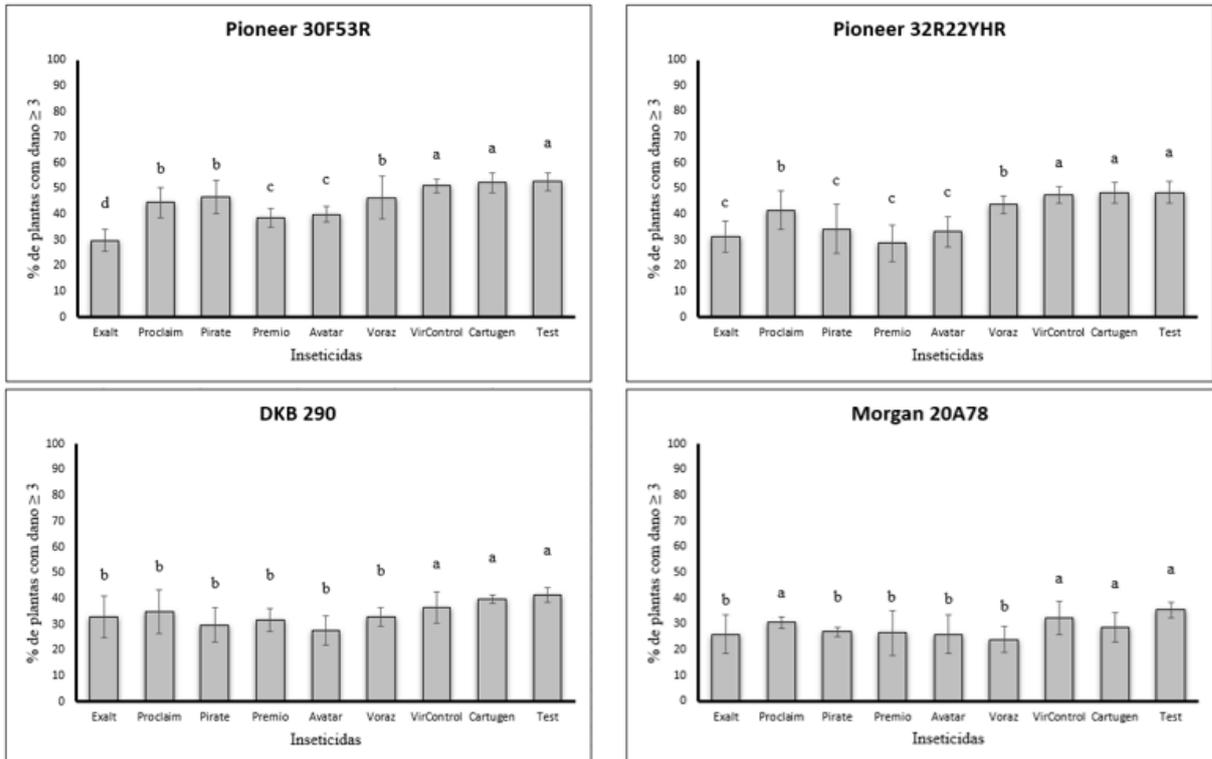


Figura 3. Porcentagem de plantas de milho com dano  $\geq 3$  sob diferentes tratamentos inseticidas semeado no primeiro cultivo da safra de 2019/2020. Barras com a mesma letra não diferem entre si por ANOVA seguido pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

No segundo cultivo, os híbridos de milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401 também não apresentaram mais de 10% de plantas com uma classificação de dano  $\geq 3$ , não havendo necessidade de realizar aplicações inseticidas para auxiliar no controle de *S. frugiperda* (Figura 4). No entanto, os híbridos Pioneer 30F53R, Pioneer 32R22YHR, DKB 290 e Morgan 20A78 apresentaram danos superior ao permitido e maiores em relação ao primeiro cultivo, sendo necessário realizar até 7 aplicações inseticidas para auxiliar no controle de *S. frugiperda* (Tabela 4). O número de plantas atacadas com nota de dano  $\geq 3$  para a testemunha do híbrido Pioneer 30F53R (não Bt) foi de 69,5% contra 20% do tratamento realizado com o inseticida Exalt, que diferiu significativamente dos demais tratamentos, nesse híbrido. O híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, apresentou um percentual de plantas atacadas com nível de dano  $\geq 3$ , comparado à testemunha com 68,5% de plantas atacadas. Em contrapartida, o menor percentual de plantas atacadas com nível de dano  $\geq 3$  foi, também, do inseticida Exalt (15,5%), não diferindo dos tratamentos com inseticidas Pirate, Premio, Avatar e Voraz. Já o tratamento testemunha do híbrido de milho DKB 290, apresentou 57,5% das plantas atingindo o nível de dano  $\geq 3$ , enquanto a testemunha, diferentemente do tratamento com o inseticida Pirate (7%), que atingiu o percentual mais baixo, porém, não diferiu significativamente dos tratamentos com Exalt,

Premio, Avatar e Voraz. Do híbrido Morgan 20A78, 54,75% plantas atacadas atingiram nível de dano  $\geq 3$ , porém quando tratado com Avatar apresentou o menor percentual de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ , situando-se em torno de 14,5%, mas não diferindo dos tratamentos com Exalt, Pirate e Voraz. Por sua vez, os tratamentos à base de *Baculovirus*, VirControl e Cartugen, tanto no primeiro cultivo, quanto no segundo cultivo, não diferiram significativamente da testemunha, caracterizando falhas no controle de *S. frugiperda*, demonstrando que as combinações de tratamentos utilizando produtos biológicos, à base de baculovirus, não controlaram *S. frugiperda*, e apontando para a necessidade de melhorar a eficácia dos inseticidas biológicos testados, seja pela alteração de cepas, doses, formulações e posicionamento nos momentos de ocorrência da praga.

Dessa forma, no primeiro cultivo, o número total de aplicações para o controle de *S. frugiperda* foi menor em comparação ao segundo cultivo. Os inseticidas químicos Exalt, Premio e Pirate se mostraram mais eficientes, reduzindo os danos da praga e por outro lado, os inseticidas biológicos a base de *Baculovirus spodoptera*, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, não se mostraram eficazes, evidenciando a necessidade de outros estudos sobre sua eficácia para essa praga.

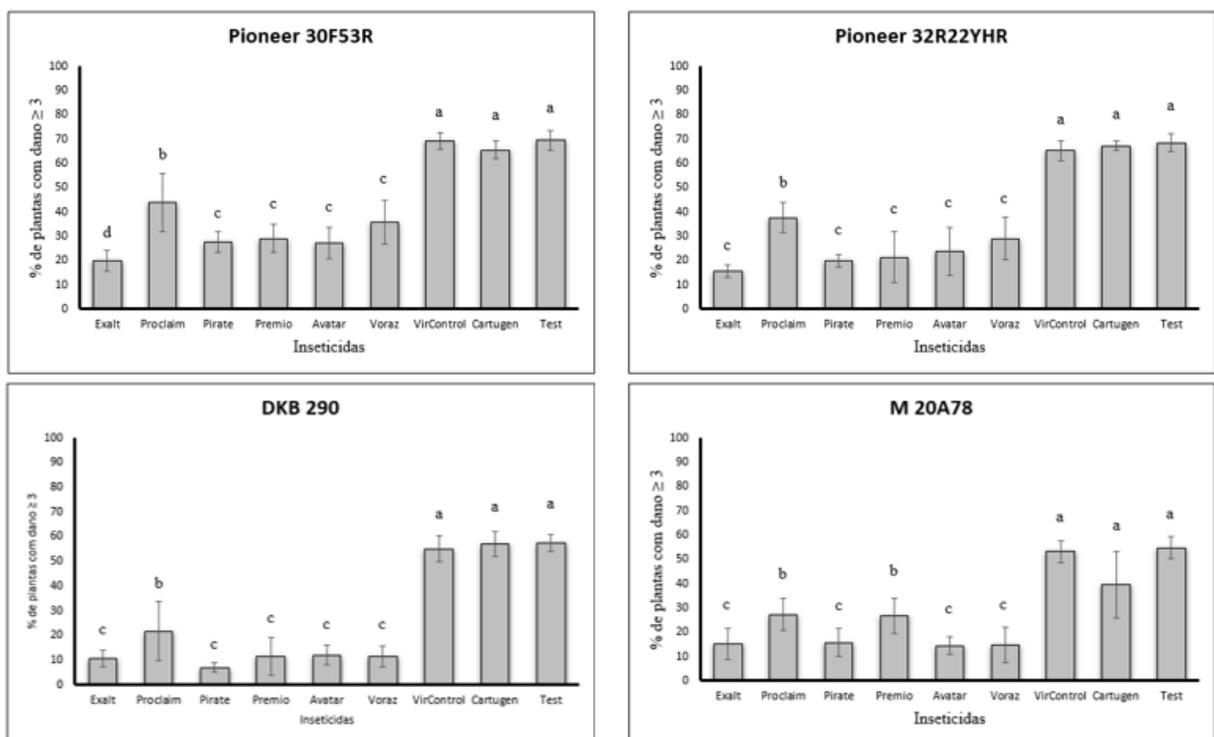


Figura 4. Porcentagem de plantas de milho com dano  $\geq 3$  sob diferentes tratamentos inseticidas semeado no segundo cultivo da safra de 2019/2020. Barras com a mesma letra não diferem entre si por ANOVA seguido pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

### 3. 4 PRODUTIVIDADE DOS HÍBRIDOS DE MILHO

No primeiro cultivo da safra de 2019/2020, o rendimento de grãos da testemunha do híbrido de milho não-Bt (5890 kg/ha) foi significativamente menor em relação aos demais tratamentos do mesmo híbrido (Tabela 4). A maior produtividade, nesse híbrido, foi do tratamento com o inseticida Pirate (12008 kg/ha), não diferindo significativamente dos tratamentos com os inseticidas Exalt, Premio e Avatar. Para o híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, as maiores produtividades foram dos tratamentos com os inseticidas Exalt (8930 kg/ha) e Pirate (8835 kg/ha), que não diferiram significativamente entre si. Em contrapartida, o rendimento da testemunha desse híbrido foi de apenas 5548 kg/ha, não diferindo dos tratamentos com Cartugen e VirControl SF. O híbrido DKB 290 sem tratamento inseticida (testemunha) teve um rendimento de 10623 kg/ha, não diferindo significativamente do tratamento com VirControl SF, enquanto no tratamento com o inseticida Exalt obteve-se o maior rendimento, com 15623 kg/ha de milho. Os tratamentos com Exalt (13659 kg/ha) e VirControl SF (13659 kg/ha), que não diferiram significativamente apresentaram os maiores rendimentos no híbrido de milho Morgan 20A78. Em contrapartida, o rendimento da testemunha foi de 10174 kg/ha, não diferindo significativamente dos tratamentos Cartugen, Avatar, Pirate e Proclaim, caracterizando a baixa eficácia destes tratamentos, não somando produtividade às combinações testadas.

No segundo cultivo, a testemunha do híbrido de milho não-Bt produziu apenas 5498 kg/ha de milho, comparados aos 12374 kg/ha do tratamento com Exalt e 12259 kg/ha do tratamento com Pirate, que não diferiram significativamente. Da mesma forma, no híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, Exalt (8613 kg/ha) e Pirate (8613 kg/ha), que não diferiram significativamente, também apresentaram os maiores rendimentos, diferentemente da testemunha, que apresentou rendimento de apenas 5670 kg/ha. O tratamento com Cartugen rendeu 7149 kg/ha, que caracteriza também um bom rendimento, porém, não diferiu significativamente dos tratamentos com os inseticidas Voraz, Avatar e Premio. A testemunha do híbrido DKB 290 apresentou rendimento de 9159 kg/ha, não diferindo do tratamento com Voraz (9537 kg/ha). Por outro lado, mais uma vez, Exalt (12747 kg/ha) e Pirate (11488 kg/ha) resultaram nos melhores rendimentos, caracterizando as maiores eficácias na redução dos danos de *S. frugiperda*, refletida em produtividade de grãos de milho. O híbrido de milho Morgan 20A78, de forma similar ao primeiro cultivo, VirControl SF (13878 kg/ha) apresentou o maior rendimento de grãos, seguindo pelos tratamentos com os inseticidas Exalt (12881 kg/ha) e

Pirate (12721 kg/ha) que não diferiram significativamente. Enquanto a testemunha desse mesmo híbrido resultou em um rendimento de apenas 8042 kg/ha. De outro lado, os híbridos Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401, com proteínas Vip, não houve a necessidade de realizar aplicações com inseticidas, e apresentaram rendimentos de 11374 kg/ha e 11554 kg/ha no primeiro cultivo, respectivamente e, 13284 kg/ha e 9288 kg/ha no segundo cultivo, caracterizando a eficácia da tecnologia Bt presente nestes híbridos de milho, dispensando o uso de tratamento químico.

Tabela 4. Produtividade média geral dos híbridos de milho e número de aplicações sob diferentes tratamentos inseticidas contra *S. frugiperda*, para o primeiro e o segundo cultivo na safra de 2019/2020.

Híbrido	Inseticida	Safra 1			Safra 2		
		Aplicações	Produtividade (Kg/ha)		Aplicações	Produtividade (Kg/ha)	
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Exalt	5	11856	a	5	12374	a
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Proclaim	5	9880	b	7	8082	d
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Pirate	5	12008	a	6	12259	a
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Premio	5	11780	a	7	10981	b
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Avatar	5	11970	a	7	8412	d
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Voraz	5	10640	b	7	9732	c
Não Bt (Pioneer 30F53R)	VirControl	5	8170	c	7	6302	e
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Cartugen	5	10070	b	7	5498	e
Não Bt (Pioneer 30F53R)	Testemunha	5	5890	d	7	5498	e
Pioneer 32R22YHR	Exalt	5	8930	a	5	8613	a
Pioneer 32R22YHR	Proclaim	5	7600	b	7	5742	c
Pioneer 32R22YHR	Pirate	5	8835	a	5	8613	a
Pioneer 32R22YHR	Premio	5	8170	b	6	7622	b
Pioneer 32R22YHR	Avatar	5	7980	b	6	7278	b
Pioneer 32R22YHR	Voraz	5	8360	b	7	7622	b
Pioneer 32R22YHR	VirControl	5	5700	c	7	5742	c
Pioneer 32R22YHR	Cartugen	5	5700	c	7	7149	b
Pioneer 32R22YHR	Testemunha	5	5548	c	7	5670	c
DKB 290	Exalt	4	15623	a	3	12747	a
DKB 290	Proclaim	4	12290	c	6	9238	d
DKB 290	Pirate	4	13123	b	3	12291	a
DKB 290	Premio	4	12081	c	4	11488	b
DKB 290	Avatar	4	11873	c	3	10654	c
DKB 290	Voraz	4	11457	d	5	9537	d
DKB 290	VirControl	4	10623	e	6	10150	c
DKB 290	Cartugen	4	11457	d	6	11221	b
DKB 290	Testemunha	4	10623	e	6	9159	d
Morgan 20A78	Exalt	4	13659	a	5	12881	b
Morgan 20A78	Proclaim	4	11304	c	6	8860	d
Morgan 20A78	Pirate	4	11304	c	5	12721	b
Morgan 20A78	Premio	4	12953	b	6	11458	c
Morgan 20A78	Avatar	4	11069	c	4	10480	c
Morgan 20A78	Voraz	4	12482	b	5	11084	c
Morgan 20A78	VirControl	4	13659	a	6	13878	a
Morgan 20A78	Cartugen	4	10833	c	6	11031	c
Morgan 20A78	Testemunha	4	10174	c	6	8042	d
Pioneer 30F53VYHR	-	0	11374		0	13284	
Brevant 2401	-	0	11554		0	9288	

#### 4 DISCUSSÃO

O híbrido de milho não-Bt (Pioneer 30F53R) e Optimun intrasect (Pioneer 32R22YHR), apresentaram baixa eficácia no controle de *S. frugiperda*, tanto no primeiro, quanto no segundo cultivo da safra de 2019/2020. No híbrido de milho Bt Pioneer 32R22YHR estão presentes as proteínas Cry1F e Cry1Ab. A proteína Cry1Ab, liberada para comercialização no Brasil em 2007 (JAMES, 2007), não apresentou eficácia significativa contra *S. frugiperda*, comparado a outros híbridos de milho Bt testados, caracterizando aumento gradual da tolerância da praga à toxina, na medida do aumento da área plantada e o decorrer dos dias após a emergência das plantas (BARCELOS; ANGELINI, 2018). A proteína Cry1F foi lançada no Brasil em 2008, estando disponível comercialmente na safra 2009/2010 (STORER et al., 2012). Nesse caso já foi observada perda de controle 3 anos após a sua introdução ao mercado, favorecendo o desenvolvimento da resistência. Esse fato está associado a adoção generalizada de milho com essa proteína, além do uso mínimo das áreas de refúgio com milho não-Bt que são recomendados (FARIAS et al., 2014). Desta forma, explica-se o fato do baixo desempenho do híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, que contém essas duas proteínas Bt, que resultam no fato da resistência cruzada (DIEZ-RODRÍGUEZ; OMOTO, 2001).

Em contraste, os híbridos de milho DKB 290 e Morgan 20A78, mesmo apresentando falhas de controle, foram eficazes contra *S. frugiperda*, apresentando alta similaridade de eficiência. No híbrido de milho DKB 290 encontram-se as proteínas Cry1A.105 e Cry2Ab2 para o controle de *S. frugiperda*, além da proteína Cry3Bb1 que não controla *S. frugiperda*, mas sim, visa expressar proteínas que controlam larvas de *Diabrotica speciosa* (Germar). Já no híbrido de milho Morgan 20A78, tem-se as proteínas Cry1F, Cry1A.105 e Cry2Ab2. Nestes híbridos, se observou menor preferência de *S. frugiperda* resultando em um controle mais efetivo, resultado da piramidação de genes das proteínas Bt (LIMA; ASSMANN, 2015).

Por fim, os híbridos de milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401 apresentam, além das proteínas Cry, também proteínas Vip, sendo eficazes no controle de *S. frugiperda*, dispensando as aplicações inseticidas para seu controle. Sendo produzidas e secretadas durante o estágio de crescimento vegetativo de *B. thurigiensis*, as proteínas Vip apresentam um modo de ação diferente das proteínas Cry, as quais são produzidas no estágio de esporulação e, por isso, oferecem uma alternativa propícia para o MRI (ESTRUCH et al., 1996).

No primeiro e segundo cultivo de milho da safra 2019/2020, em todos os híbridos de milho, com exceção dos híbridos Vip, houve a necessidade de realizar aplicações inseticidas para auxiliar no controle de *S. frugiperda*. Em relação aos inseticidas testados no híbrido de milho não-Bt, tanto no primeiro cultivo, quanto no segundo, o inseticida Exalt (espinetoram) mostrou maior eficácia contra *S. frugiperda*; no Pioneer 32R22YHR, Exalt, Pirate (clorfenapir), Premio (clorantraniliprole) e Avatar (indoxacarbe) foram os inseticidas que apresentaram maior eficácia no primeiro cultivo e, no segundo cultivo, além desses, Voraz (metomil + novaluron) também mostrou uma boa eficácia no controle de *S. frugiperda*; no híbrido de milho DKB 290, em ambos os cultivos, praticamente houve uma divisão em dois grupos, em que de um lado os inseticidas químicos não diferiram estatisticamente, diferenciando-se dos inseticidas a base de *Baculovirus spodoptera* que não diferiram da testemunha, não apresentando um resultado satisfatório; por último, no híbrido de milho Morgan 20A78, no primeiro cultivo, Exalt e Voraz apresentaram os melhores resultados, enquanto que no segundo cultivo houve uma maior distinção em três grupos, sendo que Exalt, Pirate, Avatar e Voraz desempenharam resultados satisfatórios entre os inseticidas testados e, Proclaim e Premio, intermediário. Por fim, os inseticidas a base de *Baculovirus spodoptera* não foram eficientes, resultando em danos similares a testemunha.

Os inseticidas Exalt e Premio, também foram eficazes para o controle de *S. frugiperda* em experimentos realizados na Índia (DESHMUKH et al., 2020); resultados de experimentos conduzidos no Núcleo de Bioeficiência em Climas Temperados da Embrapa no Brasil evidenciaram alta mortalidade de *S. frugiperda* para estes inseticidas, independente do instar do inseto (FERNANDES et al., 2019). Esses dados complementam os resultados satisfatórios desses inseticidas no controle de *S. frugiperda*, evidenciando nesse caso, baixa resistência dos insetos. Quanto aos inseticidas a base de *Baculovirus spodoptera* utilizados nesse experimento, seus resultados não se mostraram satisfatórios em ambos os cultivos, fato este que sugere um manejo em consorciação com os inseticidas químicos, visando assim, um possível controle eficiente. Garavazi et al., (2020) encontraram resultados semelhantes ao deste trabalho, em que se obteve semelhança na eficiência da aplicação do controle químico e biológico, entretanto, o controle químico apresentou resultados superiores a testemunha e o controle biológico (*Baculovirus spodoptera*) apresentou valores estatisticamente iguais a testemunha.

No que tange à produtividade dos híbridos de milho testados, em média os melhores inseticidas para auxiliar no manejo de *S. frugiperda* foram Exalt, Pirate e Premio, com exceção do híbrido Morgan 20A78, em que obteve-se ótima produtividade no tratamento utilizando o

inseticida biológico VirControl SF. Contudo, salienta-se que as proteínas dos híbridos de milho Bt ainda são eficazes, auxiliando no controle dos danos causados pela espécie-praga. Assim, torna-se evidente a importância da utilização do MIP nas lavouras, para assim, obter sucesso no controle de *S. frugiperda*.

Assim, o MIP e o MRI em associação, têm por objetivo retardar a seleção de indivíduos resistentes, em razão da redução do uso constante do mesmo modo de ação dos inseticidas. Com a união do uso de inseticidas químicos e biológicos busca-se uma forma de manejo complementar, a fim de reduzir o nível de dano econômico causado pela praga.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTHROPOD PESTICIDE RESISTANCE DATABASE, **Michigan State University**.

Disponível: < <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=200> >.

Acesso em: 03 de maio de 2021.

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.

BATEMAN, M., L.; DAY, R. K.; LUKE, B.; EDGINGTON, S.; KUHLMANN, U.; COCK, M. J. W. Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Africa. **Journal of Applied Entomology**, v. 142, n. 9, p. 805 – 819, 2018.

BIALOZOR, A.; PERINI, C. R.; ARNEMANN, J. A.; POZEBON, H.; MELO, A. A.; PADILHA, G.; STACKE, R. S.; PUNTEL, L.; DREBES, L.; GUEDES, J. V. C. Water in maize whorl enhances the control of *Spodoptera frugiperda* with insecticides. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1- 10, 2020.

BELAY, D., K.; HUCKABA, R., M.; FOSTER, J., E. Susceptibility of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), at Santa Isabel, Puerto Rico, to different insecticides. **Florida Entomologist**. v. 95, n. 2, p. 476 - 478, 2012.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; VASCONCELOS, C. A.; Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. **International Journal of Pest Management**, v. 45, n. 4, p. 293 – 296, 1999.

DAVIS, F. M., NG, S. S., WILLIAMS, W. P. Visual rating scales for screening whorl-stage maize for resistance to fall armyworm. **Mississippi State: MAFES/MSU**. n. 186, p. 1-9, 1992.

DESHMUKH, S.; PAVITHRA, H. B.; KALLESHWARASWAMY, C. M.; SHIVANNA, B. K.; MARUTHI, B. K.; MOTA-SANCHEZ, D. Field Efficacy of Insecticides for Management

of Invasive Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on Maize in India. **Florida Entomologist**, v. 103, n. 2, p. 221 – 227, 2020.

DIEZ-RODRÍGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Herança da Resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a Lambda-Cialotrina. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 311 – 316, 2001.

EPP0 GLOBAL DATABASE. **União Europeia**. Disponível em: <<https://gd.eppo.int/taxon/LAPHFR/distribution>>. Acesso em: 02 de maio de 2021.

ESTRUCH, J. J.; WARREN, G. W.; MULLINS, M. A.; NYE, G. J.; CRAIG, J. A.; KOZIEL, M. G. Vip3A, a novel *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein with a wide spectrum of activities against lepidopteran insects. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 93, n. 1, p. 5389 - 5394, 1996.

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRIST, L. M.; ROSA, AP. S. A. Efficacy of Insecticides Against *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, p. 494 – 503, 2019.

GALVÃO, A. **Informativo de Biotecnologia Céleres®**. Uberlândia: Céleres, 2019. Disponível em:

<[http://www.celeres.com.br/wp-content/uploads/2019/11/BoletimBiotecnologiaC%C3%A9leres\\_](http://www.celeres.com.br/wp-content/uploads/2019/11/BoletimBiotecnologiaC%C3%A9leres_Novembro2019-2.pdf)

[Novembro2019-2.pdf](http://www.celeres.com.br/wp-content/uploads/2019/11/BoletimBiotecnologiaC%C3%A9leres_Novembro2019-2.pdf)>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

GARAVAZI, F.; PATRONI, B. H.; LOPES, A.; BALIEIRO, C. C. Comparativo do Controle Biológico e Químico de *Spodoptera frugiperda* na Cultura do Milho. **Revista Ensaios Pioneiros**, v. 4, n. 1, p. 89 – 98, 2020.

GRÜTZMACHER, A. D.; MARTINS, J. F. S.; CUNHA, U. S. Insetos-pragas das culturas do milho e sorgo no agroecossistema de várzea. **Embrapa Clima Temperado**, p. 87 – 102, 2000.

IRAC 2018 - Insecticide Resistance Action Committee. Manejo da resistência inseticidas e plantas Bt (*Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa armigera*, *Chrysodeixis includens*). Disponível em: <[https://92813ac4-b3b4-47f4-a8b3-43c4292d561c.filesusr.com/ugd/2bed6c\\_029627fdae5a499ca06c3eb4cb2fba0a.pdf?index=true](https://92813ac4-b3b4-47f4-a8b3-43c4292d561c.filesusr.com/ugd/2bed6c_029627fdae5a499ca06c3eb4cb2fba0a.pdf?index=true)>. Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

JAMES, C. Global status of commercialized transgenic crops: 2007. Disponível em: <<http://www.isaaa.org>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

LIMA, L. G.; ASSMANN, E. J. Desfolha causada pela *Spodoptera frugiperda* em milho com diferentes biotecnologias. **Revista Cultivando o Saber**, edição especial, p. 56 – 66, 2015.

NUNES, U. R.; BACKES, R. L. B. Determinação do grau de umidade e peso de mil sementes. Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Curso de Agronomia, Produção e Tecnologia de Sementes, Aula prática.

PEDLOWSKI, M. A.; CANELA, M. A.; TERRA, M. A. C.; FARIA, R. M. R. Modes of pesticides utilization by Brazilian smallholders and their implications for human health and the environment. *Crop Protection*, v. 31, n. 1, p. 113 – 118, 2012.

SILVA, M. T. B. Fatores que afetam a eficiência de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* Smith em milho. **Ciência Rural**, v. 29, n. 3, p. 383 – 387, 1999.

SORGATTO, R. J., BERNARDI, O., OMOTO, C. Survival and development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt cotton and implications for resistance management strategies in Brazil. **Environmental Entomology, College Park**. v. 44, n. 1, p. 186-192, 2015.

STORER, N. P.; KUBISZAK, M. E.; REI, J. E.; THOMPSON, G. D.; SANTOS, A. C. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Lessons from Puerto Rico. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 110, n. 3, p. 294 – 300, 2012.

VASCONCELOS, S. D.; HAILS, R. S.; SPEIGHT, M. R.; CORY, J. C. Differential crop damage by healthy and nucleopolyhedrovirus infected *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera: Noctuidae) larvae: A Weld examination. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 88, n. 1, p. 177 – 179, 2005.

VIANA, P. A.; CRUZ, I.; WAQUIL, J. M. Controle de Pragas no Cultivo do Milho Verde. **Embrapa Milho e Sorgo**, cap. 8, p. 137 – 157, 2002.

WAGUIL, J. M.; VIANA, P. A.; CRUZ, I. Manejo Integrado de Pragas. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_69\\_16820051120.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_69_16820051120.html). Acesso em: 01 dez 2020.

WAQUIL, J. M., DOURADO, J. M., CARVALHO, R.A., OLIVEIRA, W. S., BERGER, G. U., HEAD, G. P., MARTINELLI, S. Manejo de lepidópteros-praga na cultura do milho com o evento Bt piramidado Cry1A.105 e Cry2Ab2. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília. v. 48, n. 12, p. 1529-1537, 2013.

## 4 ARTIGO 2

### Ordem de aplicação de inseticidas químicos e biológicos no manejo da lagarta-do-cartucho em milho

#### RESUMO

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma das principais pragas da cultura do milho, devido ao seu potencial de causar danos, dificuldades e custo do seu controle. O objetivo desse experimento foi avaliar a eficácia do controle de *S. frugiperda*, considerando o posicionamento dos inseticidas na primeira aplicação, intercalando inseticidas químicos e biológico a base de *Baculovirus spodoptera*, em cultivares de milho Bt e não-Bt. Os experimentos foram realizados em campo, em duas épocas de cultivo na safra de 2019/20, testando 6 inseticidas químicos e um biológico em 4 híbridos de milho, compondo um esquema trifatorial 4x7x2. No primeiro cultivo, ao analisar as notas de danos, iniciar as aplicações para o manejo de *S. frugiperda* utilizando *Baculovirus spodoptera* foi mais eficiente, sendo que no híbrido de milho Pioneer 30F53R a combinação *Baculovirus spodoptera* + Exalt apresenta melhor controle e, no híbrido de milho Pioneer 32R22YHR a melhor combinação foi com *Baculovirus spodoptera* + Exalt e *Baculovirus spodoptera* + Avatar. Já no segundo cultivo, os menores danos foram auferidos com o início das aplicações com inseticidas químicos. Em ambos os híbridos, a melhor combinação foi iniciar com Exalt + *Baculovirus spodoptera*. A produtividade destes tratamentos, refletiu-se na sanidade das plantas de milho. Portanto, infere-se que em anos de baixa pressão populacional dessa espécie-praga, convém iniciar as aplicações fazendo uso de inseticidas biológicos, enquanto em anos de alta pressão populacional, é melhor posicionar o uso de inseticidas químicos na primeira aplicação. Portanto, a combinação dos métodos de manejo com plantas Bt, inseticidas químicos e *Baculovirus spodoptera* são uma estratégia eficiente para reduzir os danos de *S. frugiperda* em milho.

**Palavras-chave:** eficácia do controle, plantas Bt, primeira aplicação, *Spodoptera frugiperda*.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com uma produção total na safra de 2019/20 de aproximadamente 103 milhões de toneladas do grão. Os EUA e a China são o primeiro e segundo colocados neste ranking. A projeção para a safra de 2020/21 é de que sejam produzidas 108,1 milhões de toneladas (CONAB, 2021). O cultivo de milho no Brasil vem ganhando espaço, sendo o segundo grão mais exportado, se apresentando como um dos principais segmentos econômicos do agronegócio brasileiro. No Brasil, o milho é cultivado em duas safras, sendo que a região Centro Oeste é a grande responsável pela produção, sendo esta de segunda safra (SOUZA et al., 2018).

Após a semeadura, há vários insetos que atacam as sementes, raízes e plântulas do milho. Esse ataque reduz o número de plantas na área cultivada, prejudicando o potencial produtivo da lavoura (LIMA et al., 2016). *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) destaca-se entre uma das principais pragas da cultura do milho, pela frequência de ocorrência, pelo dano causado às lavouras ou ainda, pela dificuldade de controle com os métodos utilizados atualmente (MENDES; WAQUIL, 2009). Essa praga causa severos danos às plantas de milho, se alimentando preferencialmente por cartuchos de plantas jovens, podendo reduzir a produtividade em até 58% e, caso medidas de controle não sejam adotadas imediatamente, esse índice de perdas pode chegar em até 100% (CRUZ et al., 1999; TOSCANO et al., 2012).

A partir da introdução do milho safrinha e do plantio do milho na época do inverno em algumas localidades do país com infraestrutura de irrigação, o problema no controle da espécie-praga tem aumentado, já que ela pode atacar a cultura do milho em qualquer época do ano (DIEZ-RODRIGUEZ et al., 2001). Além da lagarta ser favorecida por haver grande disponibilidade de alimento, o cartucho age como uma forma indireta de proteção para ela (MCAGNAN et al., 2012). Essas lagartas apresentam a característica de se alimentar raspando os tecidos de um lado da folha, permanecendo intacta a epiderme do lado oposto da folha. Já as lagartas maiores, costumam dirigir-se para o interior do cartucho da planta, fazendo buracos nas folhas, principalmente as mais novas, podendo destruir completamente as plantas (TRINDADE et al., 2017).

Para o controle de *S. frugiperda*, o controle químico é o mais utilizado, pela fácil aplicação e por sua eficiência, porém, muitas vezes é utilizado de forma inadequada, causando

problemas ao meio ambiente e aumentando a pressão de seleção da lagarta, favorecendo o aumento de casos de resistência (OTA et al, 2011). A partir de 2007, no Brasil, houve a liberação comercial de milho transgênico, que expressam proteínas Bt. Assim, nas populações de pragas, a preservação da suscetibilidade às toxinas Bt, depende de programas de Manejo da Resistência de Insetos, onde a principal estratégia é o uso das áreas de refúgio (RESENDE et al., 2014). Em sua essência, o controle biológico, pode ser considerado como o uso de organismos vivos, para manter a população de determinada praga em equilíbrio no agroecossistema, de modo a não ocasionar danos a cultura. O primeiro inseticida biológico a base de vírus foi desenvolvido nos EUA a partir de 1975, para o controle da lagarta *Heliothis zea* e, daí em diante, outros produtos têm sido registrados, sendo que a maioria pertencem ao grupo do *Baculovirus* (VALICENTE; CRUZ, 1991).

Tendo em vista a importância socioeconômica da cultura do milho, as perdas ocasionadas pela lagarta-do-cartucho são representativas e cada vez maiores. Assim, torna-se de imediata importância o uso de recursos alternativos visando o manejo integrado da praga, para diminuir o nível de dano econômico causado pela espécie. O objetivo desse artigo foi analisar a ordem de início da primeira aplicação, intercalando inseticidas químicos e biológicos a base de *Baculovirus spodoptera*, utilizando-os em cultivares de milho Bt e não-Bt.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL E SEMEADURA DOS EXPERIMENTOS

O cultivo das plantas de milho Bt foram realizadas em condições de campo no município de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, Brasil (29° 43' 28" S e 53° 33' 34" O). A semeadura do primeiro cultivo foi realizada em 21 de novembro de 2019 e, do segundo cultivo, em 27 de janeiro de 2020. O controle de plantas daninhas foi realizado com o herbicida glifosato (1620 g i.a/ha) na dessecação e aos 7 e 21 dias após a emergência do milho, foi aplicada uma mistura de glifosato mais atrazina (1080 + 1500 g i.a/ha). A densidade de semeadura foi de 4,5 sementes por metro com um espaçamento de 0,45 m entre linhas. Na adubação de base, foi utilizado 300 kg/ha de nitrogênio – fósforo – potássio (NPK 5-20-20) e, na adubação de cobertura, nos estágios V4 (quatro folhas totalmente expandidas) e em V8 (oito folhas completamente expandidas) foram aplicados 115 kg de N/ha, cada.

## 2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada parcela composta de 5 linhas de milho com 5 m cada. O arranjo fatorial dos tratamentos foram 4 x 7 x 2. O fator A foi representado por 4 híbridos de milho com diferentes tecnologias Bt (Tabela 1). O fator B composto por 6 tratamentos inseticidas, sendo 6 inseticidas químicos intercalados com 1 inseticida à base de *Baculovirus spodoptera* e vice-versa e, um tratamento testemunha (Tabela 2). E o fator C foi representado pelas duas datas de semeadura de milho Bt, primeiro cultivo em 2019 e segundo cultivo em 2020. Vale ressaltar que a testemunha ficou em uma área isolada, separada por uma bordadura de 40 m, para não haver interferência dos tratamentos a base de *Baculovirus*, em razão da epizootia.

Tabela 1. Híbridos de milho Bt, nome da tecnologia e a toxina expressa pelas plantas.

Híbrido	Tecnologia	Proteína Bt
Pioneer 32R22YHR	Optimun Intrasect	Cry1aB/ Cry1F
Pioneer 30F53VYHR	Leptra	Cry/ Cry1Ab/ Cry1F/ Vip3Aa20
Brevant 2401	PoweCore Ultra	Cry1F, Cry1A.105, Cry2Ab2 e Vip3Aa20
Pioneer 30F53R (não-Bt)	-	-

Tabela 2. Inseticidas, concentração e a dose utilizada para o controle de *S. frugiperda* em milho.

Inseticida	Concentração (i.a.)	Dose
Exalt (espinetoram)	120 g/L + 404 g/L	100 mL p.c./ha
Proclaim 50 (benzoato de emamectina)	50 g/kg + 404 g/L	250 g p.c./ha
Pirate (clorfenapir)	240 g/L + 404 g/L	750 mL p.c./ha
Premio (clorantraniliprole)	800 g/L + 404 g/L	125 mL p.c./ha
Avatar (indoxacarbe)	150 g/L + 404 g/L	400 mL/ha
Voraz (metomil + novalurom)	(440 + 35 g/L) + 404 g/L	500 mL/ha
Cartugen (Vírus SFMNPV)	404 g/L	100 mL/ha
Testemunha	-	-

O trabalho foi dividido em dois ensaios. No ensaio 1, iniciou-se a primeira aplicação com os inseticidas químicos (em cada parcela foi aplicado um tipo de inseticida químico), sendo as demais aplicações intercaladas com o inseticida à base de *Baculovirus* (para todas as parcelas foi aplicado esse). Já no ensaio 2, iniciou-se a primeira aplicação com o inseticida à base de *Baculovirus*, sendo as demais intercaladas com os inseticidas químicos. Em síntese, foi realizada uma aplicação com *Baculovirus* seguida por uma aplicação química e, a próxima, com *Baculovirus* e assim, sucessivamente.

### 2.3 AVALIAÇÃO DOS DANOS DE *S. frugiperda* E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os danos causados pela infestação natural das lagartas de *S. frugiperda*, foram avaliados a cada cinco dias, nas folhas do cartucho de 10 plantas escolhidas ao acaso, nas duas linhas centrais de cada parcela. A classificação de dano, atribuída a cada planta, foi de acordo com a escala de Davis (1 = de nenhum dano até três lesões muito pequenas a 9 = dano grave) (DAVIS et al., 1992).

Para realizar a pulverização dos tratamentos inseticidas se considerou a porcentagem de plantas atacadas como nota  $\geq 3$ , e realizada sempre ao atingir o limite de 10% das plantas com este nível de ataque. Para a aplicação, foi utilizado um pulverizador pressurizado com CO<sub>2</sub>, contendo uma barra lateral de 2,5 m e espaçamento entre bicos de 0,5 m (ponta tipo leque XR 110.02), utilizando um volume de calda de 150 L/ha. A produção dos grãos foi avaliada pela colheita das espigas de 10 plantas escolhidas ao acaso nas duas linhas centrais de cada parcela. Para estimar o rendimento por hectare de cada tratamento, as espigas foram debulhadas e a umidade foi corrigida para 15% (NUNES; BACKES).

### 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk com o software Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2014). Após, os dados foram submetidos a análise da variância (ANOVA) tipo III utilizando modelos lineares mistos no software R. Os fatores milho Bt, inseticidas químicos e inseticidas biológicos a base de *Baculovirus*, e suas interações, foram considerados como fatores fixos no modelo.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 ANOVA

Houve interação significativa para os fatores híbridos x inseticidas, híbridos x época de cultivo, inseticidas x época de cultivo e híbridos x inseticidas x época de cultivo para nota de dano (1-9) causada por *S. frugiperda*, plantas atacadas com dano  $\geq 3$  e produtividade (Tabela 3).

Tabela 3. ANOVA usando modelos mistos lineares para os efeitos de híbridos, inseticidas, datas de avaliação, época de cultivo e as interações nos danos, plantas atacadas e produtividade do milho.

<b>Safra 1 x Safra 2 - nota de dano (1-9)</b>	<b>DF</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>
Híbridos	3	1527,441	0,0000
Inseticidas	12	10,126	0,0000
Época de cultivo	1	36,050	0,0000
Híbridos x Inseticidas	36	3,302	0,0000
Híbridos x Época de cultivo	3	12,893	0,0000
Inseticidas x Época de cultivo	12	4,211	0,0000
Híbridos x Inseticidas x Época de cultivo	36	1,469	0,0035
<b>Safra 1 x Safra 2 - Plantas atacadas com dano <math>\geq 3</math></b>			
Híbridos	3	1774,354	0,0000
Inseticidas	12	5,197	0,0000
Época de cultivo	1	78,706	0,0000
Híbridos x Inseticidas	36	2,036	0,0003
Híbridos x Época de cultivo	3	27,580	0,0000
Inseticidas x Época de cultivo	12	4,860	0,0000
Híbridos x Inseticidas x Época de cultivo	36	1,672	0,0003
<b>Safra 1 x Safra 2 - Produtividade</b>			
Híbridos	3	243,112	0,0000
Inseticidas	12	57,758	0,0000
Época de cultivo	1	91,795	0,0000
Híbridos x Inseticidas	36	22,426	0,0000
Híbridos x Época de cultivo	3	36,178	0,0000
Inseticidas x Época de cultivo	12	6,232	0,0000
Híbridos x Inseticidas x Época de cultivo	36	2,908	0,0000

CV (%) = 44,36

### 3.2 RESPOSTA DOS HÍBRIDOS NO CONTROLE DE *S. frugiperda*

As diferenças foram significativas para a eficácia dos híbridos contra o ataque de *S. frugiperda*. No primeiro cultivo, tanto para o híbrido de milho não-Bt (Pioneer 30F53R) quanto para o híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, as aplicações com o inseticida biológico à base de *Baculovirus spodoptera* mostrou melhor resultado, pois o percentual de plantas atacadas com nota de dano  $\geq 3$  foram menores em comparação quando iniciado com os inseticidas químicos. Já em relação ao segundo cultivo, tanto para o híbrido de milho não-Bt (Pioneer 30F53R) quanto para o híbrido de milho Pioneer 32R22YHR os melhores resultados foram obtidos quando iniciou-se as aplicações com inseticidas químicos. Este fato deve estar relacionado a uma maior pressão populacional da praga, notadamente pelo percentual de plantas atacadas com nota  $\geq 3$  maior no segundo cultivo, visto que esse percentual ultrapassou níveis superiores a 90%, enquanto no primeiro cultivo, esses níveis não chegaram a 80% (Figura 1). Já os híbridos de milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401, se mostraram eficazes ao ataque de *S. frugiperda*, resultante da expressão da proteína Vip, não havendo necessidade de aplicações inseticidas para o controle desta. Desse modo, é imperativo considerar que os híbridos de milho que não expressam a proteína Vip3Aa20, dependendo da época de cultivo, necessitam de monitoramento mais cuidadoso e de manejo baseado na aplicação de inseticidas químicos e biológicos, associados ou isoladamente.

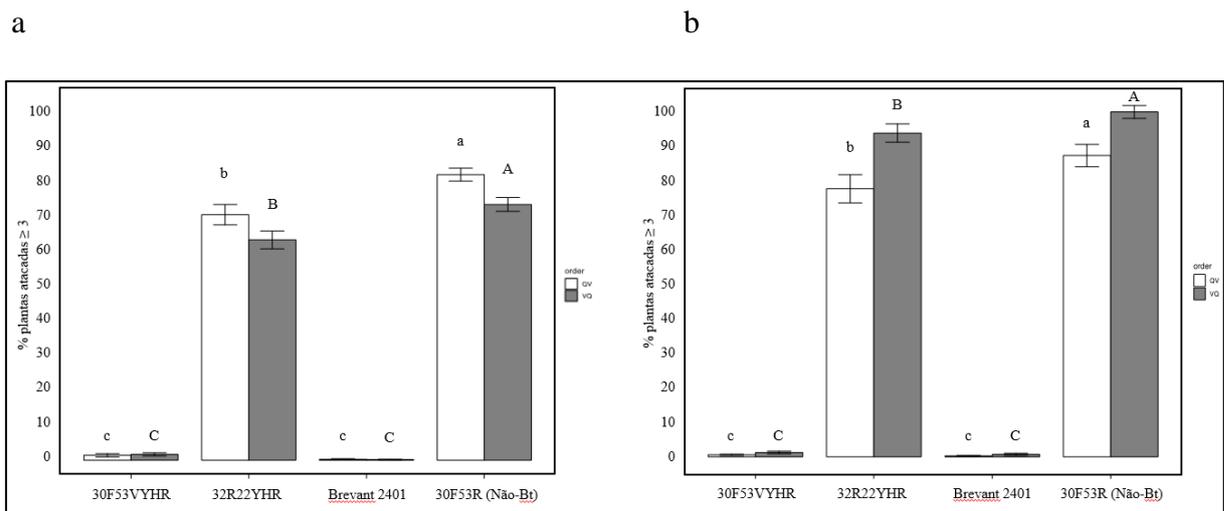


Figura 1. Porcentagem de plantas atacadas com nota  $\geq 3$  (escala de Davis) causada por *Spodoptera frugiperda* em milho, considerando a ordem do primeiro e o segundo experimento, no primeiro cultivo (a) e segundo cultivo (b) da safra 2019/2020. Barras com a mesma letra não diferem entre si por ANOVA seguido pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

\* Barras brancas representam o primeiro ensaio, iniciando as aplicações com inseticidas químicos; barras cinzas representam o segundo ensaio, iniciando as aplicações com *Baculovirus spodoptera*.

### 3.3 RESPOSTA DOS INSETICIDAS NO CONTROLE DE *S. frugiperda*

Nos híbridos de milho Pioneer 30F53R (não-Bt) e Pioneer 32R22YHR foram necessárias 7 aplicações inseticidas para controlar *S. frugiperda*, no nível pré-estabelecido no planejamento. No ensaio iniciado com controle iniciando com químicos, foi necessário realizar 4 aplicações com inseticidas químicos e 3 aplicações com inseticida biológico a base de *Baculovirus spodoptera*, enquanto no ensaio iniciado por aplicação com inseticida biológico, foi necessário 4 aplicações e 3 aplicações com inseticidas químicos (Tabela 4). Por outro lado, não foi necessário realizar nenhuma aplicação nos híbridos de milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401, pelo fato de ambos os híbridos apresentarem a proteína Vip, que é eficiente no ataque dessa praga.

O híbrido de milho não-Bt (Pioneer 30F53R), no primeiro ensaio (tratamentos iniciados pela aplicação de inseticidas químicos) do primeiro cultivo, apresentou 60% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$  para o tratamento testemunha, que não diferiu estatisticamente dos tratamentos Avatar (55,56%), Proclaim (55,83%), Pirate (57,50%) e Exalt (58,06%). Em contrapartida, Premio (50,56%) foi o tratamento mais eficaz, não diferindo de Voraz (53,6%). No segundo cultivo, a testemunha apresentou 77,78% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ , diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Seguindo a ordem, o tratamento com Voraz (70,83%) apresentou o pior desempenho. Diferindo destes, Proclaim (57,22%), Premio (58,33%), Avatar (59,72%) e Pirate (62,50%) não diferiram entre si. Exalt apresentou o melhor desempenho no controle de *S. frugiperda* (41,67%), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

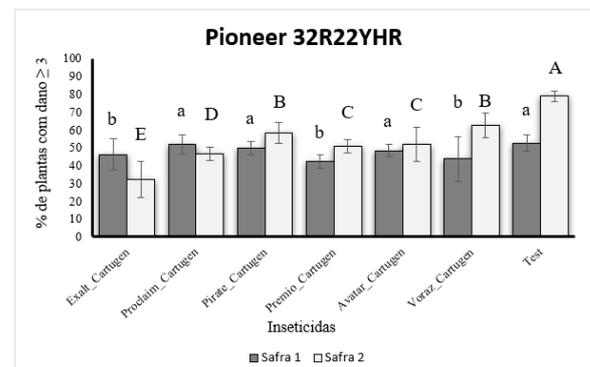
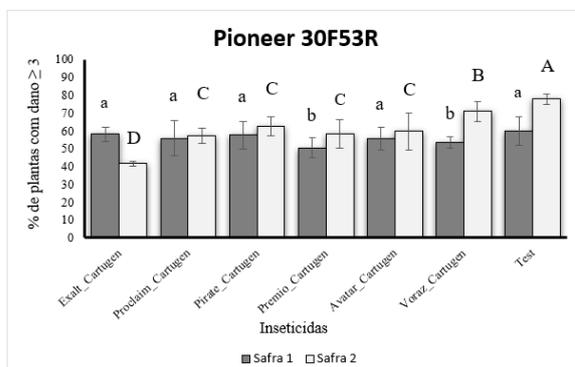
No híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, primeiro ensaio (primeiro cultivo), o tratamento testemunha apresentou 52,50% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ , não diferindo estatisticamente entre si dos tratamentos Proclaim (51,90%), Pirate (49,72%) e Avatar (48,33%). Diferindo destes, o melhor desempenho de controle no milho não-Bt (Pioneer 30F53R), foi de tratamento com Premio (42,22%), não diferindo entre si dos inseticidas Voraz (43,80%) e Exalt (46,11%). Já no segundo cultivo, o tratamento testemunha diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando 78,89% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ . Voraz (62,50%) e Pirate (58,33%), não diferindo entre si, apresentaram o pior desempenho. Neste híbrido, o melhor desempenho foi apresentado pelo inseticida Exalt, que teve apenas 32,22% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ , diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

O híbrido de milho não-Bt (Pioneer 30F53R), segundo ensaio (tratamentos iniciados pela aplicação de inseticidas biológicos a base de *Baculovirus spodoptera*) do segundo cultivo,

apresentou 57,50% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$  para o tratamento testemunha, que não diferiu estatisticamente entre si dos inseticidas Voraz (53,61%), Pirate (53,33%) e Avatar (53,06%). Diferindo destes e, não diferindo entre si, Exalt (41,67%), Proclaim (44,44%) e Premio (46,67%) apresentaram os melhores resultados no controle de *S. frugiperda*. No segundo cultivo, o tratamento testemunha apresentou 77,78% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ , não diferindo estatisticamente dos inseticidas Proclaim e Voraz (73,06), Avatar (72,50%) e, Pirate (69,72%). Diferindo estatisticamente, mas não entre si, o melhor desempenho foi dos inseticidas Exalt (58,06%) e Premio (65,83%).

No híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, segundo ensaio e segundo cultivo, o tratamento testemunha apresentou 53,37% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ , não diferindo estatisticamente entre si dos tratamentos químicos Voraz (48,61%) e Pirate (45,83%). Diferindo estatisticamente destes, Premio e Proclaim apresentaram um nível intermediário de controle, resultando em cerca de 41% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ . O melhor desempenho foi dos tratamentos Exalt (35,56%) e Avatar (35,83%), que diferiram estatisticamente dos demais, mas não entre si. No segundo cultivo, Exalt (54,44%) e Premio (60,83%), que não diferiram estatisticamente entre si, apresentaram os melhores resultados no auxílio ao controle de *S. frugiperda*. Avatar (64,44%), Pirate (66,39%), Proclaim (68,33%) e Voraz (69,72%) não diferiram estatisticamente entre si. Por último, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, a testemunha apresentou cerca de 79% de plantas atacadas com dano  $\geq 3$ .

a. Ensaio 1 (Químico  $\rightarrow$  *Baculovirus*) – SAFRAS 1 e 2



b. Ensaio 2 (*Baculovirus* → Químico) – SAFRAS 1 e 2

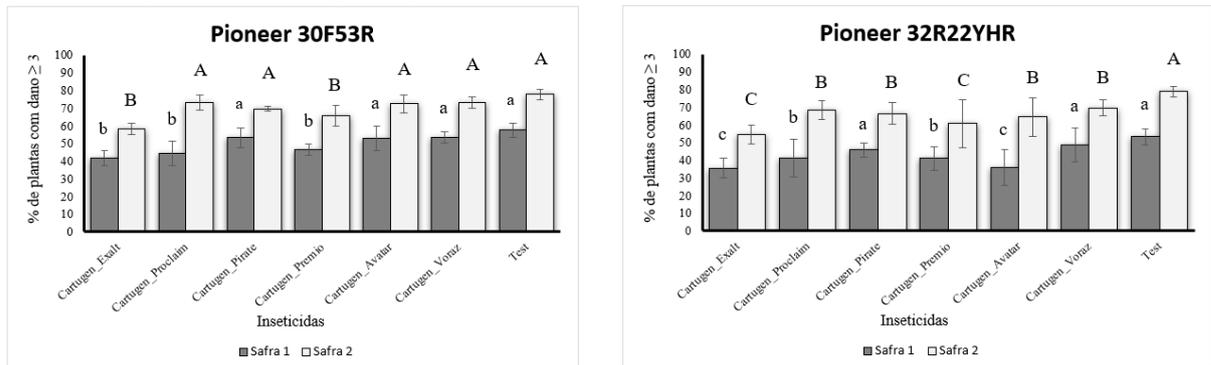


Figura 2. Porcentagem de plantas de milho com dano  $\geq 3$  sob diferentes tratamentos inseticidas em milho nos ensaios 1 e 2, do primeiro e segundo cultivo da safra de 2019/2020. Barras com a mesma letra não diferem entre si por ANOVA seguido pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

### 3. 4 PRODUTIVIDADE DOS HÍBRIDOS DE MILHO

No ensaio 1 do primeiro cultivo da safra de 2019/2020, o tratamento com maior rendimento no híbrido de milho não-Bt (Pioneer 30F53R) foi o tratamento com Premio (9386 kg/ha), que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Os tratamentos Proclaim, Exalt, Avatar e Pirate tiveram uma produtividade de 6764 kg/ha, 7097 kg/ha, 7220 kg/ha e 7804 kg/ha, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Voraz diferiu dos demais, tendo uma produtividade de 6137 kg/ha e, o tratamento testemunha, teve uma produção de apenas 4522 kg/ha, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Em contrapartida, no segundo cultivo, o tratamento Exalt teve a maior produtividade (10795 kg/ha), diferindo dos demais tratamentos. Pirate, Avatar e Premio não diferiram estatisticamente entre si, resultando em uma produtividade de 10077 kg/ha, 9818 kg/ha e 9747 kg/ha, respectivamente. Voraz (9000 kg/ha) e Proclaim (8828 kg/ha) não diferiram estatisticamente entre si, diferindo dos demais tratamentos, inclusive da testemunha, que teve uma produção de apenas 5168 kg/ha.

No híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, ensaio 1 do primeiro cultivo, a produtividade dos grãos foi semelhante entre os tratamentos, em comparação ao híbrido anterior. Neste ensaio, Exalt (5890 kg/ha), Avatar (5890 kg/ha) e Pirate (5681 kg/ha) apresentaram as melhores produtividades, não diferindo estatisticamente entre si. Voraz e Premio não diferiram estatisticamente entre si, resultando em produtividades de 4921 kg/ha e 4598 kg/ha, respectivamente e, Proclaim (4218 kg/ha) que teve o pior desempenho, não diferindo estatisticamente do tratamento testemunha (3819 kg/ha). No segundo cultivo, a testemunha teve um rendimento de grãos de 4378 kg/ha diferindo estatisticamente dos demais tratamentos,

enquanto Voraz 8469 kg/ha e Proclaim 7608 kg/ha não diferiram estatisticamente entre si. Obtiveram as melhores produtividades, diferindo estatisticamente dos demais, mas não entre si, Exalt 9948 kg/ha, Pirate 9775 kg/ha, Premio 9417 kg/ha e Avatar 8914 kg/ha.

No ensaio 2 do primeiro cultivo da safra de 2019/2020, no híbrido de milho não-Bt, teve o maior rendimento de grãos, diferindo estatisticamente dos demais, o tratamento realizado com o inseticida Exalt, com uma produtividade de 9804 kg/ha. Voraz (8569 kg/ha), Pirate (8170 kg/ha) e Premio (8037 kg/ha), que não diferiram estatisticamente entre si, tiveram o segundo melhor desempenho em relação a produtividade, enquanto na sequência, tem-se Avatar e Proclaim, com produtividades de 7562 e 6821 kg/ha, respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, mas não entre si. Por fim, o tratamento testemunha teve uma produtividade de apenas 4522 kg/ha, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. No segundo cultivo, a média das produtividades foram similares, no qual Exalt (9445 kg/ha), Pirate (8799 kg/ha), Premio (8771 kg/ha) e Avatar (8670 kg/ha) não diferiram estatisticamente entre si, apresentando as melhores produtividades. Voraz e Proclaim diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, mas não entre si, com uma produtividade de milho de 8096 e 7450 kg/ha, respectivamente. Por fim, o tratamento testemunha, que diferiu dos demais, teve um rendimento de 5168 kg/ha.

No híbrido de milho Pioneer 32R22YHR, ensaio 2 do primeiro cultivo, a média das produtividades ficou dividida em dois grupos. Exalt (7652 kg/ha) e Avatar (7087 kg/ha), responsáveis pelos maiores rendimentos, não diferindo estatisticamente entre si, mas sim dos demais e, Pirate (6669 kg/ha), Voraz (6555 kg/ha), Proclaim (6308 kg/ha), Premio (6156 kg/ha) e a testemunha com um rendimento de 5890 kg/ha, que não diferiram entre si. Em contrapartida, no segundo cultivo, a testemunha diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, com um rendimento de 4378 kg/ha. Premio, Avatar e Voraz, diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, resultando em um rendimento médio de grãos de 7 mil kg/ha e, por fim, Pirate e Exalt, com um rendimento de 8039 e 8584 kg/ha, respectivamente, apresentaram os melhores resultados.

Tabela 4. Produtividade média de híbridos de milho e número de aplicações sob diferentes tratamentos inseticidas contra *S. frugiperda*, nos ensaios 1 e 2 do primeiro e segundo cultivo na safra de 2019/2020.

Ensaio	Híbrido	Inseticida	Safr 1			Safr 2		
			Aplicações	Produtividade (Kg/ha)		Aplicações	Produtividade (Kg/ha)	
1	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Exalt_Cartugen	7	7097	b	7	10795	a
1	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Proclaim_Cartugen	7	6764	b	7	8828	c
1	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Pirate_Cartugen	7	7804	b	7	10077	b
1	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Premio_Cartugen	7	9386	a	7	9747	b
1	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Avatar_Cartugen	7	7220	b	7	9818	b
1	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Voraz_Cartugen	7	6137	c	7	9000	c
1	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Testemunha	7	4522	d	7	5168	d
1	Pioneer 32R22YHR	Exalt_Cartugen	7	5890	a	7	9948	a
1	Pioneer 32R22YHR	Proclaim_Cartugen	7	4218	c	7	7608	b
1	Pioneer 32R22YHR	Pirate_Cartugen	7	5681	a	7	9775	a
1	Pioneer 32R22YHR	Premio_Cartugen	7	4598	b	7	9417	a
1	Pioneer 32R22YHR	Avatar_Cartugen	7	5890	a	7	8914	a
1	Pioneer 32R22YHR	Voraz_Cartugen	7	4921	b	7	8469	b
1	Pioneer 32R22YHR	Testemunha	7	3819	c	7	4378	c
1	Pioneer 30F53VYHR	-	0	8172		0	8186	
1	Brevant 2401	-	0	6566		0	6543	
2	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Cartugen_Exalt	7	9804	a	7	9445	a
2	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Cartugen_Proclaim	7	6821	c	7	7450	b
2	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Cartugen_Pirate	7	8170	b	7	8799	a
2	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Cartugen_Premio	7	8037	b	7	8771	a
2	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Cartugen_Avatar	7	7562	c	7	8670	a
2	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Cartugen_Voraz	7	8569	b	7	8096	b
2	Não-Bt (Pioneer 30F53R)	Testemunha	7	4522	d	7	5168	c
2	Pioneer 32R22YHR	Cartugen_Exalt	7	7652	a	7	8584	a
2	Pioneer 32R22YHR	Cartugen_Proclaim	7	6308	b	7	6259	c
2	Pioneer 32R22YHR	Cartugen_Pirate	7	6669	b	7	8039	a
2	Pioneer 32R22YHR	Cartugen_Premio	7	6156	b	7	7565	b
2	Pioneer 32R22YHR	Cartugen_Avatar	7	7087	a	7	7407	b
2	Pioneer 32R22YHR	Cartugen_Voraz	7	6555	b	7	7292	b
2	Pioneer 32R22YHR	Testemunha	7	5890	b	7	4378	d
2	Pioneer 30F53VYHR	-	0	11248		0	11151	
2	Brevant 2401	-	0	11151		0	11121	

#### 4 DISCUSSÃO

Os híbridos de milho Pioneer 30F53R (não-Bt) e Pioneer 32R22YHR mostraram uma baixa eficácia no controle de *S. frugiperda*, tanto no primeiro, quanto no segundo cultivo de milho semeados na safra de 2019/2020. No híbrido de milho não-Bt esse resultado já era esperado, pois não expressa proteínas inseticidas, enquanto Pioneer 32R22YHR expressa as proteínas Cry1Ab e Cry1F e, por isso, seu nível de dano causado pelo ataque de *S. frugiperda* foi menor em comparação ao milho não-Bt.

A tecnologia Bt existente em híbridos de milho com o gene da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1911) (Eubacteriales: Bacillaceae) (Bt), que expressa a proteína Cry1Ab, fez com que estes se tornassem menos suscetíveis ao ataque de *S. frugiperda*, apresentando eficácia contra essa espécie no início de seu uso no Brasil, quando lançado em 2007 no Brasil (JAMES, 2007; LOURENÇÃO; FERNADES, 2013; NETO et al., 2013). Visando reduzir o consumo de *S. frugiperda*, a toxina Cry1Ab oferece proteção ao milho Bt, resultado importante para o manejo, pois haverá menor dano do inseto à produção devido ao menor consumo alimentar das lagartas (LYNCH et al., 1999).

Apesar disso, a partir de 2009, já foram detectadas falhas de controle, evidenciando níveis de resistência de *S. frugiperda* a proteína Cry1Ab, sendo que essa resistência foi relacionada com a hipótese de que ocorre uma rápida degradação dessa proteína no intestino médio das lagartas, quando comparado a insetos suscetíveis (MIRANDA et al., 2001; OMOTO et al., 2016) e também, devido ao rápido aumento da área plantada com essa tecnologia (POLANÍA et al., 2009), que favoreceu o aumento da resistência dessa espécie (MICHELOTTO et al., 2016; WAQUIL et al., 2016). A proteína Cry1F foi lançada no Brasil em 2008, estando disponível comercialmente a partir da safra 2009/10 (STORER et al., 2012). Híbridos com a presença dessa proteína reduziram significativamente os danos causados por *S. frugiperda*, conforme foi observado no início do seu uso, sendo altamente eficaz (NAIS et al., 2013; OKUMURA et al., 2013). Contudo, a partir de 2012, os híbridos com expressão de Cry1F, já passaram a apresentar baixa eficiência de controle de *S. frugiperda*, considerando que ao passar dos anos, as notas de danos atribuídas aos sintomas de ataque dessa espécie, se aproximaram às notas atribuídas aos híbridos convencionais (MORAES et al., 2016; MICHELOTTO et al., 2017).

O híbrido de milho Pioneer 32R22YHR (Cry1aB/ Cry1F) não garante eficácia de controle de *S. frugiperda* (BARCELOS; ANGELINI, 2018). Por outro lado, os híbridos de

milho Pioneer 30F53VYHR e Brevant 2401 foram eficientes no controle de *S. frugiperda*, não havendo necessidade de aplicações inseticidas para auxiliar no seu controle, em razão da presença de proteína Vip. Milhos que expressam a proteína inseticida Viptera (Vip3Aa20) foram liberados comercialmente em 2009; em 2010 houve associação às proteínas Vip3Aa20 + Cry1Ab, dando origem a tecnologia Viptera 3 e, em 2015 a tecnologia Leptra, que expressa as proteínas Cry1Ab + Cry1F + Vip3Aa20 (CTNBio, 2016). O manejo mais eficiente de *S. frugiperda*, depende atualmente da combinação destas proteínas, usadas isoladamente e especialmente associadas, para sua preservação e para os altos rendimentos esperados no milho.

No primeiro e segundo cultivos da safra 2019/2020 foram necessárias aplicações inseticidas nos híbridos de milho Pioneer 30F53R (não-Bt) e Pioneer 32R22YHR para complementar o controle de *S. frugiperda*. De maneira geral, comparando os dois ensaios, no primeiro cultivo, a aplicação com inseticida à base de *Baculovirus spodoptera* resultou nos menores níveis de danos às plantas de milho, porém, no segundo cultivo, foi mais eficiente iniciar as aplicações com inseticidas químicos. Todos os inseticidas utilizados, produziram algum efeito reduzindo o nível de dano causado por *S. frugiperda* às plantas de milho. Contudo, no primeiro cultivo, considerando as médias, o inseticida Premio foi o que teve melhor resultado tanto no primeiro, quanto no segundo ensaio no híbrido de milho não-Bt. Já no híbrido de milho Pioneer 32R22YHR foi Exalt que teve melhor desempenho. E no segundo cultivo, Exalt também se destacou, sendo o mais eficiente em ambos os híbridos de milho utilizados.

Exalt também aparece em destaque para o controle de *S. frugiperda* em milho em experimentos realizados no centro oeste brasileiro (TOMQUELSKIE et al., 2007). Deshmukh et al., (2020), também relataram alta eficiência do inseticida Exalt em experimentos realizados na Índia. Guerreiro et al., (2013), testando diferentes inseticidas para o controle de *S. frugiperda* no município de Paraguaçu Paulista, Estado de São Paulo, concluiu que o inseticida Premio é altamente eficaz no controle de *S. frugiperda*. Resultado semelhante foi encontrado por Bialozor et al., (2020) em um experimento realizado no município de Santa Maria (RS). Em laboratório, Cessa et al., (2013), testaram diferentes inseticidas para o controle de *S. frugiperda*, em que o inseticida Premio teve uma eficácia acima de 80%.

Na atualidade, os sistemas intensivos de milho no Brasil, dificultam implementar o MIP e a integração de táticas de controle, resultando na evolução da resistência de *S. frugiperda* a inseticidas e plantas Bt e, assim, a adoção de métodos alternativos de manejo de pragas é fundamental para a implementação de práticas integradas favoráveis (BENTIVENHA et al., 2018). O manejo da resistência de *S. frugiperda* a proteínas Bt e a inseticidas é um dos grandes

desafios da agricultura brasileira, pois a evolução da resistência compromete qualquer programa de MIP, tendo em vista fatores como a eliminação de inimigos naturais, elevação nos custos da praga e, maior contaminação do meio ambiente (IRAC BR, 2013). De modo geral, toda e qualquer alternativa aos inseticidas químicos é importante para o ambiente, frente a grande preocupação com a sua utilização e seu residual deixado no ambiente, porém, as informações sobre a sua eficiência ainda são limitadas (ARAÚJO et al., 2019). Um dos maiores empecilhos a utilização de *Baculovirus spodoptera* é o tempo em atingir um índice satisfatório de controle, sendo que este demora de 3 a 6 dias (CORRÊA et al., 2012). Independente da ordem de início das aplicações inseticidas, as produtividades foram muito semelhantes, resumindo que mesmo não controlando eficientemente os danos de *S. frugiperda*, os tratamentos inseticidas auxiliaram de alguma forma. Contudo, as melhores médias foram representadas pelos tratamentos em que aparecem os inseticidas Exalt e Premio, evidenciando que o dano foliar das plantas afeta significativamente na produtividade dos híbridos de milho.

Em resumo, apesar da busca pelas elevadas produtividades de milho, é importante considerar que esses desempenhos produtivos nem sempre elas estão presentes nas cultivares que apresentam o melhor controle de *S. frugiperda*, e que também estão relacionadas a ocorrência da praga, que é mais expressiva no segundo cultivo de milho, portanto estas combinações são relevantes. De outro lado, há uma grande oferta de soluções químicas, de vários grupos inseticidas que podem ser associadas às tecnologias Bt disponíveis. Por sua vez, cresce a oferta de soluções biológicas que também apresentam controle da praga e que integradas aos métodos disponíveis há mais tempo permitem a consolidação efetiva do Manejo Integrado de Pragas, que deve ser adequada às diferentes regiões e épocas e cultivo do País.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, I. S.; OLIVEIRA, G. M.; LACERDA, L. B.; BATISTA, J. L.; LOPES, G. N. Perspectivas atuais da utilização de bioinseticidas em *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 020 – 027, 2019.
- 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.
- BENTIVENHA, J. P. F.; RODRIGUES, J. G.; LIMA, M. F.; MARÇON, P.; POPHAM, H. J. R.; OMOTO, C. Baseline susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to SfMNPV and evaluation of cross-resistance to major insecticides and Bt proteins. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 1, p. 91 – 98, 2018.
- BIALOZOR, A.; PERINI, C. R.; ARNEMANN, J. A.; POZEBON, H.; MELO, A. A.; PADILHA, G.; STACKE, R. S.; PUNTEL, L.; DREBES, L.; GUEDES, J. V. C. Water in maize whorl enhances the control of *Spodoptera frugiperda* with insecticides. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1- 10, 2020.
- CESSA, R. M. A.; MELO, E. P.; JUNIOR, I. S. L. Mortalidade de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: noctuidae) alimentadas com folhas de milho e feijoeiro imersas em soluções contendo inseticidas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 1, p. 85 - 92, 2013.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, v. 8, Safra 2020/21, n. 6, sexto levantamento. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/36194\\_8144bfc95d544b42d23ab308b7016813](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/36194_8144bfc95d544b42d23ab308b7016813)>. Acesso em: 25 de abril de 2021.
- CORRÊA, M. B.; OLIVEIRA, N. C.; VALICENTE, F. H. Manejo da lagarta-do-cartucho na cultura do milho: aplicação de *baculovirus spodoptera* isolado e associado com inseticida. **Campo Digital: Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 59 - 67, 2012.
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; VASCONCELOS, C. A.; Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. **International Journal of Pest Management**, v. 45, n. 4, p. 293 – 296, 1999.
- CTNBio – Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Disponível em: <[http://ctnbio.mctic.gov.br/liberacao-comercial/-/document\\_library\\_display/SqhWdohU4BvU/view/678017;jsessionid=5DA986FD571E880E8ED56B215A3FEA67.columba#/liberacao-comercial/consultar-processo](http://ctnbio.mctic.gov.br/liberacao-comercial/-/document_library_display/SqhWdohU4BvU/view/678017;jsessionid=5DA986FD571E880E8ED56B215A3FEA67.columba#/liberacao-comercial/consultar-processo)>. Acessado em: 10 de junho de 2021.
- DESHMUKH, S.; PAVITHRA, H. B.; KALLESHWARASWAMY, C. M.; SHIVANNA, B. K.; MARUTHI, M. S.; MOTA-SANCHEZ, D. Field efficacy of insecticides for management of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in India. **Florida Entomologist**, v. 103, n. 2, p. 221 – 227, 2020.
- DIEZ-RODRÍGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a Lambda-Cialotrina. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 311-316, 2001.

GUERREIRO, J. C.; CAMOLESE, P. H.; BUSOLI, A. C. Eficiência de inseticidas associados a enxofre no controle de *Spodoptera frugiperda* em milho convencional. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 4, p. 275 - 285, 2013.

JAMES, C. Global status of commercialized transgenic crops: 2007. Disponível em: <<http://www.isaaa.org>>. Acessado em: 22 de abril de 2021.

LIMA, B. V.; CAETANO, B. S.; SOUZA, G. G.; SPONTONI, M. T.; SOUZA, L. C. D. Pragas da cultura do milho. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 13, n. 1, p. 1 - 15, 2016.

LOURENÇÃO, A. L. F. & FERNANDES, M. G. Avaliação do Milho Bt Cry1Ab e Cry1F no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em condições de campo. **Científica**, v. 41, n. 2, p. 164 – 188, 2013.

LYNCH, R. E.; WISEMAN, B. R.; PLAINSTED, D.; WARNIK, D. Evaluation of transgenic sweet corn hybrids expressing Cry1A(b) toxin for resistance to corn earworm and fall armyworm. **Journal of Economic Entomology**, v. 92, n. 1, p. 246 - 252, 1999.

MCAGAN, R.; MACAGNAN, R.; WERNER, F.; REGO, B. E. F.; BARP, E. A. Eficácia de extratos vegetais no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) em milho. **Biosaúde**, v. 14, n. 2, p. 74 – 80, 2012.

MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; Uso do milho Bt no Manejo Integrado de Lepidópteros-praga: Recomendações de uso. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento** – comunicado técnico 170, 2009.

MICHELOTTO, M. D.; SOUZA, T. M.; LAMANA, L. E. P.; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, A. D.; JÚNIOR, P. S. C.; MARTINS, M. H. Controle da lagarta-do-cartucho em híbridos de milho com diferentes tecnologias Bt. **XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo – Milho e Sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar**, p. 192 – 195, 2016.

MICHELOTTO, M. D.; DUARTE, A. P.; FREITAS, R. S.; MIGUEL, F. B.; CROSARIOL NETTO, J. Controle da lagarta-do-cartucho em milho transgênico na safrinha em São Paulo: dez anos de uso. **Nucleus**, Edição Especial, p. 67 – 74, 2017.

MIRANDA, R.; ZAMUDIO F. Z.; BRAVO, A. Processing of Cry1Ab delta-endotoxin from *Bacillus thuringiensis* by *Manduca sexta* and *Spodoptera frugiperda* midgut proteases: role in protoxin activation and toxin inactivation. **Insect Biochemistry Molecular Biology**, v. 31, n. 12, p. 1155 – 1163, 2001.

MORAES, A. R. A.; LOURENÇÃO, A. L.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; VENDRAMIM, J. D. Antibiose à lagarta-do-cartucho em híbridos de milho Bt. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 1, p. 1 - 10, 2016.

NAIS, J.; BUSOLI, A. C.; MICHELOTTO, M.D. Comportamento de híbridos de milho transgênicos e respectivos híbridos isogênicos convencionais em relação à infestação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1727) (Lepidoptera: noctuidae) em duas localidades e épocas de semeadura. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 80, n. 2, p. 159 - 167, 2013.

NETO, G. B.; CIVIDANES, T. M. S.; BRANCO, R. B.; FELIX, M. R. F.; REI, F. M. C. T.; NOGUEIRA, J. R. Quantificação da proteína Cry1Ab em folhas, caules e grãos de dois híbridos de milho Bt e controle das pragas *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea*. **Boletim de Indústria Animal (BIA) - Instituto de Zootecnia**, v. 70, n. 1, p. 59 - 66, 2013.

NUNES, U. R.; BACKES, R. L. B. Determinação do grau de umidade e peso de mil sementes. Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Curso de Agronomia, Produção e Tecnologia de Sementes, Aula prática.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; DALLACORT, R.; ZORZENONI, T. O.; ZACCHEO, P. V. C.; NETO, C. F. O.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; DA SILVA LOBATO, A. K. Agronomic efficiency of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize hybrids in pests control on Lucas do Rio Verde city, State of Mato Grosso, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 19, p. 2232 - 2239, 2013.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; FARIAS, J. R. Manejo da resistência de *Spodoptera frugiperda* a inseticidas e plantas Bt. **IRAC – BR: Comitê Brasileiro de Ação a Resistência a Inseticidas**, 2013.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLIC, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, v. 72, p. 1727 – 1736, 2016.

OTA, É. C.; LOURENÇÃO, A. L. DUARTE, A. P. JUNIOR, E. U. R.; ITO, M. A. Desempenho de cultivares de milho em relação à lagarta-do-cartucho. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 850 - 859, 2011.

POLANÍA, I. Z.; MALDONADO, H. A. A.; CRUZ, R. M.; DÍAZ SÁNCHEZ, J. L. *Spodoptera frugiperda*: respuesta de distintas poblaciones a la toxina Cry1Ab. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 35, n. 1, p. 34 – 41, 2009.

RESENDE, D. C.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; DUARTE, J. O.; SANTOS, F. A. Adoção da área de refúgio e manejo de resistência de insetos em milho Bt. **Revista de Política Agrícola**, v. 1, n. 1, p. 119 - 129, 2014.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no Brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182 – 194, 2018.

STORER, N. P.; KUBISZAK, M. E.; REI, J. E.; THOMPSON, G. D.; SANTOS, A. C. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Lessons from Puerto Rico. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 110, n. 3, p. 294 – 300, 2012.

TOMQUELSKI, G. V. & MARTINS, G. L. M. Eficiência de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: noctuidae) em milho na região dos Chapadões. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 1, p. 26 - 39, 2007.

TOSCANO, L. C.; CALADO FILHO, G. C.; CARDOSO, A. M.; MARUYAMA, W. I.; TOMQUELSKI, G. V. Impacto de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e seus inimigos naturais em milho safrinha cultivado em Cassilândia e Chapadão do sul, MS. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 2, p. 223 - 231, 2012.

TRINDADE, R. B. R.; FERNADES, M. G.; OLIVEIRA, A. C.; MARTINS, P. H. A. Distribuição espacial de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, noctuidae) em milho convencional e Bt. **EntomoBrasilis**, v. 10, n. 2, p. 89 – 93, 2017.

VALICENTE, F. H.; CRUZ, I. Controle biológico da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com o baculovírus. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**, circular técnica n. 15, 1991.

WAQUIL, M. S.; PEREIRA, E. J. G.; CARVALHO, S. S. S.; PITTA, R. M.; WAQUIL, J. M.; MENDES, S. M. Índice de adaptação e tempo letal da lagarta-do-cartucho em milho Bt. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 5, p. 563 - 570, 2016.

## 5 DISCUSSÃO GERAL

O milho, cultivado desde os pequenos aos grandes produtores, é um dos cereais mais produzidos e cultivados em todo o território nacional e, por isso, merece destaque como um dos principais produtos da agricultura brasileira. Esse cereal tem importância como matéria-prima para produção de biocombustíveis, além de seu alto valor nutricional que o coloca como um importante alimento na dieta humana e animal. No Brasil, o milho é cultivado em monocultivo, rotação, sucessão ou consórcio, em todas as regiões do país. Assim, devido a expansão da área de cultivo desse cereal, bem como a semeadura em mais de uma safra, houve um aumento na sua vulnerabilidade, deixando-o mais suscetível ao ataque de pragas. Dentre as pragas, devido ao seu potencial causador de danos, alta capacidade de dispersão e adaptabilidade, reprodução durante todo o ano, a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) é a principal espécie-praga da cultura.

O controle da lagarta-do-cartucho é realizado quase que exclusivamente através do uso de plantas Bt e inseticidas químicos. Mais recentemente, vem crescendo o uso de inseticidas biológicos a base de *Baculovirus spodoptera*, como uma nova ferramenta a integrar o manejo integrado de pragas - MIP. Falhas de manejo como o uso intensivo da mesma tecnologia, bem como a não utilização correta de áreas de refúgio tem contribuído para o aumento de casos de resistência dessa espécie. Como uma forma de complementar o seu controle, tem-se a utilização de inseticidas químicos, porém, este é utilizado muitas vezes de forma incorreta e indiscriminada. Esses fatos, aliado a fatores bioecológicos da praga, contribuem massivamente para o aumento de casos de resistência. A utilização de organismos entomopatogênicos é uma alternativa ambientalmente segura, pois os vírus são altamente específicos para determinada espécie alvo, não causando assim, prejuízos aos demais organismos vivos presentes na área.

À vista disso, esse trabalho visa mostrar resultados reais gerados em campo, buscando entender dentro do MIP, quais os melhores manejos para o controle da lagarta-do-cartucho. Assim, essa dissertação, composta por dois artigos, evidencia alguns fatos, como a necessidade da utilização de inseticidas para auxiliar no controle da lagarta-do-cartucho em híbridos de milho que não apresentam a proteína Vip3Aa20, a qual é eficiente no controle dessa espécie-praga. Em contrapartida, houve uma significativa redução de eficiência de controle dos híbridos de milho que expressam as proteínas Cry. Em relação aos inseticidas químicos testados, de maneira geral, Exalt (espinetoram), Premio (clorantraniliprole) e Pirate (clorfenapir) desempenharam os melhores resultados, diminuindo os danos causados pela lagarta-do-

cartucho. Entre os inseticidas biológicos a base de *Baculovirus spodoptera* testados, quando utilizados sozinhos, não se mostraram eficientes, porém, quando associados a inseticidas químicos, em cultivos de baixa infestação populacional da praga, se mostraram eficientes.

Deste modo, analisando as duas épocas de semeadura, há uma dificuldade maior de controlar a lagarta-do-cartucho em semeaduras tardias, pois o seu nível de infestação é maior. Essa espécie-praga exige uma necessidade de monitoramento constante, já que após esta se alojar no interior do cartucho da planta, eleva-se a dificuldade em atingir o alvo com os inseticidas.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

Há reposta positiva na utilização de híbridos de milho Bt comparado ao milho não-Bt, entretanto, nos híbridos de milho que apresentam proteínas Cry, se faz necessário a utilização de inseticidas para complementar o controle de *S. frugiperda*. Por outro lado, híbridos de milho que apresentam proteínas Vip, por si só, são eficientes em controlar essa espécie-praga, não havendo necessidade de realizar aplicações inseticidas.

Os tratamentos mais eficientes, no primeiro cultivo da safra de 2019/20, com capacidade de reduzir o número de plantas atacadas foram Exalt, Premio e Pirate. No segundo cultivo, Exalt, Pirate e Avatar foram os mais eficientes, reduzindo o nível de dano causado.

Quando utilizados os inseticidas químicos e biológicos a base de *Baculovirus spodoptera* em associação, no primeiro cultivo os biológicos foram mais eficientes, enquanto no segundo cultivo, os químicos se sobressaíram melhores, evidenciando que em alta pressão populacional da praga, biológicos não são eficientes.

Tendo em vista que a pressão populacional dessa espécie-praga é maior no segundo cultivo, há uma forte necessidade de monitoramento constante desde o início do estabelecimento da cultura, visando atingir o alvo logo nos estágios iniciais de seu desenvolvimento, pois após esta se instalar no interior do cartucho, há um aumento na dificuldade em atingi-la com os inseticidas, pois o cartucho atua como uma espécie de guarda-chuva, impedindo o inseticida de atingir o alvo.