

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PERFORMANCE COMPARATIVA DE CULTIVARES DE SOJA TRANSGÊNICA *Bt* E
NÃO-*Bt* SOBRE A POPULAÇÃO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797)
(Lepidoptera: Noctuidae) E SUAS IMPLICAÇÕES AGRONÔMICAS**

Victor Luiz Peres de Souza
Engenheiro Agrônomo

DOURADOS-MS

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PERFORMANCE COMPARATIVA DE CULTIVARES DE SOJA TRANSGÊNICA *Bt* E
NÃO-*Bt* SOBRE A POPULAÇÃO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797)
(Lepidoptera: Noctuidae) E SUAS IMPLICAÇÕES AGRONÔMICAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agronomia da Universidade
Federal da Grande Dourados - Faculdade de Ciência
Agrárias, para obtenção do Título de Mestre em
Agronomia.

Discente: Victor Luiz Peres de Souza

Orientador: Prof. Dr. Marcos Gino Fernandes

DOURADOS-MS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S729p Souza, Victor Luiz Peres De
PERFORMANCE COMPARATIVA DE CULTIVARES DE SOJA TRANSGÊNICA Bt E
NÃO-Bt SOBRE A POPULAÇÃO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera:
Noctuidae) E SUAS IMPLICAÇÕES AGRONÔMICAS [recurso eletrônico] / Victor Luiz Peres De
Souza. -- 2025.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Marcos Gino Fernandes.
Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Glycine max. 2. Bacillus thuringiensis. 3. Manejo Integrado de Pragas. 4. Resistência de
Insetos. 5. Pirâmidação. I. Fernandes, Marcos Gino. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**PERFORMANCE COMPARATIVA DE CULTIVARES DE SOJA TRANSGÊNICA *Bt* E
NÃO-*Bt* SOBRE A POPULAÇÃO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797)
(Lepidoptera: Noctuidae) E SUAS IMPLICAÇÕES AGRONÔMICAS**

por

Victor Luiz Peres de Souza

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE
EM AGRONOMIA

Aprovada em: 28/08/2025.

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS GINO FERNANDES**
Data: 15/09/2025 17:38:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcos Gino Fernandes, *D. Sc.*
Orientador/Presidente - UFGD

Documento assinado digitalmente
 **ELMO PONTES DE MELO**
Data: 15/09/2025 16:28:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Elmo Pontes De Melo, *D. Sc.*
Membro Titular Externo

Documento assinado digitalmente
 **ELLEN PATRICIA DE SOUZA**
Data: 15/09/2025 16:56:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ellen Patricia De Souza, *D. Sc.*
Membro Titular Interno

Documento assinado digitalmente
 **ROSILDA MARA MUSSURY FRANCO SILVA**
Data: 15/09/2025 17:31:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rosilda Mara Mussury Franco Silva, *D. Sc.*
Membro Titular Interno

Dedico este trabalho a minha mãe Cléa Márcia Peres de Souza (*in memoriam*),
seus ensinamentos foram exemplos de amor,
sabedoria e força que seguirei cultivando para sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder a força, a fé e a perseverança necessárias para superar os desafios e chegar até a conclusão desta etapa.

Ao meu amado pai, Marinaldo Bernardino de Souza, dedico um agradecimento especial, o senhor foi minha maior inspiração e seu exemplo de força me impulsionou nos momentos mais difíceis, me ensinando a ser a melhor versão de mim mesmo.

Aos meus irmãos e familiares, que direta ou indiretamente me apoiaram e vibraram com cada conquista, possibilitando que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Dr. Marcos Gino Fernandes, minha profunda gratidão pela confiança depositada em meu trabalho, pela paciência, pelo rigor científico e pela excepcional orientação que foi fundamental para a condução e o sucesso desta pesquisa.

A jornada no mestrado não seria a mesma sem os amigos e colegas que compartilharam o dia a dia de trabalho e aprendizado. Agradeço imensamente aos amigos do IFMS e aos Professores: Antônio Luiz Viegas Neto, Eder Duarte Fanaya Junior, Elmo Pontes de Melo, Izidro dos Santos de Lima Junior, Joao Jose da Silva Neto, Ligia Maria Maraschi da Silva Piletti, Marcio Roberto Rigotte, Renato Teodoro de Lima, Roberto Medeiros Silveira, Sergio André Tapparo e Wesley Alves Martins.

Aos colegas do LAPACA - UFGD, Cleudivani Aparecida Dos Santos, Ellen Patrícia Souza, Nilton Pereira de Souza e Noélia Benitez Vargas., obrigado pela parceria e pelo ambiente de colaboração.

A minha amiga Bianca Duque Guirardi, por me acompanhar e apoiar desde a graduação até aqui e estar sempre disponível nos momentos que mais precisei.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições que enriqueceram este trabalho.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade e pela estrutura oferecida.

SUMÁRIO

RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	13
2.1 Objetivos Específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 Cultivo de Soja no Brasil	14
3.2 Impacto das Perdas Causadas por Pragas nas Lavouras	15
3.3 <i>Spodoptera. frugiperda</i> (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae).....	17
3.4 A Tecnologia <i>Bt</i> e sua Importância para a Soja	18
3.5 A Evolução da Resistência de Insetos à Tecnologia <i>Bt</i>	20
4. REFERÊNCIAS	22
5. CAPÍTULO 1.....	27
Cultivares de soja <i>Bt</i> piramidadas asseguram maior produtividade e controle de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes condições edafoclimáticas	
Resumo	27
1. Introdução.....	28
2. Materiais e Métodos	29
3. Resultados	38
4. Discussão.....	43
5. Conclusões.....	48
REFERÊNCIAS	50
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
ANEXOS	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Proteínas Bt disponíveis no mercado brasileiro (CTNBio, 2020).	19
Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento com suas respectivas cultivares comerciais, tecnologias e toxinas <i>Bt</i> expressas na safra (Dourados, Ponta Porã e Rio Brilhante)..	30
Tabela 3. Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados no experimento realizado em Ponta Porã-MS	35
Tabela 4. Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados no experimento realizado em Dourados -MS.....	36
Tabela 5. Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados no experimento realizado em Rio Brilhante -MS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da área	30
Figura 2. Médias de Lagartas totais em Soja não <i>Bt</i> (Dias após a emergência), amostragens realizadas em Dourados – MS, Ponta Porã – MS e Rio Brilhante - MS.	38
Figura 3. Médias de Lagartas totais em Soja <i>Bt</i> (Dias após a emergência), amostragens realizadas em Dourados – MS, Ponta Porã – MS e Rio Brilhante - MS.	39
Figura 4. Presença média de lagartas de diferentes tamanhos nas localidades de Dourados, Rio Brilhante e Ponta Porã. A) Lagartas pequenas; B) Lagartas médias; C) Lagartas grandes; D) Lagartas totais.....	41
Figura 5. Dados agronômicos médios nas localidades de Dourados, Rio Brilhante e Ponta Porã. A) Produtividade; B) Peso de mil sementes; C) Altura de planta	42

PERFORMANCE COMPARATIVA DE CULTIVARES DE SOJA TRANSGÊNICA *Bt* E NÃO-*Bt* SOBRE A POPULAÇÃO DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) E SUAS IMPLICAÇÕES AGRONÔMICAS

RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas agrícolas mais importantes globalmente, com o Brasil liderando a produção mundial. No entanto, a produtividade da soja é constantemente ameaçada por pragas, destacando-se *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), uma lagarta polífaga que causa danos significativos. A tecnologia *Bt*, que consiste na inserção de genes da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) em plantas para expressar proteínas inseticidas (Cry), tem sido uma ferramenta crucial no MIP. Contudo, a eficácia dessa tecnologia pode ser desafiada pela evolução da resistência dos insetos e variar de acordo com as condições edafoclimáticas. Este estudo teve como objetivo geral avaliar o impacto de diferentes cultivares de soja transgênica (*Bt*) na população de *S. frugiperda* e seu desempenho agrônomo. Foram comparadas cultivares com e sem tecnologia *Bt* quanto à produtividade, peso de mil sementes, altura de plantas e infestação de lagartas. Os resultados do estudo de campo indicaram que a cultivar *Bt* BMX65k67, com proteínas Cry1Ac e Cry1F, apresentou o melhor desempenho geral, com produtividade média de 3.273,3 kg/ha e a menor infestação de lagartas grandes (8,8 unidades), demonstrando a eficácia da piramidação gênica. Cultivares não-*Bt*, como M6101 e BRS 243, mostraram alta suscetibilidade, resultando em menor produtividade e maior infestação da praga. O desempenho das cultivares também pode ser influenciado pelas condições edafoclimáticas dos locais. Esses resultados reforçam o papel estratégico das cultivares *Bt* piramidadas no manejo de *S. frugiperda*, sobretudo em ambientes de alta pressão da praga para a estabilidade produtiva da soja, mas deve ser integrada a práticas de manejo da resistência e adaptada às condições locais.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Bacillus thuringiensis*, Manejo Integrado de Pragas, Resistência de Insetos, Soja *Bt*, Piramidação

**COMPARATIVE PERFORMANCE OF *Bt* AND NON-*Bt* SOYBEAN CULTIVARS
AGAINST POPULATION OF *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera:
Noctuidae) AND ITS AGRONOMIC IMPLICATIONS**

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the most important agricultural crops globally, with Brazil leading world production. However, pests constantly threaten soybean productivity, notably *S. frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), a polyphagous caterpillar that causes significant damage. *Bt* technology, which consists of inserting genes from the bacterium *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) into plants to express insecticidal proteins (Cry), has been a crucial tool in integrated pest management. However, the effectiveness of this technology can be challenged by the evolution of insect resistance and vary according to edaphoclimatic conditions. This study aimed to evaluate the impact of different transgenic soybean (*Bt*) cultivars on the *S. frugiperda* population and its agronomic implications in three municipalities of Mato Grosso do Sul (Ponta Porã, Dourados, and Rio Brilhante). Cultivars with and without *Bt* technology were compared in terms of productivity, thousand-seed weight, plant height, and caterpillar infestation. The field study results indicated that the *Bt* cultivar BMX65k67, with Cry1Ac and Cry1F proteins, showed the best overall performance, with an average productivity of 3,273.3 kg/ha and the lowest infestation of large caterpillars (8.8 units), demonstrating the effectiveness of gene pyramiding. Non-*Bt* cultivars, such as M6101 and BRS 243, showed high susceptibility, resulting in lower productivity and higher pest infestation. The performance of the cultivars was also influenced by edaphoclimatic conditions, with Rio Brilhante presenting higher productivities. These results reinforce the strategic role of pyramided *Bt* cultivars in the management of *S. frugiperda*, especially in environments with high pest pressure, for soybean production stability, but it must be integrated with resistance management practices and adapted to local conditions.

Keywords: *Glycine max*, *Bacillus thuringiensis*, Integrated Pest Management, Insect Resistance, *Bt* Soybean, Pyramiding

1. INTRODUÇÃO

A soja (*G. max*) é uma das mais importantes culturas agrícolas em escala global (MEYER et al., 2022), sendo o Brasil o líder mundial em sua produção e exportação (CONAB, 2025). A área cultivada com soja no Brasil na safra 2023/24 alcançou 45.733,2 milhões de hectares, representando um aumento de 3,8% em relação à safra passada, com uma média de produtividade de 3.229 kg/ha, 7,9% inferior ao registrado na safra anterior (CONAB, 2025). Este protagonismo é fruto de investimentos em pesquisa (DALL'AGNOL, 2016), desenvolvimento de cultivares adaptadas e melhorias no manejo (SILVA et al., 2022).

Paralelamente ao crescimento da sojicultura, intensificam-se os desafios fitossanitários. Globalmente, estima-se que as pragas agrícolas ocasionem perdas de aproximadamente 40% da produção agrícola (FAO, 2021), com insetos invasores gerando prejuízos anuais que ultrapassam US\$ 70 bilhões (FAO, 2021). No contexto brasileiro, as perdas devido a danos por invertebrados são estimadas entre 10% e 15% da produção agrícola nacional, resultando em um impacto econômico anual de cerca de US\$ 17,7 bilhões (OLIVEIRA et al., 2014). Entre as diversas pragas que acometem a soja, *S. frugiperda* (J. E. Smith, 1797), a lagarta-do-cartucho, tem se destacado por sua crescente importância, sendo tradicionalmente considerada praga-chave do milho, mas também causando danos significativos à soja.

Esta espécie polífaga (CRUZ et al., 2010) adapta-se a uma vasta gama de hospedeiros, incluindo a soja, onde pode causar perdas de produtividade que variam entre 17% e 38,7% em diferentes culturas, dependendo das condições (CARVALHO, 1970; CRUZ & TURPIN, 1983; WILLIAMS & DAVIS, 1990; CORTEZ & WAQUIL, 1997; CRUZ et al., 1999). Sua ampla distribuição geográfica (FAO, 2021) e a capacidade de desenvolver resistência a inseticidas (WAQUIL, VILLELA & FOSTER, 2002) complicam seu manejo.

Como estratégia de enfrentamento, as plantas geneticamente modificadas (GM) que expressam proteínas inseticidas da bactéria *B. thuringiensis* representam uma ferramenta fundamental no MIP (BOBROWSKI et al., 2003; BERNARDI, 2012). As proteínas Cry, produzidas por estas plantas (BRAVO et al., 2005), são altamente específicas e, após a ingestão pelo inseto-alvo, promovem a lise das células do intestino médio, levando à sua morte (PIGOTT & ELLAR, 2007; BRAVO et al., 2011; CASTRO et al., 2020). Na cultura da soja, as cultivares *Bt*

são direcionadas ao controle de importantes lepidópteros-praga, como *S. frugiperda*, *Chrysodeixis includens* e *Helicoverpa armigera* (BERNARDI, 2012; CROPLIFE BRASIL, 2020), contribuindo para a redução do uso de inseticidas químicos. A piramidação gênica, que envolve a combinação de dois ou mais genes *Bt* com distintos modos de ação em uma mesma planta (NOGUEIRA, 2018; CTNBIO, 2020), visa ampliar o espectro de controle e, crucialmente, retardar o surgimento de populações de insetos resistentes (PENG et al., 2019).

Contudo, a evolução da resistência de insetos às proteínas *Bt* (CROW, 1957, GEORGHIOU, 1983, TABASHNIK, 1994) constitui uma ameaça significativa à durabilidade e eficácia desta tecnologia. Registros de redução da suscetibilidade de *S. frugiperda* a algumas proteínas Cry já existem no Brasil (BERNARDI et al., 2014; OMOTO & BERNARDI, 2015), o que demanda atenção contínua. Para mitigar este problema, a implementação de áreas de refúgio, cultivadas com variedades não-*Bt* (BUENO & SOSA-GÓMEZ, 2021), é uma prática essencial, pois permite a sobrevivência e reprodução de indivíduos suscetíveis, que, ao acasalarem com os resistentes, podem retardar a fixação de alelos de resistência na população. A adoção de refúgios, juntamente com o monitoramento constante das populações de pragas (SENAR, 2018), é vital para a sustentabilidade das tecnologias *Bt*.

Diante da relevância da cultura da soja para o agronegócio, dos prejuízos causados por *S. frugiperda* e da importância da tecnologia *Bt* em seu manejo, este estudo teve como objetivo geral avaliar o impacto de cultivares de soja transgênica, com diferentes eventos *Bt*, sobre a população de *S. frugiperda*, e analisar suas implicações agrônômicas. A pesquisa foi conduzida em três municípios do estado de Mato Grosso do Sul, visando comparar o desempenho dessas cultivares sob distintas condições edafoclimáticas e pressões da praga.

A hipótese central do trabalho é que cultivares *Bt* contendo genes piramidados demonstram eficácia superior no controle da praga e maior produtividade em comparação com cultivares que possuem eventos *Bt* simples ou que são convencionais.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar comparativamente cultivares de soja transgênica (*Bt*) e não-*Bt* quanto ao impacto sobre a população de *S. frugiperda* e ao desempenho agrônomo (produtividade, peso de mil sementes e altura de plantas), em diferentes condições edafoclimáticas do Mato Grosso do Sul, gerando subsídios ao manejo integrado da praga e à sustentabilidade da tecnologia *Bt*.

2.1 Objetivos Específicos

Analisar a eficácia de cultivares de soja *Bt* e não-*Bt* no controle de *S. frugiperda*, considerando a densidade populacional e a distribuição das lagartas em diferentes estágios de desenvolvimento.

Comparar o desempenho agrônomo das cultivares quanto à produtividade, peso de mil sementes e altura de plantas em diferentes ambientes edafoclimáticos.

Verificar se cultivares *Bt* com genes piramidados apresentam desempenho superior em relação a cultivares convencionais ou com eventos simples, em termos de controle da praga e produtividade.

Testar a hipótese de que as cultivares *Bt* com genes piramidados demonstram eficácia de controle e produtividade superiores em comparação com cultivares de eventos *Bt* simples ou convencionais

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultivo de Soja no Brasil

A soja (*G. max*) destaca-se como uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo amplamente cultivada devido à sua versatilidade de uso e elevada adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas (MEYER et al., 2022). A área cultivada com soja no Brasil na safra 2023/24 alcançou 45.733,2 milhões de hectares, representando um aumento de 3,8% em relação à safra passada, com uma média de produtividade de 3.229 kg/ha, 7,9% inferior ao registrado na safra anterior (CONAB, 2025).

O Brasil ocupa a liderança mundial na produção de soja, seguido pelos Estados Unidos e Argentina. Entre os estados brasileiros, o Mato Grosso destaca-se como o maior produtor,

responsável por 21,5% da produção nacional. No Mato Grosso do Sul, a produção estadual atingiu 12,35 milhões de toneladas na safra 2023/2024, consolidando sua importância no cenário agrícola nacional (SIGA-MS, 2023).

A crescente demanda por fontes de energia renovável tem impulsionado o uso da soja na produção de biocombustíveis. No Brasil, a legislação exige que ao menos 12% do volume de cada litro de diesel comercializado seja composto por biodiesel, cuja principal fonte é o óleo de soja (FREIRE, 2019).

Segundo a Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas (SIRE) da Embrapa, entre os anos de 2000 e 2020, o Brasil consolidou-se como o segundo maior produtor e exportador mundial de soja. A partir de 2020, o país assumiu a liderança, com produção recorde de 126 milhões de toneladas e exportações que superaram 84 milhões de toneladas. Esse desempenho reflete a eficiência do agronegócio brasileiro, sustentado por avanços tecnológicos, expansão da fronteira agrícola e melhorias logísticas.

As condições edafoclimáticas favoráveis e os investimentos em pesquisa agropecuária foram determinantes para a expansão da sojicultura brasileira. Instituições públicas e privadas como a EMBRAPA, o Instituto Agrônômico de Campinas, o Instituto INTISOJA e as organizações estaduais de pesquisa agrícola desempenharam papel central nesse processo. O desenvolvimento de cultivares adaptadas, o aprimoramento do manejo de pragas, a adequação da densidade de plantas e a definição de janelas ideais de semeadura têm contribuído significativamente para o aumento da produtividade da cultura (SILVA et al., 2022).

Projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020) indicam tendência de crescimento contínuo da área cultivada e da produção, reforçando o protagonismo do Brasil no mercado agrícola global.

3.2 Impacto das Perdas Causadas por Pragas nas Lavouras

Nas principais regiões agrícolas do Brasil, é comum a realização de até três safras por ano, com sobreposição entre cultivos. Essa prática resulta em oferta contínua de alimento para insetos herbívoros, favorecendo a permanência e a migração de pragas entre diferentes culturas. Exemplo disso são espécies como a lagarta-falsa-medideira (*C. includens*), que infesta tanto a soja quanto o

algodão, e a lagarta-do-cartucho (*S. frugiperda*), embora considerada praga-chave do milho, também causa danos significativos à soja e ao algodão. Da mesma forma, a *H. armigera* é uma praga polífaga que atinge as culturas, ampliando a complexidade do manejo fitossanitário e reforçando a necessidade de estratégias eficazes no MIP (FONTES & VALADARES, 2020).

Com a intensificação dos sistemas de produção agrícola, torna-se imprescindível a adoção de práticas sustentáveis de manejo, não apenas para atender às exigências do mercado, mas também para garantir a viabilidade econômica das propriedades (GAZZONI, 2012). Estimativas indicam que as perdas causadas por lagartas desfolhadoras e outras pragas nas culturas agrícolas no Brasil superam US\$ 1 bilhão por ano, considerando custos de manejo e redução da produtividade (FIGUEIREDO et al., 2005; JEGER et al., 2017).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, aproximadamente 40% da produção agrícola global é perdida em decorrência de pragas. Anualmente, doenças de plantas geram prejuízos superiores a US\$ 220 bilhões à economia mundial, enquanto insetos invasores são responsáveis por perdas estimadas em pelo menos US\$ 70 bilhões (FAO, 2021).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas destaca que os efeitos das mudanças climáticas tendem a agravar os desafios fitossanitários, tanto em ecossistemas manejados (como agricultura, horticultura e silvicultura) quanto em ambientes seminaturais e não manejados. A elevação das temperaturas, alteração nos regimes hídricos e maior frequência de eventos climáticos extremos podem favorecer a proliferação de pragas e patógenos, exigindo revisões contínuas nas estratégias de proteção de plantas (IPPC SECRETARIAT, 2021).

Embora os dados sobre perdas agrícolas causadas por insetos no Brasil sejam escassos e dispersos, estimativas indicam que danos provocados por invertebrados correspondem a 10–15% da produção agrícola nacional, gerando prejuízos anuais em torno de US\$ 17,7 bilhões (OLIVEIRA et al., 2014).

Estudos conduzidos pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/ESALQ/USP) reforçam que falhas no controle de pragas e doenças podem reduzir a

produtividade da soja e do milho em até 40%, com impactos significativos em toda a cadeia produtiva e repercussões sobre os preços ao consumidor (CEPEA, 2019).

Entre as principais pragas-alvo da tecnologia *Bt* no Brasil, destacam-se *S. frugiperda*, *C. includens* e *H. armigera*, que apresentam alto potencial de resistência a inseticidas e proteínas *Bt*. Casos documentados de resistência a essas ferramentas de controle em diversos países, incluindo o Brasil, reforçam a urgência do monitoramento e do manejo sustentável dessas tecnologias (BERNARDI et al., 2014).

3.3 *Spodoptera. frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)

A lagarta-do-cartucho, *S. frugiperda*, é uma das pragas agrícolas mais importantes da atualidade, destacando-se por sua ampla distribuição geográfica, elevada capacidade reprodutiva e grande adaptabilidade a diferentes cultivos. Trata-se de uma espécie altamente polífaga, com registros de alimentação em mais de 80 espécies vegetais, entre elas culturas de elevada importância econômica, como soja, milho, sorgo, milheto, feijão, algodão e solanáceas (CRUZ et al., 2010).

Embora seja reconhecida principalmente como praga-chave da cultura do milho no Brasil, *S. frugiperda* também causa prejuízos significativos em outras culturas, como soja e algodão. Estudos indicam que as perdas de produtividade ocasionadas por essa espécie podem variar de 17% a 38,7% em culturas como milho e sorgo, dependendo de fatores como estágio fenológico das plantas, condições ambientais, cultivar utilizada e estado nutricional da cultura no momento do ataque (CARVALHO, 1970; CRUZ & TURPIN, 1983; WILLIAMS & DAVIS, 1990; CORTEZ & WAQUIL, 1997; CRUZ et al., 1999).

Originária das regiões tropicais e subtropicais das Américas (SILVA et al., 1968), a espécie expandiu-se rapidamente em escala global nas últimas décadas. Em 2016, foi registrada pela primeira vez na África subsaariana (GOERGEN et al., 2016). A partir de 2018, sua presença foi confirmada no subcontinente indiano, Ásia, Oceania e, posteriormente, Europa. Em 2020, a praga já havia se disseminado para mais de 70 países, consolidando-se como uma das principais pragas transfronteiriças com potencial devastador para sistemas agrícolas (FAO, 2021).

Do ponto de vista morfológico, as lagartas apresentam coloração variável entre o cinza-escuro e o marrom, com faixas dorsais marcadas por pináculos escuros (estruturas de base das cerdas), dispostas longitudinalmente. Possuem cinco pares de pseudópodes, e as mandíbulas apresentam dentes acuminados. A cápsula cefálica apresenta sutura adfrontal que não alcança o vértice craniano, característica diagnóstica útil na identificação da espécie (ZUCCHI et al., 1993).

Devido à sua importância econômica, o manejo eficaz de *S. frugiperda* requer uma abordagem integrada, que combine diferentes métodos de controle. Entre as principais estratégias utilizadas destacam-se o controle cultural (como o plantio escalonado e a rotação de culturas), o controle biológico (com parasitoides, predadores e entomopatógenos), o uso de inseticidas seletivos e, mais recentemente, a incorporação de tecnologias genéticas, como as plantas transgênicas *Bt* (WAQUIL, VILLELA & FOSTER, 2002).

3.4 A Tecnologia *Bt* e sua Importância para a Soja

O *Bt* é uma bactéria gram-positiva, formadora de esporos, amplamente distribuída no solo e reconhecida por sua capacidade de produzir proteínas com atividade inseticida, especialmente contra insetos das ordens Lepidoptera, Coleóptera e Díptera. Essas proteínas são sintetizadas na forma de cristais proteicos (delta-endotoxinas) durante a fase de esporulação e são denominadas proteínas Cry (BRAVO et al., 2005).

As proteínas Cry atuam de maneira altamente específica, sendo tóxicas apenas para determinados grupos de insetos, enquanto permanecem inofensivas a seres humanos, animais vertebrados e à maioria dos organismos não-alvo. Essa especificidade, aliada à sua biodegradabilidade, torna o *Bt* uma ferramenta de controle biológico ambientalmente segura, amplamente utilizada tanto em formulações comerciais quanto na construção de plantas geneticamente modificadas (GM) (BOBROWSKI et al., 2003).

Nas plantas *Bt*, os genes que codificam essas proteínas são inseridos por meio da tecnologia do DNA recombinante, conferindo à planta a capacidade de expressar essas toxinas diretamente nos tecidos vegetais. Quando ingeridas pelos insetos-alvo, as proteínas Cry são solubilizadas e ativadas no intestino médio das lagartas, onde o pH alcalino e enzimas proteolíticas favorecem sua ativação. As toxinas ativas então se ligam a receptores específicos nas células epiteliais do intestino,

promovendo a formação de poros na membrana celular. Esse processo leva à perda de homeostase osmótica, lise celular e, por fim, morte do inseto por septicemia ou inanição, uma vez que o dano intestinal impede a continuidade da alimentação (PIGOTT & ELLAR, 2007; BRAVO et al., 2011; VALICENTE et al., 2018; CASTRO et al., 2020).

Na cultura da soja, o uso de cultivares *Bt* representa um avanço significativo no MIP, reduzindo a necessidade de aplicações de inseticidas químicos e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. A adoção dessas tecnologias permite o controle eficaz de lepidópteros-praga, como *S. frugiperda*, *C. includens* e *H. armigera* (BERNARDI, 2012; CROPLIFE BRASIL, 2020).

Diversos eventos *Bt* foram incorporados às culturas comerciais. Na soja brasileira, por exemplo, destacam-se eventos que expressam as proteínas Cry1Ac, Cry1F, Cry1A.105 e Cry2Ab2, além da proteína Vip3A. Esses eventos, muitas vezes combinados na mesma cultivar (piramidação gênica), são utilizados como estratégia para retardar o desenvolvimento de resistência nas populações de insetos-alvo (NOGUEIRA, 2018; CTNBIO, 2020). A Tabela 1 ilustra as principais combinações de proteínas *Bt* atualmente disponíveis para as culturas de algodão, milho e soja no mercado nacional.

A piramidação de genes, que consiste na expressão simultânea de duas ou mais proteínas inseticidas com modos de ação distintos, visa aumentar a eficácia do controle e minimizar a seleção de indivíduos resistentes (PENG et al., 2019). Essa abordagem, associada à adoção de áreas de refúgio e ao monitoramento contínuo das populações de pragas, é fundamental para preservar a longevidade das tecnologias *Bt* e garantir sua eficácia no longo prazo.

Tabela 1. Proteínas *Bt* disponíveis no mercado brasileiro (CTNBio, 2020).

ALGODÃO	MILHO	SOJA
Cry1Ac	Cry1Ab	Cry1Ac
Cry1Ac/Cry1F	Cry1F	Cry1Ac/Cry1F
Cry1Ac/Cry2Ab2	VIP3A	Cry1Ac/Cry1A.105/Cry2Ab2
Cry1Ab/CryAe	Cry1Ab/Cry1F	
Cry1Ac/Cry1F/VIP3A	Cry1A.105/Cry2Ab2	

Cry1Ac/Cry2Ab2/VIP3A	Cry1Ab/Cry1F/VIP3A
Cry1Ab/Cry2Ae/VIP3A	Cry1A.105/Cry2Ab2/VIP3A
	Cry1F/Cry1A.105/Cry2Ab2/VIP3A

Fonte: CTNBio, 2020.

3.5 A Evolução da Resistência de Insetos à Tecnologia *Bt*

A resistência de insetos a inseticidas, incluindo proteínas *Bt*, é um fenômeno evolutivo amplamente documentado e representa uma das principais ameaças à sustentabilidade das tecnologias de controle de pragas. De acordo com o *Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC), resistência é definida como uma alteração herdável na sensibilidade de uma população de pragas, resultando na falha repetida de um inseticida em alcançar níveis de controle eficazes, quando aplicado de acordo com as recomendações do fabricante (IRAC, 2018).

Esse processo é impulsionado pela seleção natural, em que os indivíduos naturalmente menos suscetíveis ao inseticida sobrevivem e se reproduzem, aumentando gradualmente a frequência de alelos de resistência na população (CROW, 1957; GEORGHIOU, 1983). A comprovação da resistência pode ocorrer por meio da redução progressiva da suscetibilidade ao longo do tempo ou pela comparação entre populações expostas e não expostas ao agente de controle (TABASHNIK, 1994).

Entre os mecanismos evolutivos que favorecem a resistência destaca-se a resistência cruzada, na qual um único mecanismo confere proteção contra diferentes toxinas que compartilham o mesmo modo de ação. Um exemplo relevante é a resistência de *S. frugiperda* às proteínas Cry1Ab, Cry1F e Cry1A.105, todas utilizadas em cultivares *Bt* (OMOTO & BERNARDI, 2015).

A resistência às proteínas *Bt* não se restringe ao ambiente agrícola. Como observou Andow (2008), sua evolução também constitui um risco ambiental, pois pode comprometer a eficácia de ferramentas biotecnológicas utilizadas em diversos ecossistemas agrícolas e não agrícolas.

Diante desse desafio, uma das principais estratégias adotadas para retardar a evolução da resistência é a implantação de áreas de refúgio. Essas áreas, cultivadas com variedades não-*Bt*, permitem a sobrevivência de insetos suscetíveis, cuja reprodução com indivíduos resistentes pode

diluir a frequência de alelos de resistência na população, mantendo a eficácia da tecnologia *Bt* (BUENO & SOSA-GÓMEZ, 2021).

Além do refúgio, o monitoramento sistemático das populações de pragas é essencial. Avaliações frequentes, preferencialmente semanais, permitem detectar precocemente alterações nos níveis de infestação e evitam aplicações desnecessárias de inseticidas, contribuindo para a sustentabilidade do MIP (SENAR, 2018).

O sucesso do MIP depende diretamente da precisão e confiabilidade das estimativas populacionais de pragas e inimigos naturais. A integração de métodos de controle — biológicos, químicos e culturais — associada ao uso racional das biotecnologias, representa a base para a gestão sustentável da resistência e a preservação da eficiência das ferramentas atualmente disponíveis (RUESINK & KOGAN, 1982; MORALES & SILVA, 2006; CORRÊA-FERREIRA, 2012).

4. REFERÊNCIAS

- ANDOW, D. A. The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops. **Collection of Biosafety Reviews**, Trieste, v. 4, p. 142-199, 2008. Disponível em: <http://www.icgeb.org/biosafety/publications/collections.html>. Acesso em: 28 mai 2024.
- BERNARDI, O. **Avaliação do risco de resistência de lepidópteros-praga (Lepidoptera: Noctuidae) à proteína Cry1Ac expressa em soja MON 87701 × MON 89788 no Brasil**. 2012. 116 f. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- BERNARDI, O.; BARROS, E. M.; SEGATTO, R.; HORIKOSHI, R. J.; OKUMURA, R. S.; FERNANDES, O. A. Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically modified soybean expressing Cry1Ac protein. **Crop Protection**, v. 58, p. 33-40, 2014. DOI: 10.1016/j.cropro.2013.12.025.
- BOBROWSKI, V. L.; FIUZA, L. M.; PASQUALI, G.; BODANESE-ZANETTINI, M. H. Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 843-850, 2003. DOI: 10.1590/S0103-84782003000300032.
- BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, p. 423-431, 2011.
- BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis* mechanisms and use. In: GILBERT, L. I.; IATROU, K.; GILL, S. S. (Ed.). **Comprehensive molecular insect science**. New York: Elsevier, 2005. v. 6, p. 175-206.
- BUENO, A. F.; SOSA-GÓMEZ, D. R. **Ocorrência de *Rachiplusia nu* e *Crociosema aporema* em soja-Bt na safra 20/21 e principais orientações de manejo aos produtores para a safra 21/22**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 16 p. (Nota Técnica).
- CARVALHO, R. P. L. **Danos, flutuação populacional, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) e susceptibilidade de diferentes genótipos de milho em condições de campo**. 1970. 170 f. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.
- CASTRO, M. E. B. de. et al. Controle de artrópodes-praga com vírus entomopatogênicos. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 8, p. 237-273.
- CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Mensuração econômica da incidência de pragas e doenças no Brasil: uma aplicação para as culturas de soja, milho e algodão**. Parte 1. Piracicaba, 2019. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_EstudoPragaseDoencas_Parte%201.pdf. Acesso em: 25 set. 2021.

COMEX STAT. **Estatísticas de comércio exterior do Brasil**. Brasília, DF: MDIC, [2023]. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 29 abr. 2023.

CONAB. **Boletim da safra de grãos: 8º levantamento – Safra 2024/25**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/8o-levantamento-safra-2024-25/tabela-de-dados-producao-e-balanco-de-oferta-e-demanda-de-graos>. Acesso em: 22 maio 2025.

CORRÊA-FERREIRA, B. S. Amostragem de pragas da soja. *In*: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 631-672.

CORTEZ, M. G. R.; WAQUIL, J. M. Influência de cultivar e nível de infestação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no rendimento do sorgo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, p. 407- 410, 1997.

CROPLIFE BRASIL. **Controle biológico faz parte do futuro da agricultura**. [São Paulo]: Croplife Brasil, 2020. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/conceitos/controle-biologico/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

CROW, J. F. Genetics of Insecticide Resistance to Chemicals. **Annual Review of Entomology**, v. 2, p. 227-246, 1957.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, L. M. C.; SILVA, R. B.; FOSTER, J. E. Efficiency of chemical pesticides to control *Spodoptera frugiperda* and validation of pheromone trap as a pest management tool in maize crop. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 2, p. 107-122, 2010.

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 aluminum saturation. **International Journal of Pest Management**, London, v. 45, p. 293-296, 1999.

CRUZ, I.; TURPIN, F. T. Yield impact of larval infestation of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to midwhorl stage of corn. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 76, p. 1052-1054, 1983.

CTNBio - COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. **Commercial Approvals**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <http://ctnbio.mcti.gov.br/liberacao-comercial#/liberacaocomercial/consultar-processo>. Acesso em: 20 jun. 2020.

DALL'AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

FAO. IPPC SECRETARIAT. **Prevention, preparedness, and response guidelines for *Spodoptera frugiperda***. Rome: FAO on behalf of the Secretariat of the International Plant Protection Convention, 2021.

FIGUEIREDO, M.; PENTEADO-DIAS, A.; CRUZ, I. **Danos provocados por *Spodoptera frugiperda* na produção de matéria seca e nos rendimentos de grãos, na cultura do milho.** Sete Lagoas: Embrapa/CNPMS, 2005. (Comunicado Técnico, 130).

FONTES, E. M. G.; VALADARES, M. C. **Controle biológico de pragas na agricultura.** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2020. 514 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212490/1/CBdocument.pdf>. Acesso em: 08 jun 2023.

FREIRE, L. Biodiesel: O biocombustível assume cada vez mais importância na matriz energética brasileira, mas ainda há muito trabalho e conquistas a serem obtidas. **Revista Óleos & Gorduras, Grãos & Derivados**, [S. l.]: Editora Stilo, 2019.

GAZZONI, D. L. Perspectivas do manejo de pragas. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga.** Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 789-829.

GEORGHIOU, G. P. Management of resistance in Arthropods. In: GEORGHIOU, G. P.; SAITO, T. (Ed.). **Pest resistance to pesticides.** New York: Plenum Press, 1983. p. 769-792.

GOERGEN, G.; KUMAR, P. L.; SANKUNG, S. B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. **PLoS ONE**, v. 11, n. 10, e0165632, 2016.

IRAC - INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE. **Modo de ação de inseticidas e acaricidas.** [S. l.], 2018. Disponível em: <http://www.irac-br.org/modo-de-acao-de-inseticidas-e-acaridicas>. Acesso em: 05 jan. 2024.

IPPC SECRETARIAT. **Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry, and ecosystems.** Rome: FAO on behalf of the IPPC Secretariat, 2021.

JEGER, M.; BRAGARD, C.; CAFFIER, D.; CANDRESSE, T.; CHATZIVASSILIOU, E.; DEHNEN-SCHMUTZ, K., et al. Pest categorisation of *Spodoptera frugiperda*. **EFSA Journal**, v. 15, n. 11, p. e05063, 2017.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30 projeções de longo prazo.** Brasília, DF, 2020.

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; GODOY, C. V. Controle biológico de mofo-branco na cultura da soja. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (ed.). **Bioinsumos na cultura da soja.** Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 315-329.

MORALES, L.; SILVA, M. T. B. da. Desafios do MIP Soja na região sul do Brasil e o plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. p. 134-139.

NOGUEIRA, L. S. **Estratégia de mistura de sementes em eventos de milho Bt “piramidado” a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae).** 2018. Tese (Doutorado

em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

OLIVEIRA, C. M.; AUAD, A. M.; MENDES, S. M.; FRIZZAS, M. R. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50–54, 2014.

OMOTO, C.; BERNARDI, O. Estratégias de manejo podem prolongar vida útil das tecnologias de milho Bt. **Visão Agrícola**, Piracicaba, a. 9, p. 107-109, jul./dez. 2015. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2021.

PENG, Q.; YU, Q.; SONG, F. Expression of *cry* genes in *Bacillus thuringiensis* biotechnology. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 2, p. 601-610, 2019.

PIGOTT, C. R.; ELLAR, D. J. Role of Receptors in *Bacillus thuringiensis* Crystal Toxin Activity. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 71, n. 2, p. 255-281, 2007. DOI: 10.1128/MMBR.00034-06.

RUESINK, W. G.; KOGAN, M. The quantitative basis of the pest management: sampling and measuring. In: METCALF, R. L.; LUCKMANN, W. H. (Ed.). **Introduction to insect pest management**. New York: John Wiley & Sons, 1982. p. 315-352.

SENAR – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Grãos: Manejo Integrado de Pragas (MIP) em soja, milho e sorgo**. 2. ed. Brasília, DF: SENAR, 2018.

SIGA MS – SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA DO AGRONEGÓCIO. **Publicações**. [Campo Grande, MS], [2023]. Disponível em: <http://www.sigaweb.org/ms/sistema/modulos/publicacoes/>. Acesso em: 05 ago. 2023.

SILVA, A. G. A.; GONÇALVES, C. R.; GALVÃO, D. M.; GONÇALVES, A. J. L.; GOMES, J.; SILVA, M. N.; SIMONI, L. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil: Seus parasitos e predadores**. Parte II, tomo 1. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1968.

SILVA, E. F. R. **Indicadores físicos do solo em cultivos de soja sobre palhada do consórcio milho e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no cerrado maranhense**. 2022. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2022.

TABASHNIK, B. E. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 39, p. 47-79, 1994.

VALICENTE, F. H.; LANA, U. G. de P.; PEREIRA, A. C. P.; MARTINS, J. L. A.; TAVARES, A. N. G. **Riscos à produção de biopesticida à base de *Bacillus thuringiensis***. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 20 p. (Circular Técnica, 239).

WAQUIL, J. M.; VILLELA, F. M. F.; FOSTER, J. E. Resistência do milho (*Zea mays* L.) transgênico (Bt) a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 3, p. 1-11, 2002. DOI: 10.18512/rbms.v1i3.1248.

WILLIAMS, W. P.; DAVIS, F. M. Response of corn to artificial infestation with fall armyworm and southwestern corn borer larvae. **Southwestern Entomologist**, College Station, v. 15, p. 163-166, 1990.

ZUCCHI, R. A.; NETO, S. S.; NAKANO, O. **Guia de identificação de pragas agrícolas**. Piracicaba: FEALQ, 1993. 139 p.

5. CAPÍTULO 1

Cultivares de soja *Bt* piramidadas asseguram maior produtividade e controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes condições edafoclimáticas

Resumo

A intensificação da ocorrência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), na cultura da soja representa um dos principais desafios para a sustentabilidade da produção agrícola no Brasil, exigindo estratégias eficazes de manejo baseadas em cultivares resistentes e adaptadas a diferentes condições ambientais. Nesse sentido, este estudo foi conduzido em três municípios do estado de Mato Grosso do Sul (Ponta Porã, Dourados e Rio Brillhante), com o objetivo de avaliar a eficácia de diferentes cultivares de soja, com e sem tecnologia *Bt*, no controle de *S. frugiperda*, bem como suas características agronômicas. Foram comparadas seis cultivares comerciais quanto à produtividade, peso de mil sementes, altura de plantas, frequência de insetos em estágio larval e densidade populacional de lagartas em diferentes estágios de desenvolvimento (pequenas, médias e grandes). A cultivar *Bt* BMX65k67 apresentou o melhor desempenho geral, com produtividade média de 3.273,3 kg/ha e baixa infestação de lagartas grandes (8,8), destacando-se pela resistência integrada e ampla adaptação edafoclimática. A cultivar BMX66e, embora altamente produtiva (3.195,8 kg/ha), apresentou elevados níveis de infestação por lagartas grandes (24,6), indicando maior vulnerabilidade à praga. A cultivar ST631 apresentou produtividade intermediária (2.882,6 kg/ha), enquanto M1061 e M6101 mostraram desempenho moderado (2.481,4 e 2.323,0 kg/ha, respectivamente), com destaque negativo para M6101, que registrou a maior densidade populacional de lagartas (70,1). A cultivar convencional BRS 243 foi a menos produtiva (2.013,0 kg/ha), combinando baixa produtividade com elevada infestação de lagartas (58,6), evidenciando a fragilidade frente à pressão da praga na cultura. O peso de mil sementes variou entre os genótipos, com M1061 apresentando o maior valor (149,3 g) e M6101 o menor (126,7 g). Os resultados demonstram que a tecnologia *Bt* contribui significativamente para o controle de *S. frugiperda*, mitigando perdas de produtividade e favorecendo maior estabilidade agronômica em diferentes ambientes de cultivo.

Palavras-chave: soja *Bt*, resistência de plantas, produtividade, Manejo Integrado de Pragas, Lagarta do cartucho.

1. Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ocupa papel central no agronegócio global, sendo uma das culturas mais cultivadas no mundo devido à sua importância como fonte de proteína e óleo vegetal. O Brasil lidera a produção mundial, tendo superado os Estados Unidos na última década, com sucessivos recordes de produtividade e exportação (CONAB, 2023). No entanto, o crescimento da sojicultura brasileira tem sido acompanhado por desafios fitossanitários, entre os quais se destaca o aumento da pressão de pragas polífagas, como *S. frugiperda*, que tem expandido sua ocorrência sobre essa cultura (ÁVILA, SCHLICK-SOUZA, 2015).

Historicamente associada ao milho, *S. frugiperda* tornou-se uma praga recorrente também na soja, em especial nas regiões de sucessão ou rotação de culturas hospedeiras. Seu elevado potencial migratório, polifagia e capacidade de desenvolver populações resistentes a inseticidas representam um grave risco à sustentabilidade dos sistemas agrícolas intensivos (GOERGEN et al., 2016; BERNARDI et al., 2014). Estima-se que pragas agrícolas causem perdas superiores a US\$ 70 bilhões anualmente em todo o mundo, sendo *S. frugiperda* responsável por uma fração significativa desse impacto (FAO, 2021).

Em resposta a esse cenário, o desenvolvimento de cultivares geneticamente modificadas com inserção de genes de *Bt* tem sido uma estratégia eficaz no manejo de lepidópteros-praga. Essas cultivares expressam proteínas Cry e Vip que, ao serem ingeridas pelas lagartas, desencadeiam a lise das células intestinais e levam à morte do inseto. A piramidação de toxinas com locais e formas de ação distintos, como Cry1Ac, Cry1F, Cry1A.105 e Cry2Ab2, tem se mostrado particularmente promissora para ampliar o espectro de ação e retardar a evolução da resistência (PIGOTT & ELLAR, 2007; BRAVO et al., 2011; NOGUEIRA, 2018).

Apesar da ampla adoção da tecnologia *Bt* na sojicultura brasileira, ainda são escassos os estudos que avaliem de forma comparativa o desempenho de cultivares *Bt* e não-*Bt* sob diferentes condições ambientais, especialmente no que se refere à infestação por *S. frugiperda* e ao rendimento agrônomo em regiões agrícolas centrais como o estado de Mato Grosso do Sul.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de cultivares de soja com diferentes tecnologias *Bt* no controle de *S. frugiperda*, comparando sua produtividade,

densidade populacional de lagartas (em diferentes estágios), altura de plantas e peso de mil sementes em três localidades com distintas características edafoclimáticas. A hipótese testada é que cultivares *Bt* piramidadas apresentam desempenho superior, tanto em produtividade quanto na supressão da praga, mesmo em ambientes contrastantes.

2. Materiais e Métodos

2.1 Condução do Experimento

O experimento foi conduzido na safra de verão 2023/2024 em três municípios do estado de Mato Grosso do Sul (Ponta Porã, Dourados e Rio Brilhante), selecionados por apresentarem características edafoclimáticas distintas. As áreas experimentais estavam localizadas em propriedades rurais sob sistema de plantio direto consolidado, e foram escolhidas de modo a representar diferentes altitudes, condições de solo e microclimas regionais, cada área experimental foi utilizada como uma repetição independente do experimento, totalizando três repetições geograficamente distribuídas.

2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com seis tratamentos (cultivares) e doze repetições (4 por localidade), totalizando 72 unidades experimentais em todas as áreas. Cada parcela foi composta por 20 linhas de soja com 10 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m, totalizando 100 m² de área bruta, delimitadas por estacas de madeira e bandeiras, desprezou-se 1 metro de cada extremidade e as duas linhas laterais da parcela. Essa prática, conhecida como desprezar a bordadura, é fundamental para eliminar o "efeito de borda". A área útil de cada parcela foi constituída pelos 8 m centrais de 16 fileiras internas (64 m²) (Figura 1).

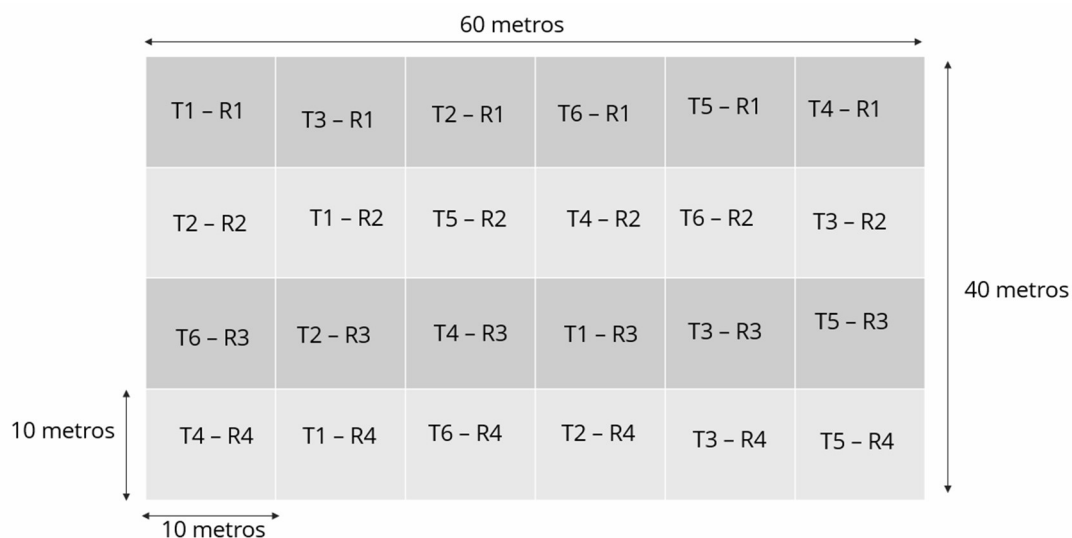


Figura 1. Croqui da área experimental.

2.3 Tratamentos

Seis cultivares comerciais de soja com diferentes eventos biotecnológicos foram avaliadas quanto à produtividade e ao controle de lagartas. A Tabela 2 apresenta os tratamentos, as tecnologias associadas e as toxinas *Bt* expressas.

Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento com suas respectivas cultivares comerciais, tecnologias e toxinas *Bt* expressas. (Dourados, Ponta Porã e Rio Brilhante).

TRATAMENTO	CULTIVAR	TECNOLOGIA	TOXINA <i>Bt</i>	TOLERÂNCIA A HERBICIDAS
T1	BRS 243	CONVENCIONAL RR	-	-
T2	M1061	RR2 IPRO	Cry 1Ac	Glifosato
T3	M6101	XTD	-	Glifosato, Dicamba

T4	ST631	I2X	Cry1Ac Cry1A.105 e Cry2Ab2	Glifosato, Dicamba
T5	BMX66e	ENLIST	-	2,4 D sal colina, Glifosato e Glufosinato
T6	BMX65k67	CONKESTA ENLIST	Cry1Ac e Cry1F	2,4 D sal colina, Glifosato e Glufosinato

As tecnologias RR2 IPRO, Enlist e Intacta 2 Xtend incorporam genes que conferem tolerância aos herbicidas glifosato, 2,4-D e dicamba, além da expressão de proteínas *Bt* com ação inseticida. A cultivar Conkesta Enlist E3 expressa as toxinas Cry1Ac e Cry1F, enquanto a Intacta 2 Xtend combina Cry1Ac Cry1A.105 e Cry2Ab2 (ISAAA, 2021).

2.4 Implantação da Cultura

A semeadura foi realizada manualmente, após a dessecação da vegetação espontânea com glifosato (960 g i.a./ha). As sementes foram dispostas com densidade de 15 sementes por metro linear. No sulco de semeadura, foi aplicado fertilizante formulado NPK 02-20-18, por meio de plantadeira adubadora. As práticas de adubação, controle de plantas daninhas e doenças seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja (MEROTTO JÚNIOR & VIDAL, 2009). Nenhuma das sementes foi tratada com inseticidas.

O controle de lagartas não foi realizado, com o objetivo não interferir na avaliação dos efeitos das tecnologias *Bt*.

2.5 Descrição das Áreas Experimentais

As avaliações foram conduzidas em três localidades representativas do sul do estado de Mato Grosso do Sul, região de grande importância para a sojicultura nacional. A escolha das áreas experimentais teve como critério a diversidade de condições edafoclimáticas, permitindo a análise do desempenho agrônomo e fitossanitário das cultivares em ambientes contrastantes. As localidades diferem quanto à altitude, regime térmico e textura do solo, variando de solos arenosos a argilosos, o que influencia diretamente no desenvolvimento da cultura. A caracterização geográfica e edáfica de cada área experimental é apresentada a seguir.

Área 1: Fazenda Boa Vista, Ponta Porã – MS (Latitude 22°32'09"S; Longitude 55°43'33"W; Altitude: 755 m). Local com clima ameno e solo de textura arenosa, sujeito a maior amplitude térmica, a área em avaliação encontra-se delimitada por cultivos comerciais de soja (*G. max*) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). No momento do plantio, observou-se a presença de palhada (restos culturais) de milho (*Zea mays*) proveniente de colheita precedente. O sistema de produção adotado na referida área segue o modelo de sucessão de culturas soja/milho segunda safra (safrinha), prática predominante na região. Esta região é frequentemente submetida a estresses abióticos, como déficits hídricos e ocorrência de geadas.

Nesta área foi preconizado o sistema de plantio direto (SPD) sobre a palhada, mantendo a sucessão soja/milho, com priorização para a utilização de cultivares geneticamente modificadas com tecnologia *Bt*. Foi constatado que o produtor não adota a prática da semeadura de áreas de refúgio estruturado para cultivares *Bt*.

Especificamente nesta área em estudo, a semeadura é estrategicamente realizada em época precoce. Tal manejo visa à antecipação do ciclo da cultura do milho, possibilitando uma colheita antecipada e, conseqüentemente, a mitigação dos riscos de perdas de produtividade por ocorrência de geadas tardias.

Área 2: Fazenda Dois Corações, Dourados – MS (Latitude 22°11'57"S; Longitude 54°56'15"W; Altitude: 455 m). Área com clima intermediário e solo franco-arenoso. A gleba comercial em avaliação encontra-se circundada por outras lavouras de soja. O cultivo atual foi implementado sobre a palhada (restos culturais) de milho (*Z. mays*) proveniente da safra anterior. Na área, adota-se o sistema de plantio direto (SPD) com sucessão de culturas soja/milho, priorizando-se o uso de cultivares com tecnologia *Bt*. No entanto, o produtor não adota a prática de semeadura de áreas de refúgio estruturado, alegando "dificuldade de manejo" como justificativa para tal decisão.

Área 3: Fazenda Santo Terço, Rio Brilhante – MS (Latitude 21°47'29"S; Longitude 54°33'30"W; Altitude: 314 m). A área em avaliação encontra-se circundada por lavouras comerciais de soja e milho. O cultivo atual foi implementado sobre a cobertura de palhada (restos culturais) proveniente da cultura de milho precedente. Nas áreas comerciais da propriedade, adota-se o sistema de plantio direto (SPD) e a sucessão de culturas soja/milho.

Na safra anterior 21/22, foram empregadas as cultivares de soja BRS 1064IPRO e BRS 1056IPRO, ambas com tecnologia Intacta RR2 PRO® (conferindo proteção contra insetos-praga e tolerância ao herbicida glifosato). Seguido pela semeadura de diversos híbridos de milho, todos transgênicos e portadores de múltiplos eventos biotecnológicos. Verificou-se a não adoção de áreas de refúgio estruturado para as culturas *Bt* na propriedade.

Adicionalmente, o cenário climático da região no ano de 2024 foi marcado por temperaturas elevadas e um regime pluviométrico irregular, caracterizado pela alternância entre períodos de precipitação intensa e estiagens prolongadas.

2.6 Avaliação da Produtividade

Em cada parcela experimental, foi delimitada uma área para a colheita. Esta área compreendeu 1 metro central das 5 fileiras centrais totalizando 2 metros², com essa área foi possível superestimar os resultados. Todas as plantas contidas nesta área foram colhidas manualmente. A colheita foi realizada quando 95% das vagens apresentavam aspectos de maturação. As plantas colhidas de cada parcela foram acondicionadas em sacos de rafia devidamente identificados e, posteriormente, submetidas a uma trilhadora estacionária para a separação dos grãos das vagens e restos culturais. O teor de umidade dos grãos recém-colhidos de cada parcela foi determinado utilizando-se um medidor de umidade digital calibrado. O peso dos grãos obtidos em campo foi corrigido para o padrão de umidade de comercialização, que no Brasil é de 13%. A fórmula utilizada foi:

Onde:

- PC = Peso Corrigido (em kg)
- P_O = Peso Observado na colheita (em kg)
- U_O = Umidade Observada na amostra (%)
- U_D = Umidade Desejada (13%)

$$PC = P_O \times \left(\frac{100 - U_O}{100 - U_D} \right)$$

Por fim, o peso corrigido de cada parcela foi extrapolado para a unidade padrão de quilogramas por hectare (kg/ha).

$$Produtividade (kg/ha) = \frac{PC (kg)}{Área Útil (m^2)} \times 10.000$$

2.7 Avaliação do Peso de Mil Sementes

Após a trilha e pesagem da área útil de cada parcela, foi retirada uma amostra homogênea de grãos. Desta amostra, foram contadas, de forma aleatória, oito subamostras de 100 sementes cada. O uso de múltiplas subamostras aumenta a precisão e a confiabilidade do resultado. Cada subamostra de 100 sementes foi pesada individualmente em balança analítica com precisão de três casas decimais (0,001 g). Foi calculada a média do peso das oito subamostras. O resultado foi, então, multiplicado por 10 para se obter o peso correspondente a 1.000 sementes. O valor final foi expresso em gramas (g).

2.8 Avaliação da Altura de Plantas

A medição foi realizada no estágio de vagem cheia (R6), fase que geralmente representa o máximo desenvolvimento das cultivares antes que a planta entre em senescência e termine seu ciclo. Em cada parcela, foram selecionadas aleatoriamente 10 plantas competitivas dentro da área útil. Plantas de bordadura ou falhas não foram consideradas. Utilizando-se uma trena, a altura de cada uma das 10 plantas foi medida do nível do solo (colo da planta) até a inserção do último trifólio completamente desenvolvido na haste principal. A média aritmética das 10 medições foi calculada para obter o valor médio de altura de planta por parcela, expresso em centímetros (cm).

2.9 Amostragem de lagartas

As amostragens foram iniciadas no estágio V4 da soja e encerradas no R8. O método utilizado foi o pano de batida, conforme CORRÊA-FERREIRA & PANIZZI (1999), com amostragens realizadas em intervalos de 5 a 9 dias (média semanal), totalizando de 17 a 20 amostragens por área.

O pano de batida (1,0 m × 1,4 m) foi posicionado entre duas fileiras de plantas, que foram agitadas vigorosamente para a queda dos insetos. Cada parcela foi amostrada em três pontos aleatórios, cujos valores foram utilizados para cálculo da média.

As lagartas foram classificadas conforme o tamanho corporal: Pequenas: < 1,0 cm, Médias: 1,0 – 1,5 cm e Grandes: > 1,5 cm.

2.10 Propriedades Químicas e Físicas dos Solos das Áreas Experimentais

Foi realizada a coleta de 6 subamostras de solo com sonda e marreta na profundidade de 0-20 cm em pontos distintos dentro da área experimental de cada localidade, as amostras foram depositadas juntas em um único balde plástico limpo. O solo no balde foi minuciosamente homogeneizado, todos os torrões e núcleos de solo provenientes da sonda foram completamente desfeitos e esmiuçados com as mãos. Após a completa homogeneização do solo no balde, uma porção de aproximadamente 500 gramas foi retirada para formar a amostra composta final que foi enviada ao laboratório, o mesmo procedimento foi executado para as amostras em Dourados, Ponta Porã e Rio Brilhante.

Os resultados das análises químicas e físicas dos solos nas três áreas experimentais de Ponta Porã, Dourados e Rio Brilhante, são apresentados. As variações observadas entre os locais refletem a diversidade edafoclimática do estado e oferecem subsídios para a interpretação dos resultados agronômicos e fitossanitários obtidos neste estudo.

Em Ponta Porã – MS, o solo apresentou pH ligeiramente ácido e ausência de alumínio tóxico. Os teores de cálcio e magnésio foram considerados adequados, enquanto o potássio foi baixo. A saturação por bases (V%) atingiu o valor considerado ideal para a cultura da soja. A textura do solo é predominantemente arenosa (Tabela 3).

Tabela 3. Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados no experimento realizado em Ponta Porã-MS. (Safrá 22/23)

Ph	Meqlich-1	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
----	-----------	------------------	------------------	------------------	----------------	----	-----	---	-------	-------	--------

H ₂ O	mg dm ⁻³	----- cmol dm ⁻³ ----- C								%	
5,58	7,6	0,0	3,47	1,15	0,11	4,73	7,10	66,54	82	6,7	11,3

pH = pH em água; P = Fósforo (Mehlich-1); Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ = teores trocáveis de Alumínio, Cálcio, Magnésio e Potássio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica efetiva; V% = Saturação por Bases; Areia, Silte, Argila = Fração textural do solo.

Já em Dourados – MS, o solo dessa localidade também foi classificado como arenoso, não houve presença de alumínio tóxico. Os teores de cálcio e magnésio foram moderados, e o teor de potássio foi baixo. A soma de bases e a saturação por bases indicaram fertilidade adequada, embora limitada quanto à retenção de nutrientes, devido à alta proporção de areia (Tabela 4).

Tabela 4. Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados no experimento realizado em Dourados-MS. (Safrá 22/23)

pH	³ Mehlich-1	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol dm ⁻³			%						
5,46	35,28	0	2,11	0,72	0,15	2,98	4,53	65,86	87,2	3,7	9,1

pH = pH em água; P = Fósforo (Mehlich-1); Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ = teores trocáveis de Alumínio, Cálcio, Magnésio e Potássio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica efetiva; V% = Saturação por Bases; Areia, Silte, Argila = Fração textural do solo.

Em Rio Brilhante – MS, o solo apresentou textura argilosa. O pH foi classificado como moderadamente ácido. Os teores de cálcio e magnésio foram elevados, e o potássio apresentou teor moderado. A saturação por bases foi ligeiramente abaixo do valor ideal para a soja, indicando necessidade de atenção ao manejo da adubação potássica e correção da acidez em longo prazo (Tabela 5).

Tabela 5. Propriedades químicas e físicas dos solos utilizados no experimento realizado em Rio Brilhante-MS. (Safrá 22/23)

pH	² Mehlich-1	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
H ₂ O		mg dm ⁻³	----- cmol dm ⁻³			%					
5,54	29,85	0	3,56	2,47	0,78	6,81	11,45	59,42	24,1	20	55,8

pH = pH em água; P = Fósforo (Mehlich-1); Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ = teores trocáveis de Alumínio, Cálcio, Magnésio e Potássio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica efetiva; V% = Saturação por Bases; Areia, Silte, Argila = Fração textural do solo.

2.11 Análise Estatística

Para garantir a validade do modelo estatístico, os dados foram primeiramente submetidos à análise dos pressupostos paramétricos. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homogeneidade das variâncias (homocedasticidade) entre os tratamentos foi verificada pelo teste de O'Neill e Mathews. A independência dos erros foi assegurada pela aleatorização das parcelas no delineamento experimental.

Atendidos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para testar a hipótese de nulidade (H₀), ou seja, a ausência de diferenças significativas entre as médias dos tratamentos. Quando a ANOVA revelou um efeito significativo ($p < 0,05$), indicando a rejeição de H₀, procedeu-se com um teste de comparação múltipla. As médias foram comparadas par a par pelo teste de Tukey, que controla a taxa de erro tipo I para o conjunto de todas as comparações. Em todas as análises, foi adotado o nível de 5% de significância. Os procedimentos estatísticos foram conduzidos utilizando o software Rbio v.206 para Windows (UFV, Viçosa, MG, Brasil).

3. Resultados

3.1 Desempenho e Efeitos das Tecnologias sobre a População de Lagartas

Foram coletados dados médios de amostragem de lagartas pequenas, médias e grandes, coletadas ao longo do ciclo da cultura em cada tratamento, nas três áreas experimentais (Figura 2). O monitoramento foi realizado em até 140 Dias Após a Emergência (DAE), cobrindo desde o estágio vegetativo V4 até o final do ciclo reprodutivo (R8), abrangendo diferentes fases fenológicas e condições ambientais (Figura 2 e Figura 3).

Observou-se um padrão de infestação crescente na soja não *Bt* (Figura 2) a partir de 16 DAE com picos entre a 20, 70, 90 e 114 DAE, coincidindo com o fechamento do dossel e o aumento da biomassa vegetal disponível. Esse padrão foi consistente entre os tratamentos, embora a intensidade da infestação tenha variado significativamente entre as cultivares (Figura 2).

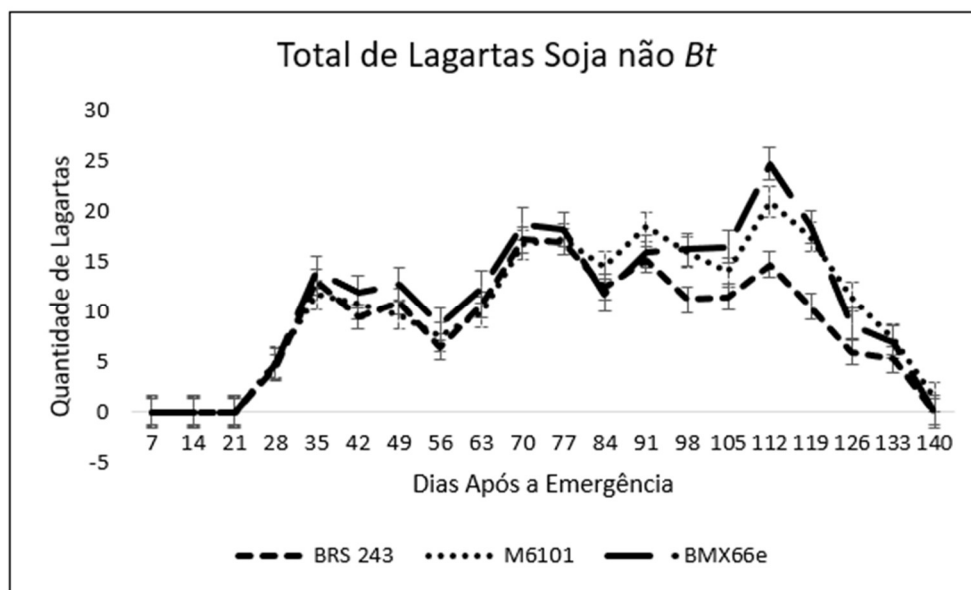


Figura 2. Médias de Lagartas totais em Soja não Bt (Dias após a emergência), amostragens realizadas em Dourados – MS, Ponta Porã – MS e Rio Brilhante - MS.

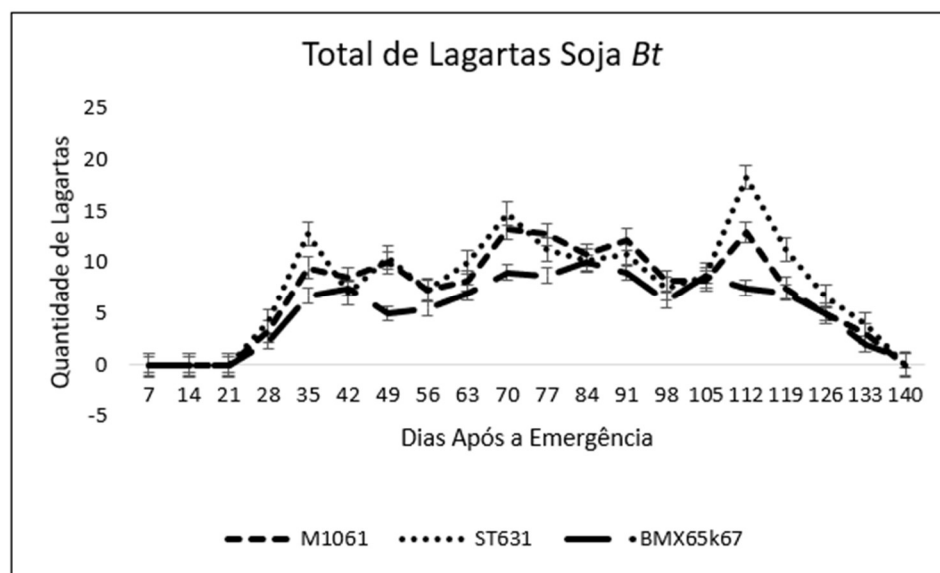


Figura 3. Médias de Lagartas totais em Soja *Bt* (Dias após a emergência), amostragens realizadas em Dourados – MS, Ponta Porã – MS e Rio Brilhante - MS.

A cultivar *Bt* BMX65k67 (T6) apresentou os menores níveis de infestação total ao longo das avaliações, com destaque para a baixa densidade de lagartas grandes, cujos números raramente ultrapassaram duas unidades por ponto amostral. Esse desempenho confirma a eficácia da piramidação das toxinas Cry1Ac e Cry1F na supressão das fases mais danosas de *S. frugiperda*.

Em contrapartida, a cultivar não-*Bt* M6101 (T3) registrou a maior densidade acumulada de lagartas, com picos de infestação de até 70,1 indivíduos por parcela, principalmente nas fases médias e grandes, o que refletiu diretamente nos danos observados nas plantas e, posteriormente, nos dados de produtividade.

A cultivar BMX66e (T5), embora não-*Bt*, apresentou desempenho intermediário. Apesar da elevada infestação por lagartas grandes, manteve elevada produtividade, sugerindo possível compensação fisiológica ou escape do ataque em fases críticas de desenvolvimento reprodutivo.

Já a BRS 243 (T1), cultivar convencional RR, por não expressar toxinas *Bt* foi altamente suscetível à infestação, com média acumulada de lagartas total semelhante à de M6101. Esta cultivar apresentou ainda baixo vigor vegetativo, o que pode ter agravado os efeitos do ataque.

As cultivares ST631 (T4) e M1061 (T2), ambas com eventos *Bt* simples ou duplos, apresentaram níveis intermediários de infestação, com eficiência variável no controle das fases iniciais da praga, mas menor desempenho frente às lagartas maiores, especialmente aos 70, 91 e 112 DAE.

De maneira geral, os resultados indicam que as cultivares contendo eventos *Bt* mais recentes e com piramidação gênica proporcionaram melhor controle das fases larvais de *S. frugiperda*, principalmente das lagartas grandes, que são as principais responsáveis pelos danos à produtividade. A análise detalhada do comportamento populacional também evidenciou a importância do monitoramento contínuo e da escolha de cultivares resistentes como ferramenta central no MIP.

Ao analisar a dinâmica populacional de lagartas ao longo de 0 a 140 DAE (Figura 1 e 2), nota-se que a partir de 28 DAE, há um aumento significativo na infestação, com picos notáveis em 42, 77 e 112 DAE. Dentre as cultivares avaliadas, a BRS 243 apresentou as maiores médias de lagartas em diversas avaliações, especialmente em 112 DAE, onde atingiu o valor mais alto do período. Em contraste, a cultivar BMX65k67 manteve-se com as menores médias de lagartas durante quase todo o monitoramento. Após 112 DAE, nota-se uma tendência de declínio na população de lagartas em todas as cultivares, chegando novamente a valores muito baixos em 140 DAE. Esses dados indicam que o período crítico de infestação ocorre entre 21 DAE e 119 DAE, com variações na intensidade conforme a cultivar. (Figura 4)

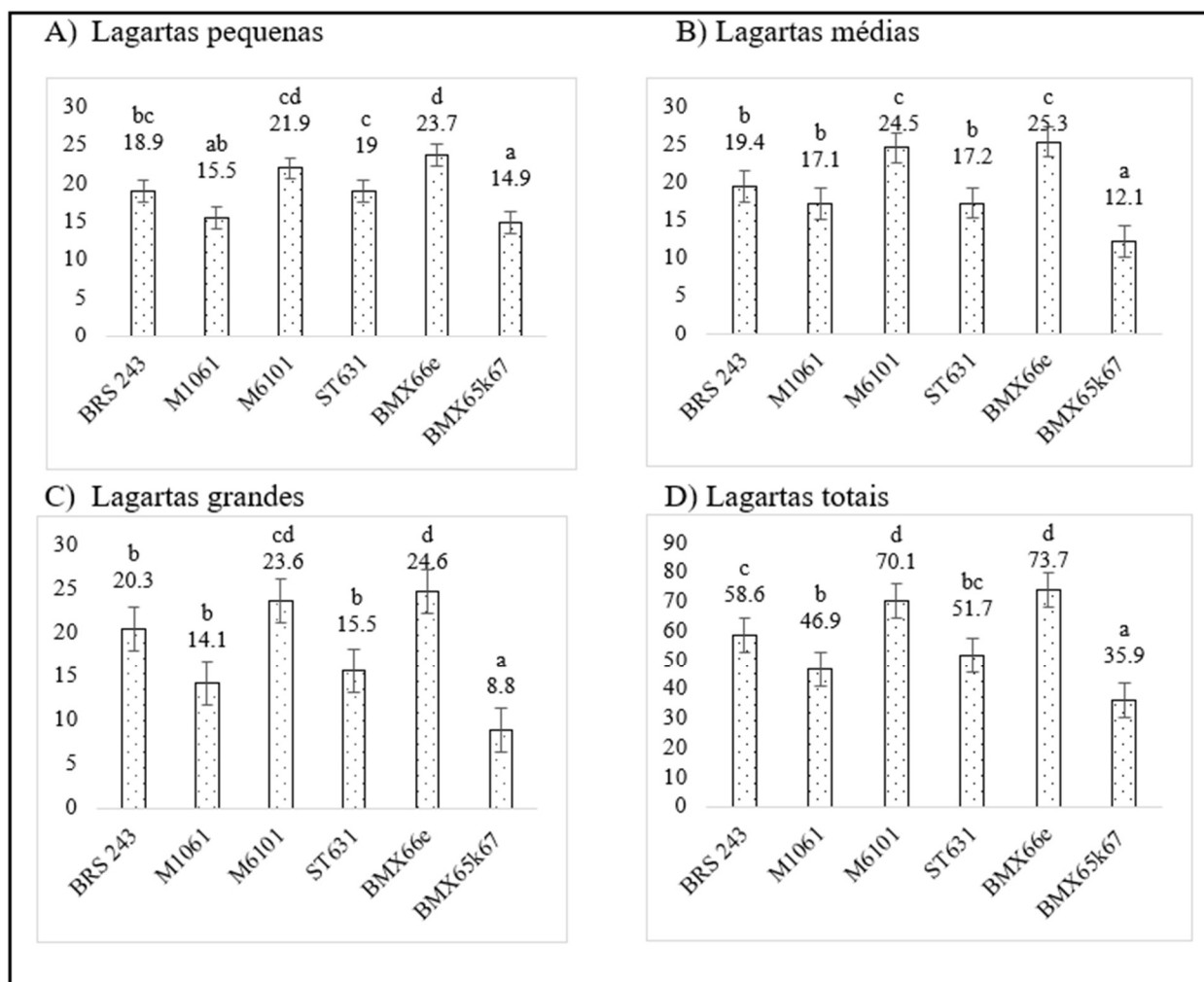


Figura 4 – Número médio de lagartas de diferentes tamanhos. A) Lagartas pequenas; B) Lagartas médias; C) Lagartas grandes; D) Lagartas totais.

A análise do desempenho agrônômico das cultivares por localidade revelou efeitos distintos das tecnologias e características genéticas das plantas, influenciadas pelas condições edafoclimáticas específicas de cada área experimental. Foram avaliadas as variáveis: Densidade de lagartas pequenas, médias, grandes e totais (Figura4) e produtividade (kg/ha), peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) (Figura 5).

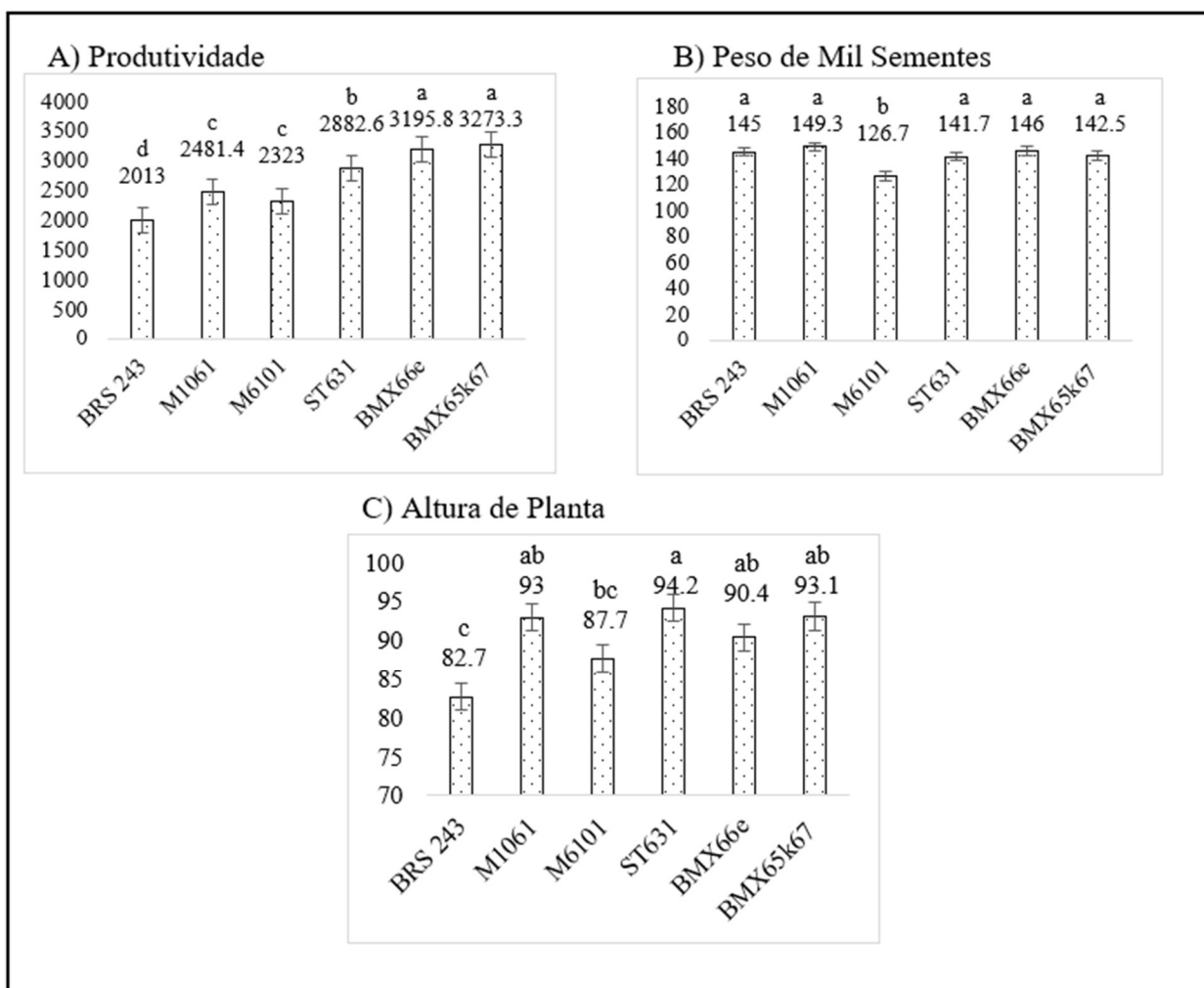


Figura 5 – Dados agrônômicos médios, Safra 23/24. A) Produtividade; B) Peso de mil sementes; C) Altura de planta.

A cultivar BMX65k67 apresentou desempenho superior em todas as localidades, tanto em termos de produtividade quanto no controle de lagartas, evidenciando a robustez da tecnologia Conkesta Enlist E3. Por outro lado, cultivares não-*Bt* como M6101 e BRS 243 mostraram vulnerabilidade consistente à infestação de lagartas, o que comprometeu sua estabilidade produtiva. A BMX66e, apesar de suscetível, destacou-se em produtividade, o que indica possível uso estratégico desde que acompanhada de MIP. (Figura 4 e 5).

Esses resultados reforçam a importância da interação entre genética, tecnologia e ambiente no desempenho agrônômico da soja, evidenciando que cultivares com eventos *Bt* piramidados

oferecem maior segurança produtiva frente à pressão de *S. frugiperda*, mesmo em ambientes distintos.

4. Discussão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram de forma consistente a eficácia da tecnologia *Bt*, em especial dos eventos piramidados, no controle de *S. frugiperda* em soja, refletindo-se diretamente em maior estabilidade agrônômica e maior produtividade. A cultivar BMX65k67, que expressa as proteínas Cry1Ac e Cry1F (evento Conkesta Enlist E3), destacou-se quanto à produtividade e ao controle da praga, confirmando a robustez da piramidação gênica como ferramenta de manejo (BERNARDI et al., 2014; NOGUEIRA, 2018).

Essa superioridade foi evidenciada pela redução média de 75% na infestação de lagartas grandes em comparação com cultivares não-*Bt*, uma vantagem da estratégia de piramidação que visa ampliar o espectro de ação e, crucialmente, retardar a evolução da resistência em populações de insetos-praga (BRAVO et al., 2011; BERNARDI et al., 2014). A abordagem de piramidação de toxinas *Bt*, com a presença simultânea de duas ou mais proteínas com modos de ação distintos, dificulta a seleção de indivíduos resistentes e amplia o espectro de controle sobre diferentes populações de lepidópteros (PIGOTT; ELLAR, 2007; BRAVO et al., 2011), sendo particularmente relevante em regiões agrícolas onde a pressão de seleção sobre *S. frugiperda* é intensificada pelo cultivo sequencial de milho e soja *Bt* (OMOTO et al., 2016).

A eficácia da cultivar BMX65k67 (Conkesta E3) pode ser atribuída à ação combinada e potencialmente sinérgica das proteínas Cry1Ac e Cry1F. A ação prolongada da proteína Cry1F, mesmo após a ingestão parcial do tecido vegetal (HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ et al., 2013), contribui para a baixa infestação de lagartas grandes. No entanto, observou-se a presença de lagartas pequenas em todas as cultivares, incluindo as *Bt*, o que sugere que a tecnologia não inibe a oviposição ou a eclosão larval, mas induz mortalidade após o início da alimentação, preservando assim a produtividade ao interromper o ciclo de danos antes que atinjam estágios mais vorazes (SANAHUJA et al. 2011).

A observação de que lagartas pequenas são encontradas igualmente em plantas *Bt* e não-*Bt*, antes que os efeitos da toxina se manifestem, possui implicações significativas para o monitoramento e a definição de níveis de ação em programas de MIP. Agricultores podem, erroneamente, interpretar a presença de lagartas pequenas em plantas *Bt* como uma falha da tecnologia, o que poderia levar a aplicações desnecessárias de inseticidas. Portanto, a educação dos agricultores sobre o modo de ação da tecnologia *Bt* é crucial, e os protocolos de monitoramento em campos *Bt* devem focar no tamanho das lagartas, em sinais de intoxicação (como crescimento retardado e redução da alimentação) e nos danos reais às plantas, em vez de meramente na presença de lagartas pequenas, para evitar intervenções prematuras que poderiam desregular populações de inimigos naturais ou aumentar a pressão de seleção para resistência a inseticidas (ANDOW, 2008; GODOY et al., 2023).

No entanto a cultivar ST631, que expressa as proteínas Cry1A.105, Cry2Ab2 e Cry1Ac, apresentou produtividade intermediária e um controle apenas moderado de lagartas grandes de *S. frugiperda*. Essa menor eficácia pode estar associada à possível resistência cruzada em populações locais de *S. frugiperda*, uma vez que estudos demonstram que a similaridade estrutural entre a proteína Cry1A.105 e a Cry1Ab pode facilitar a seleção de fenótipos resistentes (WAQUIL et al., 2013).

Recomendações da Embrapa (2022) já apontavam que esta geração de soja *Bt* teria ação parcial sobre *S. eridania* (Cramer) e não controlaria eficazmente *S. frugiperda*. Este cenário evidencia a especificidade da eficácia das diferentes toxinas *Bt* e o desafio persistente que *S. frugiperda* representa, mesmo para eventos que contêm múltiplas toxinas. Assim, a seleção da tecnologia *Bt* deve ser criteriosa e altamente específica ao complexo de pragas-alvo predominante em cada situação. Em cenários onde *S. frugiperda* é dominante, a tecnologia Intacta 2 Xtend pode requerer medidas de controle suplementares, reforçando a necessidade de um MIP robusto.

Por outro lado, cultivares não-*Bt* como M6101 e BRS 243 apresentaram infestações elevadas de lagartas grandes, comprometendo a produtividade. Esses resultados refletem o risco associado ao cultivo contínuo de genótipos suscetíveis sem proteção genética, especialmente em regiões de alta pressão da praga, como as do Mato Grosso do Sul. Em tais condições, o uso exclusivo de cultivares convencionais requer medidas rigorosas de MIP, incluindo o

monitoramento frequente da densidade populacional da praga, aplicação criteriosa de inseticidas e uso de inimigos naturais (MORALES; SILVA, 2006; CORRÊA-FERREIRA, 2012).

A cultivar BMX66e, apesar de não expressar toxinas *Bt*, apresentou elevada produtividade, particularmente em Rio Brilhante. Este desempenho pode ser atribuído a características morfofisiológicas específicas, como maior capacidade de compensação de danos foliares, arquitetura de planta eficiente ou tolerância indireta à herbivoria. Ainda assim, a elevada densidade de lagartas grandes nesta cultivar acende um alerta para os riscos de uso dessa genética sem suporte de controle adicional, como a aplicação de bioinseticidas ou defensivos químicos seletivos.

A discussão sobre a eficácia das tecnologias *Bt* não pode dissociar-se da crescente preocupação com a evolução da resistência de *S. frugiperda*. A capacidade desta praga de desenvolver resistência a proteínas *Bt* é um dos maiores desafios para a sustentabilidade das culturas transgênicas (TABASHNIK et al., 2023). No Brasil, já existem relatos de diminuição da eficácia do milho Cry1F contra *S. frugiperda* desde 2013-2014, com a resistência sendo posteriormente confirmada (FARIAS et al., 2014; OMOTO et al., 2016), e mecanismos moleculares, como mutações no transportador ABCC2, foram elucidados (BOAVENTURA et al., 2020).

Pesquisas de Machado et al. (2020) indicaram que a seleção de *S. frugiperda* para resistência ao milho *Bt* (com Cry1F individual ou piramidado) pode resultar em resistência cruzada à soja que expressa Cry1Ac e Cry1F, com insetos homozigotos resistentes apresentando desenvolvimento similar em soja Cry1Ac/Cry1F e em soja não-*Bt*. Além disso, espécies do gênero *Spodoptera*, incluindo *S. frugiperda*, exibem inerentemente baixa suscetibilidade à proteína Cry1Ac (BERNARDI et al., 2014), e o aumento de espécies de *Spodoptera* em soja Cry1Ac tem sido atribuído a essa baixa suscetibilidade natural e à redução do uso de inseticidas (HORIKOSHI et al., 2023).

Outro ponto importante foi o efeito do ambiente sobre o desempenho das cultivares. Solos argilosos, como o de Rio Brilhante, proporcionaram maiores produtividades médias, inclusive para cultivares não-*Bt*. No entanto, mesmo nesse ambiente mais favorável, a presença de altos níveis de infestação comprometeu cultivares suscetíveis. Isso reforça a importância da interação genótipo ×

ambiente $\times$ manejo, sobretudo quando se busca maximizar o rendimento e minimizar perdas causadas por pragas.

Esses achados corroboram com estudos anteriores que evidenciaram a superioridade agronômica de cultivares *Bt*, particularmente em áreas sob elevada pressão de *S. frugiperda* (WAQUIL et al., 2002; BERNARDI, 2012; CROPLIFE, 2020). Além disso, confirmam a necessidade de estratégias integradas de manejo da resistência, incluindo a adoção de áreas de refúgio, rotação de tecnologias e monitoramento de eficácia das proteínas *Bt* ao longo das safras.

A adoção de áreas de refúgio, com o plantio de no mínimo 20% da área com cultivares não-*Bt*, é fundamental para preservar alelos de suscetibilidade na população da praga e retardar a evolução da resistência (IRAC, 2013; EMBRAPA, 2022). O uso contínuo de tecnologias *Bt* sem refúgios adequados acelera a seleção de resistência, e a baixa adoção de refúgio no Brasil já levou a populações resistentes e ao aumento do uso de inseticidas (OMOTO et al., 2016; EMBRAPA, 2024).

Destaca-se que a avaliação conjunta da densidade populacional de lagartas em diferentes estágios e das variáveis agronômicas fornece uma ferramenta eficaz para a seleção de cultivares adaptadas e resilientes. A escolha de cultivares *Bt* com piramidação genética, aliada a práticas sustentáveis de manejo, representa uma das principais estratégias para garantir a produtividade e a sustentabilidade da sojicultura no Brasil.

A análise temporal da infestação revelou picos populacionais de *S. frugiperda* entre 42, 77 e 112 DAE, coincidindo com fases críticas do desenvolvimento da cultura, como o fechamento do dossel (V6–R2) e o enchimento de grãos (R5–R6). Danos foliares nessas fases podem reduzir significativamente a área fotossintética e, conseqüentemente, o peso final das sementes (HARDER et al., 1982).

Notavelmente, a cultivar BMX65k67 manteve os níveis de infestação consistentemente abaixo do Nível de Dano Econômico (NDE) estabelecido em 20 lagartas/m² (SENAR, 2018), enquanto cultivares não-*Bt* mesmo não ultrapassando esse limite se manteve superior. Este comportamento confirma a eficácia do papel da tecnologia *Bt*, especialmente dos eventos

piramidados, como uma importante "rede de segurança" em regiões tropicais, onde surtos de pragas podem ser intensos e imprevisíveis (JEGER et al., 2017).

Os resultados demonstraram claramente uma diferença no desempenho entre as cultivares de soja com eventos *Bt* simples e aquelas com eventos piramidados. A cultivar BMX65k67, que emprega a tecnologia *Bt* piramidal com as proteínas Cry1Ac e Cry1F (evento Conkesta Enlist E3), destacou-se entre as outras, apresentando uma produtividade média de 3.273,3 kg/ha e a menor infestação de lagartas grandes, o que sublinha a eficácia da piramidação gênica no controle de *S. frugiperda* e na estabilidade produtiva. Assim, a superioridade das tecnologias *Bt* piramidadas mais robustas, como a da BMX65k67, asseguram maior segurança produtiva contra a pressão de *S. frugiperda*, mesmo em ambientes distintos.

É possível notar que os resultados deste estudo oferecem importantes subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas e a atuação da extensão rural no estado de Mato Grosso do Sul, com foco na sustentabilidade da cultura da soja frente à *S. frugiperda*, a promoção e o incentivo à adoção de cultivares *Bt* piramidadas mais eficazes devem ser priorizados.

É importante fortalecer as estratégias de manejo da resistência, com ênfase na implementação das áreas de refúgio. O estudo observou que os produtores nas áreas de pesquisa não adotam áreas de refúgio estruturado para cultivares *Bt*, citando "dificuldade de manejo". Para as políticas públicas, isso implica a necessidade de campanhas de conscientização, mecanismos de fiscalização ou incentivos para o cumprimento da legislação de refúgio, que preconiza o plantio de no mínimo 20% da área com cultivares não-*Bt*.

Adicionalmente, os resultados reforçam a necessidade de um Manejo Integrado de Pragas (MIP) abrangente. A presença de lagartas pequenas em cultivares *Bt* e a eficácia variável de algumas tecnologias (como a ST631, que demonstrou apenas controle moderado de lagartas grandes) indicam que o uso de plantas *Bt* não substitui outras práticas de MIP.

A extensão rural deve capacitar os agricultores no monitoramento constante da praga, com foco no tamanho das lagartas, sinais de intoxicação (crescimento retardado, redução da alimentação) e nos danos reais à planta, em vez de meramente na presença de lagartas pequenas, para evitar aplicações desnecessárias de inseticidas.

Observando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, esta pesquisa fornece subsídios importantes e implicações diretas para a concretização de vários desses objetivos, especialmente no contexto da agricultura sustentável e da segurança alimentar no Brasil.

ODS 2 Fome Zero e Agricultura Sustentável, este é o objetivo mais diretamente impactado. O estudo focou em avaliar a performance de cultivares de soja transgênica (*Bt*) e não-*Bt* sobre a população da praga *Spodoptera frugiperda* e suas implicações agronômicas, na cultura da soja. O estudo contribui diretamente para:

- Aumentar a produtividade e a renda dos produtores ao mitigar perdas causadas por pragas, que anualmente somam bilhões de dólares globalmente e no Brasil.
- Garantir a segurança alimentar ao assegurar a estabilidade da produção de uma commodity agrícola essencial, frente aos desafios fitossanitários.
- Implementar sistemas de produção de alimentos sustentáveis através do uso de tecnologias que otimizam o manejo de pragas e reduzem a dependência de métodos mais intensivos.

ODS 12: Consumo e Produção Responsáveis, a pesquisa enfatiza o papel da tecnologia *Bt* como uma ferramenta crucial no MIP, o que pode levar à redução da necessidade de aplicações de inseticidas químicos. Isso se alinha com a gestão ambientalmente saudável de produtos químicos. O estudo também destaca a importância de estratégias de manejo da resistência, como a implementação de áreas de refúgio (mínimo de 20% da área com cultivares não-*Bt*), para preservar a longevidade da tecnologia *Bt*.

Em síntese, este trabalho se alinha aos ODS ao propor e validar soluções baseadas na ciência e tecnologia para desafios fitossanitários, visando uma agricultura mais produtiva, sustentável e economicamente viável, com reflexos positivos para o meio ambiente e a sociedade.

5. Conclusões

A cultivar BMX65k67, apresentou o melhor desempenho geral, com elevada produtividade e controle eficiente de *S. frugiperda*, contribuindo para maior estabilidade produtiva.

1. Cultivares não-*Bt*, como M6101 e BRS 243, demonstraram alta suscetibilidade à infestação por lagartas médias e grandes, devem ser acompanhadas de estratégias rigorosas no MIP.

A cultivar BMX66e, embora suscetível a *S. frugiperda*, apresentou elevada produtividade em determinadas condições edafoclimáticas.

O desempenho das cultivares variou conforme as condições de solo e clima. No entanto, o risco fitossanitário permaneceu elevado nas cultivares não-*Bt*, mesmo em condições edáficas favoráveis.

Os resultados reforçam a importância da interação entre genótipo, ambiente e tecnologia na definição de estratégias de cultivo.

A adoção de práticas sustentáveis de manejo, representa uma ferramenta eficaz para aumentar a eficiência produtiva e mitigar perdas por pragas na cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- ANDOW, D. A. The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops. **Collection of Biosafety Reviews**, Trieste, v. 4, p. 142-199, 2008. Disponível em: <http://www.icgeb.org/biosafety/publications/collections.html>. Acesso em: 28 mai 2024.
- ÁVILA, C. J.; SCHLICK-SOUZA, E. C. **Ocorrência de insetos-pragas e de seus predadores em sistemas integrados de produção de soja**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 31 p. (Documentos, 137). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162990/1/DOC2017-137-CREBIO.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.
- BERNARDI, O. **Avaliação do risco de resistência de lepidópteros-praga (Lepidoptera: Noctuidae) à proteína Cry1Ac expressa em soja MON 87701 × MON 89788 no Brasil**. 2012. 116 f. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- BERNARDI, O.; SORGATTO, R. J.; BARBOSA, A. D.; DOMINGUES, F. A.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac protein. **Crop Protection**, v. 58, p. 33-40, 2014. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.01.001.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017.
- BOAVENTURA, D.; ULRICH, J.; LUEKE, B.; BOLZAN, A.; OKUMA, D.; GUTBROD, O.; GEIBEL, S.; ZENG, Q.; DOURADO, P. M.; MARTINELLI, S.; FLAGEL, L.; HEAD, G.; NAUEN, R. Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 116, 103280, 2020. DOI: 10.1016/j.ibmb.2019.103280.
- BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, p. 423-431, 2011.
- CONAB. **Boletim da safra de grãos: 8º levantamento – Safra 2024/25**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/8o-levantamento-safra-2024-25/tabela-de-dados-producao-e-balanco-de-oferta-e-demanda-de-graos>. Acesso em: 22 maio 2025.
- CORRÊA-FERREIRA, B. S. Amostragem de pragas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (ed.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 631-672.
- CORRÊA-FERREIRA, B. S.; PANIZZU, A. R. **Percevejos da soja e seu manejo**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1999. 45 p. (Circular Técnica, 24).

CROPLIFE BRASIL. **Controle biológico faz parte do futuro da agricultura.** [São Paulo]: Croplife Brasil, 2020. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/conceitos/controle-biologico/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a produção de soja na região agrícola do Sealba.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2022. (Circular Técnica, 94).

EMBRAPA. **A importância das áreas de refúgio no manejo da resistência de insetos-praga à soja Bt no Brasil.** Londrina: Embrapa Soja, 2024. (Comunicado Técnico, 110).

FAO. IPPC SECRETARIAT. **Prevention, preparedness, and response guidelines for *Spodoptera frugiperda*.** Rome: FAO on behalf of the Secretariat of the International Plant Protection Convention, 2021.

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

GODOY, D. N. G. **Manejo de espécies de *Spodoptera* (Lepidoptera: Noctuidae) com soja Bt e inseticidas.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/29911/DIS_PPGAGRONOMIA_2023_GODOY_DANIELA.pdf?sequence=1&isAllowed=n. Acesso em: 24 maio 2025.

GOERGEN, G.; KUMAR, P. L.; SANKUNG, S. B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. **PLoS ONE**, v. 11, n. 10, e0165632, 2016.

HARDER, H. J.; CARLSON, R. E.; SHAW, R. H. Leaf photosynthetic response to foliar fertilizer applied to corn plants during grain fill. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 759-761, 1982.

HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C. S.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, P.; VAN RIE, J.; ESCRICHE, B.; FERRÉ, J. Shared midgut binding sites for Cry1A.105, Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac and Cry1Fa proteins from *Bacillus thuringiensis* in two important corn pests, *Ostrinia nubilalis* and *Spodoptera frugiperda*. **PLoS ONE**, v. 8, e68164, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0068164.

HORIKOSHI, R. J.; SILVA, M. S.; ARGENTON, F.; PEREIRA, E. J. G.; ZANDONÁ, J. B.; ROCHA, R. B.; CHRISTOFOLETI, P. J.; GIONGO, A. V.; OMOTO, C. Dose Effects of Flubendiamide and Thiodicarb against *Spodoptera* Species Developing on Bt and Non-Bt Soybean. **Insects**, v. 14, n. 10, 797, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10532366/>. Acesso em: 24 maio 2025.

IRAC-BR. **Manejo da Resistência de *Spodoptera frugiperda* a Inseticidas e Plantas Bt.** [S.l.]: Comitê Brasileiro de Ação a Resistência a Inseticidas, 2013. Disponível em: <https://irac-online.org/documents/resistencia-de-S.-frugiperda/?ext=pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.

ISAAA. **Breaking Barriers with Breeding: A Primer on New Breeding Innovations for Food Security**. [S.l.], 2021. (ISAAA Brief, 56).

JEGER, M.; BRAGARD, C.; CAFFIER, D.; CANDRESSE, T.; CHATZIVASSILIOU, E.; DEHNEN-SCHMUTZ, K. Pest categorisation of *Spodoptera frugiperda*. **EFSA Journal**, v. 15, n. 11, p. e05063, 2017.

MACHADO, E. P.; RODRIGUES JUNIOR, G. L. dos S.; FÜHR, F. M.; et al. Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on Bt maize to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 10080, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-67339-1.

MEROTTO JUNIOR, A.; VIDAL, R. A. (org.). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2009/2010**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

MORALES, L.; SILVA, M. T. B. da. Desafios do MIP Soja na região sul do Brasil e o plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. p. 134-139.

NOGUEIRA, L. S. **Estratégia de mistura de sementes em eventos de milho Bt “piramidado” a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2018. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

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

PIGOTT, C. R.; ELLAR, D. J. Role of Receptors in *Bacillus thuringiensis* Crystal Toxin Activity. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 71, n. 2, p. 255-281, 2007. DOI: 10.1128/MMBR.00034-06.

SANAHUJA, G.; BANAKAR, R.; TWYMAN, R. M.; CAPELL, T.; CHRISTOU, P. *Bacillus thuringiensis*: a century of research, development and commercial applications. **Plant Biotechnology Journal**, v. 9, p. 283-300, 2011.

SENAR – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Grãos: Manejo Integrado de Pragas (MIP) em soja, milho e sorgo**. 2. ed. Brasília, DF: SENAR, 2018.

TABASHNIK, B. E.; FABRICK, J. A.; CARRIÈRE, Y. Global patterns of insect resistance to transgenic Bt crops: The first 25 years. **Journal of Economic Entomology**, v. 116, n. 1, p. 297–309, 2023. DOI: 10.1093/jee/toac183.

WAQUIL, J. M.; DOURADO, P. 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, DF, v. 48, n. 12, p. 1529–1537, 2013.

WAQUIL, J. M.; VILLELA, F. M. F.; FOSTER, J. E. Resistência do milho (*Zea mays* L.) transgênico (Bt) a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 3, p. 1-11, 2022. DOI: 10.18512/rbms.v1i3.1248.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou de forma consistente o impacto significativo da tecnologia *Bt*, especialmente quando utilizada em cultivares com piramidação gênica, no manejo de *S. frugiperda* na cultura da soja e nas consequentes implicações agronômicas.

A cultivar BMX65k67, que expressa as proteínas Cry1Ac e Cry1F, consistentemente apresentou o melhor desempenho global nas três localidades avaliadas (Rio Brilhante, Dourados e Ponta Porã). Esta cultivar não apenas alcançou as maiores produtividades, como 3.305 kg/ha em Rio Brilhante, mas também demonstrou um controle eficaz de *S. frugiperda*, especialmente das lagartas grandes (>1,5 cm), que são as mais danosas ao cultivo.

Cultivares não-*Bt*, como a M6101, e a convencional BRS 243, mostraram alta suscetibilidade à infestação por *S. frugiperda*, resultando em densidades populacionais elevadas da praga e, consequentemente, em produtividades significativamente inferiores. A cultivar BMX66e, embora não-*Bt*, apresentou alta produtividade em Rio Brilhante (3.437,5 kg/ha), mas também enfrentou infestações críticas de lagartas grandes (28,75 unidades).

Observou-se que nem todas as tecnologias *Bt* performaram igualmente. A cultivar ST631 (Intacta 2 Xtend), embora *Bt*, apresentou um controle apenas moderado de lagartas grandes e produtividade intermediária. Mostrando a importância da escolha específica da tecnologia *Bt* e levanta a discussão sobre a possível ocorrência de resistência cruzada ou variação na suscetibilidade de populações locais de *S. frugiperda* a diferentes toxinas Cry.

O desempenho das cultivares foi influenciado pelas condições de solo e clima de cada localidade. Rio Brilhante, com solo argiloso, proporcionou as maiores produtividades médias. Contudo, mesmo em ambientes mais favoráveis, as cultivares suscetíveis permaneceram vulneráveis à praga, sublinhando que a tecnologia genética de resistência é um componente crucial independente das condições ambientais ideais para o desenvolvimento da cultura.

Os resultados fornecem subsídios importantes para agricultores e técnicos na escolha de cultivares de soja, destacando a superioridade de tecnologias *Bt* piramidadas em áreas com

histórico de alta pressão de *S. frugiperda*. A seleção deve considerar não apenas o potencial produtivo, mas também o espectro de ação da tecnologia *Bt* contra as pragas-chave predominantes na região.

A presença de lagartas pequenas mesmo em cultivares *Bt* e a variabilidade na eficácia de algumas tecnologias reforçam que o uso de plantas *Bt* não exclui a necessidade de outras práticas de MIP. O monitoramento constante da praga, a adoção de áreas de refúgio para retardar a evolução da resistência, e o uso criterioso de inseticidas quando necessário, continuam sendo fundamentais.

A menor eficácia observada em algumas cultivares *Bt* serve como um alerta para o risco contínuo de evolução da resistência de *S. frugiperda* às proteínas Cry. É crucial o monitoramento da suscetibilidade das populações da praga às diferentes tecnologias *Bt* disponíveis no mercado.

A adoção de cultivares *Bt* eficazes, como a BMX65k67, pode contribuir para a redução do uso de inseticidas, com potenciais benefícios ambientais e econômicos, além de mitigar perdas de produtividade, aumentando a estabilidade e a sustentabilidade da produção de soja.

ANEXOS

Anexo 1 Caracterização dos locais dos ensaios conduzidos e suas respectivas datas de semeadura e colheita.

Ensaio	Local	Época de semeadura	Data	
			Semeadura	Colheita
1	Ponta Porã - MS	Safra	19/10/2023	23/02/2024
2	Dourados - MS	Safra	10/10/2023	12/03/2024
3	Rio Brilhante - MS	Safra	13/10/2023	19/03/2024

Anexo 2 - . Média $\pm$ Erro Padrão para produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Dourados – MS, Ponta Porã e Rio Brilhante-MS

TRAT.	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
BRS 243	2013.0 $\pm$	145.0 $\pm$	82.75 $\pm$	18.92 $\pm$	19.42 $\pm$	20.33 $\pm$	58.67 $\pm$
	86.98d	2.59a	1.38c	1.03bc	1.55b	1.25c	2.7c
M1061	2481.42 $\pm$	149.33 $\pm$	93.08 $\pm$	15.58 $\pm$	17.17 $\pm$	14.17 $\pm$	46.92 $\pm$
	77.58c	1.65a	1.16ab	1.03ab	0.95b	1.34b	2.68b
M6101	2323.08 $\pm$	126.75 $\pm$	87.75 $\pm$	21.92 $\pm$	24.58 $\pm$	23.67 $\pm$	70.17 $\pm$
	42.52c	3.07b	1.84bc	1.13cd	1.2c	1.62cd	3.15d
ST631	2882.67 $\pm$	141.75 $\pm$	94.25 $\pm$	19.0 $\pm$	17.25 $\pm$	15.5 $\pm$	51.75 $\pm$
	50.07b	2.18a	1.62a	0.7bc	0.86b	0.98b	1.92bc

BMX66e	3195.83 ±	146.08 ±	90.42 ±	23.75 ±	25.33 ±	24.67 ±	73.75 ±
	67.53a	2.54a	1.44ab	1.55d	1.11c	1.53d	3.14d
BMX65k6 7	3273.33 ±	142.58 ±	93.17 ±	14.92 ±	12.17 ±	8.83 ±	35.92 ±
	34.89a	2.18a	1.34ab	0.8a	1.19a	0.81a	2.28a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 3 Valores médios por localidade para produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Dourados – MS, Ponta Porã – MS e Rio Brilhante - MS.

LOCAIS	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
DOURA DOS	2515.7c	139.9a	86.7b	17.6a	18.3a	16.2a	52.1a
PONTA PORÃ	2713.1b	142.9a	91.7a	18.0a	17.41a	15.6a	51.0a
RIO BRILHA NTE	2855.8 a	142.9a	92.2a	21.46b	22.2b	21.7b	65.3b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 4 – Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Ponta Porã-MS.

Data		20/10/2	27/10/2	03/11/2	10/11/2	17/11/2	24/11/2	01/12/2	08/12/2	15/12/2	22/12/2	29/12/2
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		VE/VC	V1/V2	V3/V4	V5/V6	V7/R1	R1	R1/R2	R2	R2/R3	R3	R3/R4
Trat	Lagart	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.	DAE.
.	a	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
1	P	0	0	0	0.5	2.75	1	1.25	0.25	1.25	2	2
1	M	0	0	0	0.25	2	1.5	1	0.25	1.25	2.25	1.5
1	G	0	0	0	0.5	2	1	1.25	0.75	1.75	1.75	1.25
2	P	0	0	0	0.25	1.25	0.75	1	0.5	0.5	1.75	2
2	M	0	0	0	0.5	1.75	0.75	1.25	0.75	1	1.5	0.75
2	G	0	0	0	0.25	1.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1	0.75
3	P	0	0	0	0.5	2.5	1.25	1	0.75	1	2.25	1.75
3	M	0	0	0	0.75	2.5	1.75	0.75	0.5	1.25	2.5	1.25

3	G	0	0	0	0	0.25	1.5	1.5	0.5	0.75	1.5	2
4	P	0	0	0	0.25	1.5	0.75	1	0.75	0.75	2	1.5
4	M	0	0	0	0.25	2.75	0.75	1.25	0.5	0.75	1.25	1.25
4	G	0	0	0	0.25	1.75	0.75	1.25	0.75	0.75	1.5	0.75
5	P	0	0	0	1	2	1.25	1.5	0.5	1	2.5	2
5	M	0	0	0	0.75	2	2	1.25	1	1.5	2.5	1.5
5	G	0	0	0	0.25	2.25	1	1.25	0.75	1.75	2	2.25
6	P	0	0	0	0.25	1	1	1	0.5	0.75	1.5	1
6	M	0	0	0	0.5	1	0.75	0.25	0.5	0.75	0.75	0.75
6	G	0	0	0	0	0.75	0.5	0.25	0.25	0.5	0.5	0.25
Total P		0	0	0	2.75	11	6	6.75	3.25	5.25	12	10.25
Total M		0	0	0	3	12	7.5	5.75	3.5	6.5	10.75	7
Total G		0	0	0	1.25	8.75	5.5	6.25	3.75	6.25	8.25	7.25
Total Total		0	0	0	7	31.75	19	18.75	10.5	18	31	24.5
Temp.		26.4	20.4	29.4	29.0	27.8	24.8	30.0	24.1	22.3	23.2	22.6
U%		56.4	69.6	48.8	52.1	59.8	39.3	47.8	83.0	86.3	87.2	76.8
Pluv.		0.0	9.6	0.0	27.8	27.0	44.0	5.6	2.4	40.4	30.8	74.0

Continua

Continuação Anexo 4 – Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Ponta Porã-MS.

		05/01/ 24	12/01/ 24	19/01/ 24	26/01/ 24	02/02/ 24	09/02/ 24	16/02/ 24	23/02/ 24	01/03/ 24
		R4/R5 .1	R5.2	R5.4	R6	R6	R7.1	R7.1	R7.3	R8
Tra t.	Lagar ta	DAE 84	DAE 91	DAE 98	DAE 105	DAE 112	DAE 119	DAE 126	DAE 133	DAE 140
1	P	0.75	1.5	1.25	0.75	2.25	1	0.25	0	0
1	M	1.5	1	1	1	1.25	1.25	0.5	0	0
1	G	1.25	1.5	1.75	1.25	0.75	1	0.25	0	0
2	P	1	1	0.75	0.75	2.25	0.25	0.25	0	0
2	M	1	1.25	1	1	1.75	1.5	0.25	0	0
2	G	1	1.5	0.5	1	0.5	0.75	0.25	0	0
3	P	1	1.5	1.75	0.75	3	1.75	0.5	0	0
3	M	1.25	1.5	0.75	1.5	2.25	2	0.75	0	0
3	G	1.75	1.75	1.75	1.75	1.5	1.5	1.75	0.25	0
4	P	1	1.75	0.5	1	3	1.5	0.25	0	0
4	M	0.75	0.75	0.25	0.75	2	1.5	0.75	0	0
4	G	1	0.75	0.75	1	1.5	0.75	0.25	0	0
5	P	0.5	1.5	1.5	0.75	3.5	2.75	0.25	0	0
5	M	1.5	1.5	1.25	2	2.75	2	0.25	0	0

5	G	2	1.75	1.5	2	1.75	1.5	0.75	0	0
6	P	1	1	0.5	1.25	1	0.75	0.75	0	0.5
6	M	0.75	1	0.5	0.75	1	1	0.25	0	0
6	G	1	0.5	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
	Total P	5.25	8.25	6.25	5.25	15	8	2.25	0	0.5
	Total M	6.75	7	4.75	7	11	9.25	2.75	0	0
	Total G	8	7.75	7	7.5	6.5	6	3.75	0.25	0
	Total Total	20	23	18	19.75	32.5	23.25	8.75	0.25	0.5
	Temp	27.4	25.4	25.2	29.1	27.6	23.3	27.3	26.5	26.9
	U%	62.1	75.2	73.2	59.6	69.0	84.4	40.4	62.5	67.3
	Pluv.	14.0	21.6	30.4	66.0	43.2	34.4	1.4	0.6	15.8

Anexo 5 - Quadrado médio da produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Ponta Porã - MS.

FV	QUADRADO MÉDIO						
	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
TRAT	1084214*	659.77*	115.042*	51.000 ^{NS}	86.667*	128.467*	749.87*
BLOCO	1712	85.61	13.819	9.111	15.722	12.556	18.28
RESIDUO	6985	24.54	22.553	15.044	9.689	10.089	30.64
C.V%	3.08	3.47	5.18	21.55	17.87	20.27	10.84
SHAPPIRO	0.76	0.17	0.86	0.37	0.13	0.97	0.67
O'Neill e Mathews	0.31	0.33	0.67	0.49	0.66	0.77	0.55

ns: não significativo. *: significativo a 5 de probabilidade pelo teste F. CV (%): Coeficiente de Variação.

Anexo 6 - Valores médios para produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Ponta Porã - MS, safra 2023/24, em Ponta Porã - MS.

TRATAMENTOS	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
-------------	-------	-----	------	--------	--------	--------	--------

BRS 243	1913.7d	141.2b	84.25c	18.7a	17.5abc	18.0bcd	54.2bc
M1061	2447.5c	151.2ab	93.25abc	14.2a	16.0ab	12.2ab	42.5ab
M6101	2505.0c	119.0c	85.75bc	21.2a	21.2bc	20.0cd	62.5cd
ST631	2937.5b	142.2b	96.75a	17.5a	15.5ab	13.7abc	46.75b
BMX66e	3020.5a	155.0a	94.25abc	22.5a	23.7c	22.7d	69.0d
BMX65k67	3270.0a	148.7ab	96ab	13.7a	10.5a	7.2a	31.5a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 7 - Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Dourados-MS.

		23/10 /23	30/10 /23	06/11 /23	13/11 /23	20/11 /23	27/11 /23	04/12 /23	11/12 /23	18/12 /23	25/12 /23	01/01 /24
		VE/V C	V1/V 2	V3/V 4	V5/V 6	V7/R 1	R1	R1/R 2	R2	R2/R 3	R3	R3/R 4
Tr at.	Laga rta	DAE. 7	DAE. 14	DAE. 21	DAE. 28	DAE. 35	DAE. 42	DAE. 49	DAE. 56	DAE. 63	DAE. 70	DAE. 77
1	P	0	0	0	0.75	1	1	1.25	0.25	0.5	1.5	2
1	M	0	0	0	0.5	1.25	1.5	1	0.25	1	1.75	1.5
1	G	0	0	0	0	0.5	0.5	1.25	0.75	1.5	1.75	2.25
2	P	0	0	0	0.25	0.5	0.75	1	0.5	0.5	1.75	2
2	M	0	0	0	0	1	0.75	1.25	0.75	1	1.25	0.75
2	G	0	0	0	0	0.25	0.75	0.75	0.75	1.25	1	1.25
3	P	0	0	0	1	1.5	1.25	1	0.75	0.5	1.75	1.75
3	M	0	0	0	0.75	1.5	1.75	0.75	0.5	1	1.5	2
3	G	0	0	0	0	0	0.25	0.5	0.5	0.75	1.5	1.5
4	P	0	0	0	0.5	0.75	0.75	1	0.75	0.75	2	1.5
4	M	0	0	0	0.5	1.75	0.75	1.25	0.5	0.75	1.25	1.25
4	G	0	0	0	0	0.5	0.25	1.25	0.75	1.5	1.5	0.75
5	P	0	0	0	0.25	1.25	1.25	1.5	0.5	0.5	1.75	2
5	M	0	0	0	0.5	1.25	2	1.25	1	1	1.75	1.75
5	G	0	0	0	0	1	0.25	1.25	0.75	1.5	1.75	2
6	P	0	0	0	0.25	0.5	1	1	0.5	0.75	1.5	1
6	M	0	0	0	0.25	0.75	0.75	0.25	0.5	0.75	0.75	0.75
6	G	0	0	0	0	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5
	Tota l P	0	0	0	3	5.5	6	6.75	3.25	3.5	10.25	10.25
	Tota l M	0	0	0	2.5	7.5	7.5	5.75	3.5	5.5	8.25	8

Tota l G	0	0	0	0	2.75	2.25	5.25	3.75	6.75	8	8.25
Tota l	0	0	0	5.5	15.75	15.75	17.75	10.5	15.75	26.5	26.5
Tota l											
Tem p.	30.9	25.1	30.9	24.8	24.3	27.4	27.0	27.6	24.3	23.9	27.1
U%	52.4	61.4	48.0	77.2	86.0	39.2	72.3	69.0	86.8	87.7	69.2
Pluv	0.0	75.6	0.0	89.2	115.6	12.4	23.6	3.2	92.4	23.0	30.2
.											

continua

Continuação Anexo 7 - Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Dourados-MS.

		08/01/ 24	15/01/ 24	22/01/ 24	29/01/ 24	05/02/ 24	12/02/ 24	19/02/ 24	26/02/ 24	04/03/ 24
		R4/R5 .1	R5.2	R5.4	R6	R6	R7.1	R7.1	R7.3	R8
Tra t.	Lagar ta	DAE 84	DAE 91	DAE 98	DAE 105	DAE 112	DAE 119	DAE 126	DAE 133	DAE 140
1	P	0.75	1.5	0.5	0.75	2.25	1	0.75	1	0
1	M	1.5	1.75	1	1.5	1.25	1.25	1	1.25	0
1	G	1.75	2	1.5	1.75	1.25	1	0.75	0.25	0
2	P	1	1	0.75	0.75	2.25	0.25	0.75	0.5	0
2	M	1.5	1.25	1.5	1	1.75	1.5	0.5	0.25	0
2	G	1	1.5	0.25	1	0.5	0.75	0.75	0.5	0
3	P	1	1.5	1	0.75	3	1.75	1	1	0
3	M	1.5	2.5	1.75	2.25	2.25	2	1.25	0.75	0
3	G	2.25	2.75	2.5	1.75	2	2	1.75	1.75	0.5
4	P	1	1.75	0.5	1	3	1.5	1.25	0.75	0
4	M	1	0.75	0.25	0.75	2	1.5	0.75	0.75	0
4	G	1	0.75	1.5	1	1.5	0.75	0.75	0.5	0
5	P	0.5	1.5	1	0.75	3.5	2.75	1	2	0
5	M	1.25	1.5	2.25	2.75	2.75	1.5	1.25	0.75	0
5	G	2	2	2.5	2.25	1.75	1.5	1.5	0.5	0
6	P	1	1	0.5	1.25	1	0.75	0.75	0.5	0
6	M	1	1	0.5	0.75	1	1	0.5	0.25	0
6	G	1	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0
	Total P	5.25	8.25	4.25	5.25	15	8	5.5	5.75	0
	Total M	7.75	8.75	7.25	9	11	8.75	5.25	4	0
	Total G	9	9.75	9	8.25	7.5	6.5	6	3.75	0.5

Total	22	26.75	20.5	22.5	33.5	23.25	16.75	13.5	0.5
Total									
Temp	27.1	24.0	24.2	29.8	27.3	22.9	28.3	27.5	27.8
.									
U%	73.3	80.3	85.2	66.2	80.2	88.5	46.8	64.0	69.8
Pluv.	0.4	38.0	32.0	0.0	30.2	24.2	0.2	3.8	28.6

Anexo 8 - Quadrado médio da produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Dourados - MS.

FV	QUADRADO MÉDIO						
	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
TRAMENTO	1219302*	283.07 ^{ns}	73.042 ^{ns}	46.675*	112.167*	145.842*	831.47*
BLOCO	37609	49.5	13.486	8.375	22.556	63.597	120.11
RESIDUO	20774	38.4	27.753	9.142	11.656	10.264	31.31
C.V%	5.73	4.43	6.07	17.15	18.62	19.77	10.73
SHAPPIRO	0.49	0.26	0.36	0.58	0.33	0.27	0.23
O'Neill e Mathews	0.92	0.77	0.09	0.04	0.53	0.51	0.37

ns: não significativo. *: significativo a 5 de probabilidade pelo teste F. CV (%): Coeficiente de Variação.

Anexo 9 - Valores médios para produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Ponta Porã - MS, safra 2023/24, em Dourados - MS.

TRATAMENTOS	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
BRS 243	1747.7d	144.2a	78.7a	16.7abc	19.0bc	18.7bc	54.5bc
M1061	2191.7c	147.5a	89.7a	14.5ab	16.0ab	12.2ab	42.7ab
M6101	2246.7c	124.0b	86.7a	20.5bc	24.0c	22.2c	66.7cd
ST631	2718.0b	140.0a	90.5a	18.7abc	15.7ab	14.2ab	48.7cd
BMX66e	2945.0ab	144.7a	86.2a	22.0c	24.5c	22.5c	69.0d
BMX65k67	3245.0a	139.0a	88.7a	13.2a	10.7a	7.2a	31.2a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 10 -Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Rio Brilhante-MS.

		23/1 0/23	30/1 0/23	06/1 1/23	13/1 1/23	20/1 1/23	27/1 1/23	04/1 2/23	11/1 2/23	18/1 2/23	25/1 2/23	01/0 1/24
		VE/ VC	V1/ V2	V3/ V4	V5/ V6	V7/R 1	R1	R1/R 2	R2	R2/R 3	R3	R3/R 4
Tr at.	Lag arta	DAE . 7	DAE . 14	DAE . 21	DAE . 28	DAE . 35	DAE . 42	DAE . 49	DAE . 56	DAE . 63	DAE . 70	DAE 77
1	P	0	0	0	0.75	1	1.25	1.25	1.25	0.75	2	2.5
1	M	0	0	0	0.75	1.5	1	1.25	1.5	1	2	1.5
1	G	0	0	0	0.5	1	0.75	1.5	1.25	1.75	2.25	2.5
2	P	0	0	0	0.75	1.5	1.25	1.25	0.75	0.75	1.75	2.25
2	M	0	0	0	0.75	0.75	1.5	1.75	1.25	1	1.75	1
2	G	0	0	0	0.5	0.75	1.25	1	1.25	1.5	1.5	2
3	P	0	0	0	1	1.5	1	1.5	1.5	1.25	1.5	2.25
3	M	0	0	0	1	1.75	1.5	1.75	1.5	2	2	2.25
3	G	0	0	0	0	0.25	0.5	1	1	1.5	2.25	2.5
4	P	0	0	0	0.75	1	1	0.75	1.25	1.25	2	1.75
4	M	0	0	0	1.25	2	1.25	1.25	1	1.25	1.5	1.5
4	G	0	0	0	0.5	0.75	0.75	1.5	1	2.25	1.75	1
5	P	0	0	0	1	1.25	1.5	2	1	1.25	2	2.25
5	M	0	0	0	0.75	1.5	1.5	1.5	1.75	1.25	2.25	2
5	G	0	0	0	0.25	1.5	1.25	1.25	1.5	2.75	2.25	2.5
6	P	0	0	0	0.5	0.5	1.5	0.75	1	1.25	1.5	2.25
6	M	0	0	0	0.5	1	1	0.5	1	1	1.25	1.25
6	G	0	0	0	0	0.75	0.75	0.75	1	1	0.75	1
	Tota l P	0	0	0	4.75	6.75	7.5	7.5	6.75	6.5	10.7 5	13.2 5
	Tota l M	0	0	0	5	8.5	7.75	8	8	7.5	10.7 5	9.5
	Tota l G	0	0	0	1.75	5	5.25	7	7	10.7 5	10.7 5	11.5
	Tota l Tota l Tem p. U%	0	0	0	11.5	20.2 5	20.5	22.5	21.7 5	24.7 5	32.2 5	34.2 5
		29.2	21.0	25.0	27.0	25.7	27.0	31.4	24.4	27.0	26.6	30.2
		50.8	73.5	68.5	73.2	74.8	70.2	50.6	91.6	48.8	79.2	66.2

Pluv	0.6	156.4	35.4	54.89	36.4	3.4	20	12.2	81	21.6	6.2
------	-----	-------	------	-------	------	-----	----	------	----	------	-----

Continuação Anexo 10 - Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Rio Brilhante-MS.

		08/01/ 24	15/01/ 24	22/01/ 24	29/01/ 24	05/02/ 24	12/02/ 24	19/02/ 24	26/02/ 24	04/03/ 24
		R4/R5 .1	R5.2	R5.4	R6	R6	R7.1	R7.1	R7.3	R8
Tra t.	Lagar ta	DAE 84	DAE 91	DAE 98	DAE 105	DAE 112	DAE 119	DAE 126	DAE 133	DAE 140
1	P	1	1.75	1	1	2.25	1.75	0.75	1	0
1	M	1.75	2.25	1.25	1.5	1.25	1.25	1	1.25	0
1	G	2.25	2	2	2	2.25	1	0.75	0.5	0
2	P	1.25	1.25	1	1	1.5	0.25	0.75	0.75	0
2	M	1.5	1.5	1.5	1	1.75	1.5	0.5	0.5	0
2	G	1.5	2	1	0.75	0.75	0.75	1	0.5	0
3	P	1.25	1.75	1.5	1	2.5	2.5	1	1	0
3	M	1.5	2.5	2.25	2.25	2.25	2	1.25	0.75	0
3	G	3	2.75	2.75	2	2.25	2	2.25	1.75	1
4	P	1.25	1.75	1.5	1.25	1.75	1.5	1.25	0.75	0
4	M	1.5	1	1	1	2	1.5	0.75	0.75	0
4	G	1.75	1.5	1.25	1	1.5	0.75	0.75	0.5	0
5	P	0.5	2	1.75	1	3.5	2.75	1	2	0
5	M	2	1.75	2.5	2.5	2.75	1.5	1.25	1	0
5	G	1.5	2.5	2	2.5	2.5	2.25	1.5	0.75	0
6	P	1.5	1.25	1	1.5	1	1	0.75	0.5	0
6	M	1.5	1.25	0.75	1.5	1	1	0.5	0.25	0
6	G	1.25	1.25	1	0.75	0.5	0.5	0.5	0.25	0
	Total P	6.75	9.75	7.75	6.75	12.5	9.75	5.5	6	0
	Total M	9.75	10.25	9.25	9.75	11	8.75	5.25	4.5	0
	Total G	11.25	12	10	9	9.75	7.25	6.75	4.25	1
	Total Total	27.75	32	27	25.5	33.25	25.75	17.5	14.75	1
	Temp	28.1	30.2	27.2	26.8	28.6	23.4	27.6	25.7	28.4
	U%	69.6	51.4	73.3	67.5	75.8	72.1	61.9	76.8	62.8
	Pluv.	2.6	12.2	54	48.6	47.8	26	23.4	48.8	2.6

Anexo 11 - Quadrado médio da produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Rio Brilhante - MS.

FV	QUADRADO MÉDIO						
	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
TRATAMENTOS	808430*	114.86	69.04*	48.56NS	103.34*	179.14*	895.47*
BLOCO	40317	129.167	2.708	7.611	13.486	12.819	34.78
RESIDUO	55450	78.133	21.108	16.678	17.786	11.786	77.71
C.V%	8.13	6.18	4.98	19.07	18.99	15.81	13.49
SHAPPIRO	0.0001	0.33	0.76	0.99	0.12	0.29	0.96
O'Neill e Mathews	0.004	0.42	0.32	0.02	0.06	0.84	0.04

ns: não significativo. *: significativo a 5 de probabilidade pelo teste F. CV (%): Coeficiente de Variação.

Anexo 12 - Valores médios para produtividade (PROD) em Kg/há, peso de mil sementes (PMS), altura de plantas (ALT) em centímetros, lagartas pequenas (LAG. P) em unidade, lagartas médias (LAG. M) em unidade, lagartas grandes (LAG. G) em unidade e lagartas totais (LAG. T) em unidade, realizado em Ponta Porã - MS, safra 2023/24, em Rio Brilhante - MS.

TRATAMENTOS	PROD.	PMS	ALT.	LAG. P	LAG. M	LAG. G	LAG. T
BRS 243	2627.5cd	149.5a	85.25b	21.25a	21.75ab	24.25bc	67.25bc
M1061	2805bc	149.25a	96.25a	18a	19.5ab	18ab	55.5ab
M6101	2217.5d	137.25a	90.75ab	24a	28.5b	28.75c	81.25c
ST631	2992.5abc	143a	95.5ab	20.75a	20.5ab	18.5ab	59.75ab
BMX66e	3437.5a	138.5a	90.75ab	26.75a	27.75b	28.75c	83.25c
BMX65k67	3305ab	140a	94.75ab	17.75a	15.25a	12a	45a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 13. Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Dourados – MS, Ponta Porã e Rio Brilhante-MS.

Trat.	Lagarta	DAE. 7	DAE. 14	DAE. 21	DAE. 28	DAE. 35	DAE. 42	DAE. 49	DAE. 56	DAE. 63	DAE. 70
		VE/V C	V1/V 2	V3/V 4	V5/V 6	V7/R 1	R1	R1/R 2	R2	R2/R 3	R3
T1	P	0.00	0.00	0.00	2.00	4.75	3.25	3.75	1.75	2.50	5.50
T1	M	0.00	0.00	0.00	1.50	4.75	4.00	3.25	2.00	3.25	6.00
T1	G	0.00	0.00	0.00	1.00	3.50	2.25	4.00	2.75	5.00	5.75
T2	P	0.00	0.00	0.00	1.25	3.25	2.75	3.25	1.75	1.75	5.25
T2	M	0.00	0.00	0.00	1.25	3.50	3.00	4.25	2.75	3.00	4.50
T2	G	0.00	0.00	0.00	0.75	2.75	2.75	2.50	2.75	3.50	3.50
T3	P	0.00	0.00	0.00	2.50	5.50	3.50	3.50	3.00	2.75	5.50
T3	M	0.00	0.00	0.00	2.50	5.75	5.00	3.25	2.50	4.25	6.00
T3	G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	2.25	3.00	2.00	3.00	5.25
T4	P	0.00	0.00	0.00	1.50	3.25	2.50	2.75	2.75	2.75	6.00
T4	M	0.00	0.00	0.00	2.00	6.50	2.75	3.75	2.00	2.75	4.00
T4	G	0.00	0.00	0.00	0.75	3.00	1.75	4.00	2.50	4.50	4.75
T5	P	0.00	0.00	0.00	2.25	4.50	4.00	5.00	2.00	2.75	6.25
T5	M	0.00	0.00	0.00	2.00	4.75	5.50	4.00	3.75	3.75	6.50
T5	G	0.00	0.00	0.00	0.50	4.75	2.50	3.75	3.00	6.00	6.00
T6	P	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00	3.50	2.75	2.00	2.75	4.50
T6	M	0.00	0.00	0.00	1.25	2.75	2.50	1.00	2.00	2.50	2.75
T6	G	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.50	1.25	1.50	1.75	1.75

Legenda: T1: BRS 243, T2: M1061, T3: M6101, T4: ST631, T5: BMX66e, T6: BMX65k67.

Continua

Continuação Anexo 13 Dados médios de amostragem de lagartas pequenas (P), médias (M) e grandes (G) em Dourados – MS, Ponta Porã e Rio Brilhante-MS

Trat.	Lagarta	DAE 77	DAE 84	DAE 91	DAE 98	DAE 105	DAE 112	DAE 119	DAE 126	DAE 133	DAE 140
		R3/R 4	R4/R 5.1	R5.2	R5.4	R6	R6	R7.1	R7.1	R7.3	R8
T1	P	6.50	2.50	4.75	2.75	2.50	6.75	3.75	1.75	2.00	0.00
T1	M	4.50	4.75	5.00	3.25	4.00	3.75	3.75	2.50	2.50	0.00
T1	G	6.00	5.25	5.50	5.25	5.00	4.25	3.00	1.75	0.75	0.00
T2	P	6.25	3.25	3.25	2.50	2.50	6.00	0.75	1.75	1.25	0.00
T2	M	2.50	4.00	4.00	4.00	3.00	5.25	4.50	1.25	0.75	0.00
T2	G	4.00	3.50	5.00	1.75	2.75	1.75	2.25	2.00	1.00	0.00
T3	P	5.75	3.25	4.75	4.25	2.50	8.50	6.00	2.50	2.00	0.00
T3	M	5.50	4.25	6.50	4.75	6.00	6.75	6.00	3.25	1.50	0.00
T3	G	6.00	7.00	7.25	7.00	5.50	5.75	5.50	5.75	3.75	1.50
T4	P	4.75	3.25	5.25	2.50	3.25	7.75	4.50	2.75	1.50	0.00
T4	M	4.00	3.25	2.50	1.50	2.50	6.00	4.50	2.25	1.50	0.00
T4	G	2.50	3.75	3.00	3.50	3.00	4.50	2.25	1.75	1.00	0.00

T5	P	6.25	1.50	5.00	4.25	2.50	10.50	8.25	2.25	4.00	0.00
T5	M	5.25	4.75	4.75	6.00	7.25	8.25	5.00	2.75	1.75	0.00
T5	G	6.75	5.50	6.25	6.00	6.75	6.00	5.25	3.75	1.25	0.00
T6	P	4.25	3.50	3.25	2.00	4.00	3.00	2.50	2.25	1.00	0.50
T6	M	2.75	3.25	3.25	1.75	3.00	3.00	3.00	1.25	0.50	0.00
T6	G	1.75	3.25	2.50	2.50	1.75	1.50	1.50	1.50	0.50	0.00

Legenda: T1: BRS 243, T2: M1061, T3: M6101, T4: ST631, T5: BMX66e, T6: BMX65k67.