



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA
CAMPUS SETE LAGOAS

MARCUS VINÍCIUS SENA NOGUEIRA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DA LAGARTA-DO-
CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*)

Sete Lagoas, MG

2026

MARCUS VINÍCIUS SENA NOGUEIRA

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DA LAGARTA-DO-
CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*)**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr.^a Cidália Gabriela Santos Marinho

Coorientador: Dr. Fernando Hercos Valicente

Sete Lagoas, MG

2026

MARCUS VINÍCIUS SENA NOGUEIRA

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DA LAGARTA-DO-
CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*)**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Agrônômica.

Sete Lagoas, 08 de julho de 2026.

Banca avaliadora:

Dr.^a Cidália Gabriela Santos Marinho, Orientadora — UFSJ

Dr. Fernando Hercos Valicente — Embrapa Milho e Sorgo

Dr.^a Tatiane Teixeira de Melo — Embrapa Milho e Sorgo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, que permitiu que todos os meus objetivos fossem alcançados.

Aos meus pais Fernanda e Renato, e ao meu padrasto Luiz por, por todo amor, dedicação e apoio. Vocês foram meu alicerce e sem vocês não teria conseguido.

Aos meus irmãos João Victor, Luís Fernando, João Vitor e Maria Eduarda, por toda parceria e paciência. Vocês foram fundamentais.

A toda minha família que, de alguma forma, me fortaleceu diante de todas as dificuldades.

A Universidade Federal de São João del-Rei por ter sido solo onde pude colher os frutos do meu conhecimento.

Ao Dr. Fernando e à Dr.^a Cidália, pela orientação, pelo apoio e por todo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

A EMBRAPA Milho e Sorgo, em especial ao Dr. Fernando e Dr. Frederick, por toda assistência e apoio prestados durante minha jornada acadêmica.

Ao professor Rufini e a todos os membros do Gefrut por todo o conhecimento e experiência compartilhados.

E a todos os meus amigos por todas as vezes que nos motivamos a seguir em frente.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	08
2 MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1 Manutenção de colônias de <i>S. frugiperda</i>	13
2.2 Bioensaios	13
2.3 Análises estatísticas	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4 CONCLUSÃO	20
5 AGRADECIMENTOS	21
6 REFERÊNCIAS	21

O presente trabalho foi estruturado segundo as diretrizes de publicação do *International Journal of Maize & Sorghum* (IJMS), periódico que sucedeu a *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*.

RESUMO

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda*, é amplamente utilizada em estudos de validação e produção de tecnologias de manejo. Para otimização operacional, adota-se sistema de criação agrupados, embora o comportamento canibalístico represente uma importante limitação desse método. Apesar da densidade populacional e disponibilidade alimentar serem fatores determinantes para ocorrência de canibalismo, mecanismos neurofisiológicos também podem influenciar esse comportamento mesmo quando os recursos não são restritos. Nesse cenário, hipotetizou-se que fármacos de ação relaxante ou moduladora do sistema nervoso poderiam reduzir a agressividade intraespecífica em larvas de *S. frugiperda*. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da densidade larval e da adição de fármacos à dieta sobre a mortalidade por canibalismo. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Controle Biológico da Embrapa Milho e Sorgo, em condições controladas de temperatura (26 ± 1 °C), umidade relativa ($70 \pm 10\%$) e fotoperíodo de 12 horas. Inicialmente, larvas de quatro dias de idade foram agrupadas em três densidades (25, 30 e 35 lagartas por recipiente - $11 \times 11 \times 3$ cm) para determinação da condição experimental a ser adotada no ensaio subsequente. Na segunda etapa, foram avaliados os ativos tadalafila, citrato de sildenafila, fentolamina e fenobarbital incorporados à dieta artificial. Para tanto, 5 g dos respectivos medicamentos comerciais foram dissolvidos em 15 mL de água, adicionando-se 2,5 mL da solução a 250 g de dieta. Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. A mortalidade por canibalismo foi determinada a partir do número de indivíduos ausentes em cada unidade experimental. Os dados do ensaio de densidade, obtidos sete dias após a instalação do experimento, foram analisados por modelos lineares generalizados com distribuição binomial. Já os dados do ensaio com aditivos, obtidos nos tempos 0, 4, 6, 7 e 8 dias após a instalação, foram analisados por modelos lineares generalizados mistos. As análises foram feitas no *software* RStudio. A densidade não afetou significativamente a ocorrência de canibalismo, que variou entre 12 e 23%. Por outro lado, observou-se efeito significativo da interação entre tempo e aditivos sobre a mortalidade larval. Nenhum aditivo conseguiu reduzir o canibalismo de maneira significativa. Entretanto, fentolamina e fenobarbital retardaram a progressão inicial da mortalidade larval, mantendo taxas inferiores a 3% até o sexto dia após a contaminação das larvas via dieta. Em contrapartida, a inclusão de citrato de sildenafila na dieta aumentou expressivamente a mortalidade atingindo magnitude de 70%. Esse efeito foi associado a alterações na textura da dieta, resultando em menor consumo alimentar e possível intensificação do estresse nutricional, fator reconhecido como desencadeador do canibalismo. Os resultados demonstram que compostos incorporados à dieta podem influenciar a dinâmica temporal do canibalismo em *S. frugiperda*, destacando a necessidade de novos estudos para melhorar a compreensão dos mecanismos comportamentais envolvidos e para validação do potencial desses compostos na criação massal da espécie.

Palavras-chave: Canibalismo. Densidade populacional. Fármacos.

ABSTRACT

The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, is widely used in validation studies and in the development of pest management technologies. To optimize operational efficiency, group-rearing systems are commonly adopted, although cannibalistic behavior represents an important limitation of this method. Although population density and food availability are determining factors for the occurrence of cannibalism, neurophysiological mechanisms may also influence this behavior even when resources are not limited. In this context, it was hypothesized that pharmaceutical compounds with relaxing or nervous system-modulating properties could reduce intraspecific aggressiveness in *S. frugiperda* larvae. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of larval density and the addition of pharmaceutical compounds to the diet on mortality caused by cannibalism. The experiments were conducted at the Biological Control Laboratory of Embrapa Maize and Sorghum under controlled conditions of temperature (26 ± 1 °C), relative humidity ($70 \pm 10\%$), and a 12-hour photoperiod. Initially, four-day-old larvae were grouped into three densities (25, 30, and 35 larvae per container – $11 \times 11 \times 3$ cm) to determine the experimental condition to be adopted in the subsequent assay. In the second stage, the active compounds tadalafil, sildenafil citrate, phentolamine, and phenobarbital incorporated into the artificial diet were evaluated. For this purpose, 5 g of each respective commercial medication were dissolved in 15 mL of water, and 2.5 mL of the solution were added to 250 g of diet. The assays were conducted in a completely randomized design with three replicates per treatment. Mortality due to cannibalism was determined based on the number of missing individuals in each experimental unit. Data from the density assay, obtained seven days after the experiment setup, were analyzed using generalized linear models with binomial distribution. Data from the additive assay, collected at 0, 4, 6, 7, and 8 days after setup, were analyzed using generalized linear mixed models. Analyses were performed using RStudio software. Larval density did not significantly affect the occurrence of cannibalism, which ranged from 12 to 23%. On the other hand, a significant interaction between time and additives was observed for larval mortality. None of the additives significantly reduced cannibalism. However, phentolamine and phenobarbital delayed the initial progression of larval mortality, maintaining mortality rates below 3% until the sixth day after larval exposure through the diet. In contrast, the inclusion of sildenafil citrate in the diet markedly increased mortality, reaching approximately 70%. This effect was associated with changes in diet texture, resulting in reduced food consumption and possible intensification of nutritional stress, a recognized trigger for cannibalism. The results demonstrate that compounds incorporated into the diet may influence the temporal dynamics of cannibalism in *S. frugiperda*, highlighting the need for further studies to improve the understanding of the behavioral mechanisms involved and to validate the potential of these compounds for the mass rearing of the species.

Key words: Cannibalism. Population density. Pharmaceuticals.

1 INTRODUÇÃO

A *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma importante praga agrícola, empregada também como organismo-modelo em estudos de manejo de insetos e na produção de agentes de controle biológico. Essa mariposa é endêmica das regiões tropicais da América (Silva *et al.*, 1968; Leite *et al.*, 2016), tendo sido descrita pela primeira vez na cultura do milho em 1797, na Geórgia, Estados Unidos (Leiderman & Sauer, 1953). No Brasil, os registros iniciais datam do início da década de 1950, encontrando-se atualmente distribuída em todo o território nacional (Cruz, 1995; Barcelos *et al.*, 2014).

As formas imaturas de *S. frugiperda* são as responsáveis pelas injúrias decorrentes de seu hábito alimentar desfolhador (Cruz, 1995). Em cultivos de milho, os danos manifestam-se tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva, podendo reduzir em até 40% a produtividade, a depender da suscetibilidade da cultivar, das condições edafoclimáticas e da pressão populacional da praga (Sá *et al.*, 2009; Rosa & Barcelos, 2012; Crespo *et al.*, 2021). Larvas de instares iniciais, devido ao aparelho bucal reduzido, realizam a raspagem do parênquima foliar, sem atingir a epiderme oposta, conferindo um aspecto translúcido à região consumida (Valicente *et al.*, 2008; Crespo *et al.*, 2021; IRAC, 2022). A partir do terceiro instar, as larvas, que antes apresentavam comportamento gregário, dispersam-se e tornam-se solitárias, passando a formar orifícios devido à intensa mastigação dos tecidos foliares (Cruz & Turpin, 1982; Bernardi & Omoto, 2018). Em virtude da sua elevada voracidade, mesmo a presença de um único indivíduo por planta pode resultar na completa destruição das folhas do cartucho, acompanhada pelo acúmulo de excrementos característicos nessa região (Leiderman & Sauer, 1953; Cruz & Turpin, 1982; IRAC, 2022).

As injúrias podem ser confundidas com as de outras pragas da cultura, variando conforme a origem da infestação (Rosa & Barcelos, 2012). Lagartas remanescentes da palhada do cultivo anterior podem seccionar plântulas na região do coleto de forma semelhante a lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon* Hufnagel, 1766; Lepidoptera: Noctuidae) (Bianco, 1991). Nessa fase, as larvas frequentemente danificam o tecido meristemático das plântulas de maneira irreversível, provocando o sintoma de ‘coração morto’ e falhas no estande (Cruz *et al.*, 1999). Sob altas densidades ou falhas no controle foliar, as lagartas podem migrar para espigas recém-emetidas após o pendoamento, ocasionando dano semelhantes aos da lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea* Boddie, 1850; Lepidoptera: Noctuidae) (Bianco, 1991; Cruz *et al.*, 2021).

O período crítico para controle é definido no pré-florescimento (Cruz & Turpin, 1982). Embora diversos fatores determinem a severidade dos danos, a voracidade e ciclo curto da praga

fazem com que os níveis de controle sejam atingidos safra após safra independente do cenário inicial de infestação, sendo os prejuízos frequentemente mais pronunciados na segunda safra (Bianco, 1995; Almeida, 2018).

Ressalta-se que a larva da espécie é conhecida como lagarta-do-cartucho devido ao seu hábito de alojar-se no verticilo do milho (Silva *et al.*, 1968). Apesar do nome comum evidenciar a preferência por gramíneas (Barcelos *et al.*, 2014), a praga transcende a definição do nome podendo ser encontrada explorando outras espécies de importância agrônômica e até plantas de cobertura e espontâneas (Silva *et al.*, 1968; Mendes *et al.*, 2014). Essa plasticidade decorre da existência de biótipos adaptados a se alimentarem de tecidos de diferentes hospedeiros, o que caracteriza a alta polifagia da espécie (Busato *et al.*, 2004; Omoto *et al.*, 2013; IRAC, 2022). Mesmo entre os hospedeiros alternativos, como soja e algodão, as larvas provocam prejuízos expressivos, figurando como praga primária de diversos cultivos (SÁ *et al.*, 2009; Campos *et al.*, 2010).

As mudanças nos agroecossistemas baseadas em sucessão de culturas de verão, de segunda safra e de inverno, asseguram a disponibilidade contínua de hospedeiro (Waquil, 2006). Esse cenário aliado ao clima predominantemente tropical do Brasil, favorece a sobreposição de gerações e a manutenção de reservatórios populacionais para infestação inicial ao longo de safras (Cruz, 1995; Barcelos *et al.*, 2014). Dessa maneira, a lagarta-do-cartucho deixou de ser referida como simples praga de milho e passou a ser considerada uma praga do agroecossistema.

Em todas as safras, a densidade populacional de *S. frugiperda* atinge níveis de controle, demandando aplicações sequenciais baseadas em calendários de aplicação pré-estabelecidos (Feldmann *et al.*, 2023). O uso de tecnologia *Bt* não tem sido suficiente para conter o avanço da praga, sobretudo porque a adoção de áreas de refúgios para manutenção da tecnologia é bastante negligenciada (Cruz, 2020, IRAC, 2022). O uso irrestrito da combinação desses métodos exerce uma pressão de seleção contínua que, somada à elevada capacidade reprodutiva e migratória da espécie, favorece a evolução de resistência e dispersão de alelos resistentes a ativos sintéticos e proteínas inseticidas expressas por plantas geneticamente modificadas (Sá *et al.*, 2009; Omoto *et al.*, 2013, Leite *et al.*, 2016).

A severidade dos danos e as dificuldades no estabelecimento de um controle satisfatório ameaçam a rentabilidade dos cultivos agrícolas e a segurança alimentar (Cruz & Turpin, 1982). No Brasil, o prejuízo anual estimado é na ordem de R\$ 10 bilhões (INCT NANO AGRO, 2024), refletindo o alto custo operacional do controle (Ferrari *et al.*, 2021). Diante dessa conjuntura, torna-se imperativo o envolvimento da comunidade científica e da indústria de defensivos na

busca pelo aperfeiçoamento do manejo dessa praga. Iniciativas como estas implicam o estabelecimento de criações da espécie em laboratórios em níveis que viabilizem os protocolos de experimentação (Busato *et al.*, 2006).

A criação massal de *S. frugiperda* visa à manutenção de populações contínuas e com ciclos sincronizados (Bentes *et al.*, 2024), possibilitando a condução de ensaios de análises comportamentais, monitoramento de resistência e validação de novas táticas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Bianco, 1995; Montezano *et al.*, 2019). Adicionalmente, essas criações são fundamentais para a produção de agentes de controle biológico, como parasitoides do gênero *Trichogramma* e baculovírus *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (SfMNPV) (Baculoviridae) (Valicente *et al.*, 2008, Ningthoujam *et al.*, 2025).

De modo geral, as criações de insetos requerem rigorosos cuidados com a assepsia, o controle de variáveis ambientais e a oferta de recursos (Parra, 2007). Quanto maior a escala de criação, mais estritos devem ser os protocolos para assegurar que os espécimes provenientes de ambiente controlado possuam vigor similar aos coletados em campo (Nalim, 1991). Para tanto, os principais métodos de criação se baseiam no fornecimento de dietas artificiais nutricionalmente balanceadas em substituição às fontes de alimento basais, visando manter a eficiência de conversão e características do ciclo de vida (Nalim, 1991; Busato *et al.*, 2006; Truzzi, 2020).

A fim de se otimizar a infraestrutura de criação, é imperativo o agrupamento de indivíduos para elevar a capacidade produtiva por área (Silva & Parra, 2013). Embora o agrupamento seja economicamente vantajoso do ponto de vista operacional, a tática pode acionar gatilhos de agressividade intraespecífica associados à expressão do canibalismo (Bentivenha *et al.*, 2017). O canibalismo larval é um traço etológico facultativo em *S. frugiperda*, integrando a plasticidade fisiológica e comportamental da espécie em ambientes naturais (Chapman *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2026). Apesar de ser frequentemente associado a espécies carnívoras, herbívoros generalistas podem manifestar esse comportamento em resposta a fatores abióticos e bióticos, agindo de forma isolada ou conjunta (Richardson *et al.*, 2010).

Em *Spodoptera*, o canibalismo constitui uma estratégia evolutiva refinada para mitigar os impactos da competição intraespecífica (Chapman *et al.*, 1999). Em campo, a percepção desse comportamento é reduzida devido à tendência de dispersão das larvas entre segundo e terceiro instar como estratégia de evitação de confrontos diretos (Shu *et al.*, 2024). Embora o indivíduo canibal esteja propenso a lesões decorrentes da defesa da presa (Mbuji *et al.*, 2022) e a transmissão vertical de patógenos (Van Allen *et al.*, 2017), o balanço energético favorável faz

com que a estratégia perdure. O canibalismo atua como um mecanismo de regulação de efeito imediato, o que auxilia na manutenção da população abaixo da capacidade de suporte do meio (Liu *et al.*, 2026; Zhou *et al.*, 2024). Acredita-se que, em contextos de escassez de hospedeiro, o comportamento eleve a aptidão biológica (*fitness*) dos sobreviventes, beneficiando a propagação da espécie (Chapman *et al.*, 1999).

A restrição de espaço somada às altas densidades em ambientes artificiais exacerba o canibalismo, que embora seja adequado na natureza, constitui-se o principal desafio logístico na criação de *S. frugiperda* (Valicente *et al.*, 2013; Machado *et al.*, 2022). Outros aspectos podem acionar esse comportamento, sobretudo quando os sistemas de criação não são delineados em conformidade com o nicho efetivo da espécie. A temperatura, por exemplo, afeta a duração do ciclo e pode alterar o número de instares (Rosa & Barcelos, 2012). Sob 22°C e 31°C, observa-se variação em relação à temperatura de 25 °C, na qual o ciclo larval se completa em aproximadamente em 15 dias com cinco ecdises (Machado, 2022). A condição também afeta a expressão do canibalismo de maneira conjunta à disponibilidade de alimento, sendo que os insetos tendem a se comportar de maneira mais agressiva no extremo térmico associados à condição de escassez (Machado, 2022). Além disso, dietas com baixa qualidade nutricional ou reduzido teor de água provocam desidratação e inanição, levando as larvas a buscarem complementação em seus coespecíficos (Machado *et al.*, 2022; Shu *et al.*, 2024).

Outro aspecto importante a ser considerado é que a suscetibilidade ao canibalismo não é homogênea em todo ciclo. A tendência é reduzida em larvas neonatas, que frequentemente consomem o córion após a eclosão (Bharathi *et al.*, 2023). No entanto, estas tornam-se presas vulneráveis diante da dominância de larvas maiores, evidenciando que a assincronia entre instares dispara a predação intraespecífica (Machado *et al.*, 2022). Pupas e indivíduos em ecdise também são alvos passivos, dado que o desprendimento da cápsula cefálica que antecede o processo resulta na perda temporária da capacidade de defesa ou fuga, aumentando a vulnerabilidade em relação a indivíduos em fase de alimentação ativa (Murata *et al.*, 2023).

Algumas das estratégias para mitigar o canibalismo incluem o isolamento individual (Silva & Parra, 2013), o emprego de recipientes resistentes à perfuração (Souza, 1999), ajustes nutricionais (Truzzi, 2020) e controle térmico, visto que temperaturas extremas aumentam gasto energético e a agressividade (Machado, 2022). A separação por coortes é imprescindível para otimizar sistemas de criação, devendo-se agrupar as larvas a partir do segundo instar para assegurar uniformidade etária no sistema (Silva & Parra, 2013). Embora oferta de alimento *ad libitum* e redução da densidade também atenuem a competição e reduzam a frequência de encontros coespecíficos (Silva & Parra, 2013), a incidência do comportamento mesmo sob

baixa densidade sugere que o canibalismo também é governado por aspectos neurofisiológicos e comportamentais (Machado *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2024).

O aumento da complexidade do ambiente e da distribuição de dieta, podem exercer influência comportamental ao reduzir a probabilidade de encontros agonísticos (Shu *et al.* 2024). Murata *et al.* (2023) observaram que o uso de papéis empilhados atua como barreira física e visual, servindo como refúgio para larvas em ecdise. Adicionalmente, o fornecimento de dieta em bloco único promove a aglomeração em único ponto, acentuando a agressividade larval, enquanto fracionamento e distribuição em múltiplos pontos atenua a competição, já que aumenta a chances de obter alimentos sem confrontos (Machado *et al.*, 2022; Shu *et al.*, 2024).

Uma alternativa emergente é manipulação comportamental via aditivos dietéticos. Compostos como nipagin, tetraciclina, ácido ascórbico e formaldeído já são empregados a fim de esterilizar os meios de criação, evitando proliferação de fungos e bactérias possam degradar a dieta ou ser agentes causais de doenças (Martins, 2017; Truzzi *et al.*, 2021). Apesar dos efeitos benéficos relatados para outros filos, estudos com adição de substâncias moduladoras do sistema nervoso central de insetos ainda são incipientes. Em peixes baiacus híbridos (*Takifugu* spp.), a suplementação com triptofano, precursor da serotonina, reduziu ataques intraespecíficos em 50% (Wei *et al.*, 2023). Apesar da distância filogenética, a conservação de vias bioquímicas e a presença de redes neurais serotoninérgicas em *S. frugiperda* (Zhang *et al.*, 2022) sugerem que a modulação neurofisiológica é uma via promissora para a redução do canibalismo em criações massais.

Essas premissas tornam plausível a hipótese de que compostos bioativos, como fármacos que atuam em sistemas fisiológicos relacionados à locomoção e à percepção sensorial, possam interferir na manifestação da agressividade intraespecífica em larvas de *S. frugiperda*. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar experimentalmente os efeitos da densidade larval e da incorporação de aditivos farmacológicos em dieta artificial sobre a mortalidade por canibalismo durante a criação de laboratório da lagarta-do-cartucho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Controle Biológico (LCB) da Embrapa Milho e Sorgo, localizado em Sete Lagoas, MG, onde mantém-se a criação de *Spodoptera frugiperda*, de acordo com Valicente & Barreto (2003).

2.1 Manutenção de colônias de *S. frugiperda*

A colônia laboratorial foi estabelecida a partir de espécimes coletados em cultivos de milho na unidade experimental da Embrapa Milho e Sorgo. Os indivíduos foram disponibilizados para os ensaios após a segunda geração em laboratório (F2), a fim de garantir a ausência de resíduos agroquímicos. Tradicionalmente, visando mitigar o comportamento canibalístico, as larvas foram transferidas para recipientes descartáveis (50 mL) em até sete dias após a eclosão. As colônias permanecem em sala de criação climatizada sob temperatura de 26 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas. Os adultos foram alimentados por meio de discos de algodão embebidos em solução açucarada (Valicente & Barreto, 2003; Leite *et al.*, 2016), enquanto as larvas recebem dieta artificial à base de feijão, gérmen de trigo e levedura de cerveja, conforme a metodologia de Valicente & Barreto (2003).

2.2 Bioensaios

Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória com o objetivo de verificar a influência da densidade larval sobre a mortalidade por canibalismo, sem adição de compostos à dieta. Esta etapa seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com tratamentos constituídos pelas densidades de 25, 30 e 35 lagartas por recipiente ($11 \times 11 \times 3$ cm), distribuídas em três repetições cada. A partir dos resultados obtidos, padronizou-se a densidade de larval para as etapas subsequentes.

Na segunda fase, avaliou-se o efeito de diferentes aditivos alimentares sobre a taxa de canibalismo, também sob DIC, mantendo-se o número de repetições por tratamento. Os ativos testados consistiram no citrato de sildenafila (250 ppm), tadalafila (25 ppm), fenobarbital (500 ppm) e fentolamina (200 ppm), obtidos na forma de medicamentos comerciais. Três desses fármacos possuem propriedades vasodilatadoras e são capazes de promover efeito relaxante muscular, o que pode retardar a atividade locomotora das larvas. Em contrapartida, o fenobarbital é um agente sedativo, cuja ação potencial na atenuação da agressividade larval pode mitigar a expressão do canibalismo. Para o preparo das dietas, cinco gramas de cada produto foram diluídos em 15 mL de água, e posteriormente 2,5 mL de cada solução foram incorporadas a 250 g de dieta artificial padrão.

Ambas as etapas foram conduzidas com larvas de quatro dias de vida, agrupadas, por repetição, em recipientes do tipo gerbox® (11 × 11 × 3 cm), onde permaneceram até o final das avaliações. Após a montagem dos ensaios, as larvas foram transferidas para a sala de avaliação, onde foram mantidas sob temperatura de 27°C e fotoperíodo de 12 horas. Para o ensaio de densidade, registrou-se o número de indivíduos mortos sete dias após a montagem do experimento, possibilitando o cálculo da mortalidade acumulada. Já na etapa subsequente, o registro foi feito em diferentes intervalos após a montagem do experimento (0, 4, 6, 7 e 8 dias), possibilitando o acompanhamento da evolução da mortalidade acumulada. Em ambos os testes, a mortalidade por canibalismo foi atribuída aos indivíduos ausentes, uma vez que estes são integralmente consumidos pelos coespecíficos.

2.3 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *software* R Studio, empregando-se modelos lineares generalizados (GLM) e modelos lineares generalizados mistos (GLMM) (R Core Team, 2026). Adotou-se a distribuição binomial de erros, tendo em vista que os dados derivam de uma contagem de indivíduos vivos ou mortos.

Para o ensaio de densidade, os dados foram analisados utilizando-se GLM, considerando a mortalidade acumulada no sétimo dia após a instalação do experimento. Para permitir a comparação entre densidades distintas, o número inicial de lagartas foi incorporado ao modelo como peso estatístico, o que permitiu contemplar diferenças na precisão associadas a cada densidade.

Para o ensaio com aditivos, os dados foram analisados por meio de GLMM, incluindo os efeitos fixos dos aditivos, dos tempos e da interação desses fatores. A repetição foi considerada como efeito aleatório, de modo a contemplar o arranjo de medidas repetidas no tempo.

A significância dos efeitos foi avaliada por meio do teste do tipo qui-quadrado. Quando pertinente, as médias foram comparadas por meio de contrastes múltiplos entre médias marginais estimadas, com ajuste de Tukey a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de mortalidade por canibalismo obtidos no ensaio de densidade foram analisados por meio de modelo linear generalizado com distribuição binomial. A análise apresentou subdispersão e bom ajuste do modelo, com razão entre a *deviance residual* e os graus de liberdade igual a 0,58. A densidade não influenciou significativamente a mortalidade por canibalismo (GLM binomial, $\chi^2 = 4.70$; gl = 2; $p = 0.095$), variando entre 12 e 23% (Tabela 1).

Tabela 1 - Média+erro padrão da mortalidade em diferentes densidades de lagartas de *Spodoptera frugiperda* por gerbox®.

Densidade	Mortalidade acumulada (%)
25	12,0±2,31
30	13,3±3,85
35	22,9±1,65

Embora não tenham sido detectados efeitos significativos, observou-se uma tendência estatística ($p < 0.10$) de maior mortalidade na densidade de 35 larvas. Além disso, este foi o único cenário em que a mortalidade acumulada excedeu 20%. Esse índice pode comprometer a viabilidade em sistemas de criação coletiva, especialmente quando comparado a sistemas individualizados, que alcançam taxas de sobrevivência próximas de 95% (Silva & Parra, 2013; Mbuji *et al.*, 2022).

Por outro lado, Murata *et al.* (2023) consideram que taxas de mortalidade na ordem de 30% são consideradas estáveis para sistemas de criação de *S. frugiperda*. Os referidos autores observaram que a sobrevivência de larvas agrupadas até a pupação oscilou entre 83% e 73% para densidades de 10 a 50 larvas por recipiente (5,4 L), com média de 78,3% na densidade de 30 lagartas. Acima de 50 larvas, a sobrevivência decresce progressivamente, superando 50% de mortalidade ao dobrar a capacidade do recipiente. Nessas condições, também foi relatado o prolongamento da fase larval, sugerindo a ocorrência de um custo metabólico associado ao estresse, o qual retarda o acúmulo de energia necessária à ecdise.

Dado os resultados da etapa anterior, optou-se pela densidade de 25 larvas para o experimento subsequente, visando minimizar a mortalidade basal e conferir maior sensibilidade na detecção de efeitos de tratamentos.

A análise de variância (ANOVA) por modelo linear generalizado misto (GLMM) evidenciou efeitos significativos dos aditivos, do tempo e da interação entre ambos os fatores

sobre a mortalidade larval ($p < 0,005$). Esse resultado indica que a inclusão de fármacos na dieta afeta não só a mortalidade final, mas toda a dinâmica temporal do processo (Tabela 2). Ressalta-se que, apesar da interação significativa, o baixo valor da estatística F ($F=0,3986$) sugere uma magnitude de interação reduzida, o que é comum em modelos binomiais que analisam padrões de resposta progressivos e convergentes. Adicionalmente, a reduzida variância associada ao efeito aleatório da repetição (0,041) indica que as variações experimentais foram quase integralmente explicadas pelos efeitos fixos individuais ou combinados dos fatores.

Tabela 2. Mortalidade acumulada de larvas de *Spodoptera frugiperda* a partir da adição de relaxantes musculares à dieta artificial.

Aditivos	Dias após a contaminação				
	0	4	6	7	8
Controle	0,00±0,00a	5,33±1,33a*	9,33±3,53a	21,33± 2,67 a	24,00±2,31a
Sildenafil	0,00±0,00a	21,33±5,81b	44,00±6,93b	53,33± 7,42 b	74,67±5,33b
Tadalafila	0,00±0,00a	4,00±2,31a	10,67±6,67a	14,67± 7,06 a	17,33±9,61a
Fenobarbital	0,00±0,00a	2,67±1,33a	8,00±4,62a	10,67± 2,67 a	21,33±1,33a
Fentolamina	0,00±0,00a	2,67±1,33a	2,67±1,33a	12,00± 6,11 a	16,00±6,11a

Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

* Indica tendência de significância estatística ($p = 0,056$) pelo teste de Wald.

Excetuando-se o tempo zero, correspondente ao dia da instalação do ensaio em que a mortalidade inicial foi nula, a mortalidade por canibalismo foi observada em todas as combinações de tratamentos. Esse resultado confirma o caráter intrínseco do comportamento canibalístico em larvas de *S. frugiperda* em cenários de iminente competição de recurso ou de maior interação entre as larvas. A análise temporal corroborou o padrão de aumento progressivo da mortalidade em função do acúmulo de interações entre as larvas ao longo do ciclo.

A partir do quarto dia, coincidindo com a reposição da dieta, foram observadas variações na sobrevivência entre os tratamentos. Como a oferta de alimento e espaço foi uniforme, a variação na intensidade do canibalismo sugere que a ação dos fármacos é tempo-dependente. Tais variações indicam uma possível modulação neurofisiológica, capaz de desencadear alterações comportamentais e elevar a frequência de encontros agonísticos entre as larvas, conforme observado por Zhou *et al.* (2024) em estudo avaliando o comportamento canibalístico de *S. frugiperda* sob diferentes densidades populacionais.

O contraste das médias demonstrou que nenhum aditivo reduziu a mortalidade de forma significativa, comparativamente à testemunha. A mortalidade final com a adição de tadalafila, fenobarbital e fentolamina oscilou entre 16 e 21%, assemelhando-se ao canibalismo basal do

controle (24%), sugerindo um efeito limitado sob as condições testadas. No quarto dia após a instalação do experimento, a testemunha apresentou diferença marginal em relação aos demais tratamentos ($p = 0,056$), indicando o início de uma separação temporal nas curvas de mortalidade que, entretanto, não se manteve significativa nos períodos subsequentes.

Apesar da sobrevivência larval superior a 80% até o sétimo dia com a adição de tadalafila, fenobarbital e fentolamina, a expressão de possíveis benefícios pode ter sido suprimida pela baixa pressão de canibalismo no grupo controle. A densidade de 25 indivíduos por repetição pode ter limitado a sensibilidade do ensaio; pois nesse arranjo, os ativos precisariam reduzir o canibalismo a níveis próximos de zero para contrastar de maneira significativa com a mortalidade basal. Adicionalmente, estudos demonstram que a redução da densidade pode ser suficiente para mitigar o canibalismo em sistemas de criação coletiva, quando os recursos não são limitantes, mantendo-se a sobrevivência satisfatória em densidades entre 10 e 50 lagartas por recipiente (Silva & Parra, 2013; Machado, 2022; Murata *et al.*, 2023). Densidades superiores podem ser adotadas quando o tempo de permanência em grupos é reduzido. Machado *et al.* (2022), ao avaliarem arranjos de densidade e tempo para otimizar a produção de poliedros de Baculovírus *Spodoptera*, constataram que, a 31°C, lagartas podem ser mantidas em densidade entre 50 e 100 lagartas/recipiente por até 96 h sem que o canibalismo se torne um fator limitante.

A pressão canibalística também pode ter sido atenuada em decorrência da idade das larvas no início do teste, já que, sob condições controladas de temperatura e umidade, as larvas atingem o segundo instar entre o quarto e quinto dia de vida (Silva & Parra, 2013). Silva & Parra (2013) obtiveram sobrevivência superior a 90% e fecundidade de 99%, em sistema baseado em coorte, introduzindo larvas a partir do segundo instar. Segundo esses autores, a medida é crucial para assegurar uniformidade etária, visto que a assincronia na eclosão e na duração do primeiro instar pode resultar em assimetria etária entre espécimes de um mesmo lote. Essa disparidade desencadeia comportamentos canibais, já que larvas maiores tendem a ser mais ávidas por larvas jovens, mesmo quando há disponibilidade de dieta (Van Allen *et al.*, 2017). Portanto, assegurar uniformidade biológica pode ser suficiente para mitigar a pressão de canibalismo.

Embora a mortalidade final não tenha diferido estatisticamente da testemunha, a análise temporal revelou respostas biologicamente relevantes nos tratamentos com fentolamina e fenobarbital. Aos seis dias após a instalação do experimento, ambos os tratamentos apresentaram mortalidade inferior a 3%, contrastando com os demais tratamentos e com a progressão observada no controle. Em sistemas de criação massal, reduções temporárias no

canibalismo durante os primeiros dias de desenvolvimento podem representar vantagem operacional significativa, pois ampliam a janela de manejo e permitem maior previsibilidade na programação produtiva. Dessa forma, ainda que os efeitos não tenham persistido até o final do período experimental, os resultados sugerem potencial de aplicação desses compostos em estratégias de mitigação do canibalismo larval.

Em contraste, a sildenafil elevou drasticamente a mortalidade por canibalismo, atingindo magnitude superior a 70%. Esse comportamento atípico sugere que o composto pode ter potencializado comportamentos assimétricos, como agressividade e vulnerabilidade individual. Alternativamente, o aditivo pode ter exercido efeito fago-deterrente ao alterar propriedades físico-químicas da dieta, que assumiu consistência pastosa, reduzindo sua atratividade e palatabilidade. Alterações dessa natureza podem modular o hábito alimentar das larvas de *S. frugiperda* e intensificar o comportamento canibalístico. Orrock *et al.* (2017) observaram que, em plantas de tomate pulverizadas com jasmonato de metila, larvas de *Spodoptera exigua* consumiram menos biomassa vegetal e recorreram ao canibalismo de maneira precoce, resultando em uma mortalidade por canibalismo na ordem de 40% após oito dias. O mesmo padrão foi observado fornecendo-se as folhas cortadas para as larvas. O hormônio vegetal induz o acúmulo de fenóis e antocianinas no tecido foliar, reduzindo sua palatabilidade e aumentando a toxicidade (Kępczyńska & Król, 2012), o que explica a resposta comportamental análoga em larvas de *S. exigua* mantidas em ambientes controlados alimentados com as folhas cortadas.

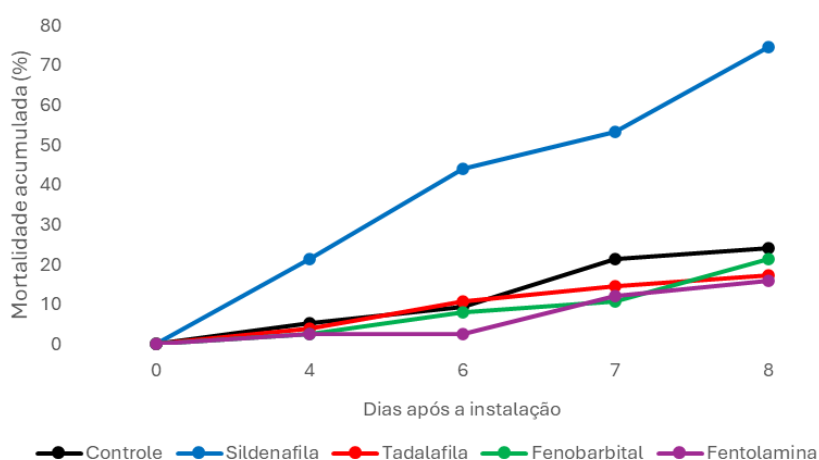
Marchioro *et al.* (2018) observaram maior predação intraespecífica entre lagartas de *S. frugiperda* de segundo instar quando estas foram alimentadas com folhas de milho provenientes de plantas adubadas com silício, com taxa de canibalismo cerca de duas vezes maior (24%) em relação às larvas alimentadas com folhas de plantas não tratadas. Segundo os autores, o acúmulo do elemento torna os tecidos vegetais mais fibrosos e menos palatáveis. Tais estudos sugerem que a inclusão de análogos os metabólitos de defesa ou de silício, via formulações ou tecidos vegetais, deve ser evitada em sistemas de criação massal, pois o estresse alimentar resultante estimula a busca por fontes alternativas não tóxicas, como larvas da mesma espécie.

Embora a dieta com sildenafil tenha sido menos consumida devida a sua consistência, o que pode ter induzido a inanição, Silva & Parra (2013) obtiveram resultados satisfatórios ao ajustar o teor de água da dieta de Greene *et al.* (1976) em 11%. Os autores basearam na premissa de que o excesso de umidade na dieta favorece a ocorrência de microrganismos e causa desconforto físico, estimulando a movimentação e o canibalismo. Por outro lado, dietas pouco úmidas podem provocar desidratação, o que estimula a busca de reposição dos fluidos em

coespecíficos (Machado *et al.*, 2022). Patel (2019), ao ajustar a proporção de farelo de cereais, açúcar mascavo e água para composição de iscas, constatou que o incremento de água e açúcares estimulam o consumo contínuo, mantendo larvas de *Spodoptera litura* saciadas e suprimindo a manifestação de canibalismo. O autor observou que a adição de amido de milho (0,2%) exerceu efeito fago estimulante, dobrando o consumo da isca, o que pode potencializar a saciedade e reduzir a motivação para o comportamento predatório.

Ressalta-se que o tratamento com sildenafil promoveu aumento acelerado da mortalidade, com contraste significativo observado já no quarto dia após a instalação do experimento (Figura 1). Os demais tratamentos apresentaram respostas consistentes entre si, com perfis de sobrevivência semelhantes ao longo do período avaliado. Dessa maneira, a sildenafil foi preponderante para a significância da interação dos fatores, embora a magnitude desse efeito possa ter sido atenuada por limitações no número de repetições.

Figura 1 - Dinâmica temporal da mortalidade acumulada por canibalismo em larvas de *Spodoptera frugiperda* em resposta à adição de diferentes fármacos em dieta artificial.



Adicionalmente, apesar de a variável resposta não ter demonstrado efeito positivo na sobrevivência das lagartas, observou-se diferenças fenotípicas relevantes. No sétimo dia, lagartas de *S. frugiperda* tratadas com tadalafila exibiram maior porte visual e consumiram maior volume de dieta. Na mesma ocasião, indivíduos sob tratamento com fenobarbital apresentavam maior robustez e menor agitação motora. As observações foram encerradas ao oitavo dia, com início do processo de pupação no grupo controle. As larvas tratadas com sildenafil e tadalafila exibiram comportamento de pré-pupação, caracterizado pela busca por abrigo na dieta, indicando que tais aditivos não interferiram na duração do ciclo.

Em contrapartida, as taxas de mortalidade aumentaram de forma mais expressiva ao final do ensaio em todos os tratamentos, possivelmente em decorrência do processo de pupação.

Mbuji *et al.* (2022) notaram que larvas de sexto instar de *S. frugiperda* tornaram-se menos agressivas e reduziram o consumo alimentar, o que pode encorajar ataques por larvas que ainda se encontram no quinto instar e conservam o comportamento voraz. Além disso, o período que antecede os processos de ecdise é crítico sob o ponto de vista da vulnerabilidade ao canibalismo, devido à perda temporária da capacidade de defesa e fuga (Dial & Adler, 1990; Murata *et al.*, 2026).

Em suma, os resultados indicaram que a incorporação de insumos à dieta larval, pode modular o comportamento canibal de *S. frugiperda*, influenciando tanto a magnitude quanto o progresso da taxa de mortalidade, o que abre perspectivas para estudos futuros voltados à manipulação comportamental em sistemas de criação e manejo de insetos.

4 CONCLUSÃO

Os compostos testados modulam a expressão do canibalismo em larvas de *Spodoptera frugiperda* ao longo do tempo. Enquanto a sildenafil acentuou ataques intraespecíficos, a adição de tadalafila, fenobarbital e fentolamina estiveram associadas a maiores índices de sobrevivência até a fase de pré-pupa. Embora o efeito dos ativos tenha sido mascarado pelas condições testadas e pela baixa pressão de canibalismo na testemunha, fentolamina e fenobarbital retardaram a progressão inicial do canibalismo, mantendo baixas taxas de mortalidade nos seis primeiros dias de criação. Esses achados evidenciam o potencial da inclusão de fármacos à dieta como ferramenta para estudos comportamentais e otimização de sistemas de criação de insetos.

Conclui-se que abordagens em sistemas de criação de *S. frugiperda* devem não apenas considerar a mortalidade final, mas também a dinâmica temporal dos processos comportamentais, permitindo uma compreensão mais abrangente das interações intraespecíficas em insetos herbívoros com canibalismo contexto-dependente. Sugere-se a condução de experimentos adicionais, com maior número de réplicas e ajustes na densidade larval, a fim de se verificar se as tendências de sobrevivência observadas atingem significância estatística.

5 AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de São João del-Rei e a EMBRAPA Milho e Sorgo pelo apoio para realização do trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. M. S. **Impacto econômico da resistência de pragas à tecnologia Bt no Brasil: um estudo de caso para milho em Rio Verde (GO)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/D.11.2018.tde-10102018-161724. Acesso em: 2026-05-03.
- BARCELOS, H. T.; HELLWIG, L.; MEDINA, L. B.; TRECHA, C. O.; FIPKE, M. V.; ROSA, A. P. S. A. da. Ponte verde para *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em terras baixas. **Embrapa Clima Temperado – Pelotas/RS**. 2014.
- BENTES, V. dos S.; SILVA, B. N.; RIBEIRO, T. M. P.; PAIVA, M. M. de; CARVALHO, A. S. S. de; SANTOS, T. T. dos. Natural life cycle and rearing of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the laboratory: Scientometric study and didactic scheme. **Seven Editora**, [S. l.], p. 1015–1025, 2024. Disponível em: <https://sevenpubl.com.br/editora/article/view/4185>. Acesso em: 13 apr. 2026.
- BENTIVENHA, J. P. F.; BALDIN, E. L. L.; MONTEZANO, D. G.; HUNT, T. E.; PAULAMORAES, S. V. Attack and defense movements involved in the interaction of *Spodoptera frugiperda* and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Pest Science**, v.90, p.433-445, 2017.
- BERNARDI, O.; OMOTO, C. **Manejo da resistência de *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa armigera* e *Chrysodeixis includens* a inseticidas e plantas Bt**. 1. ed. [S. l.]: IRAC-Brasil, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/vegetal/refugio-estruturado/manejo-da-resistencia-a-inseticidas-e-plantas-bt.pdf>. Acesso em: 6 maio 2026.
- BHARATHI, G.; MANIMEGALAI, S.; ARULKUMAR, G.; VISHNUPRIYA, R. Survival fitness of *Spodoptera frugiperda* consequent to cannibalism behaviour. **Applied Ecology and Environmental Research**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 3997-4004, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aecer/2105_39974004. Disponível em: https://aloki.hu/pdf/2105_39974004.pdf. Acesso em: 5 jan. 2026.
- BIANCO, R. Pragas e seu controle. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina. IAPAR, 1991. p. 187-221. (IAPAR. Circular, 68).
- BIANCO, R. **Construção e validação de planos de amostragem para o manejo da lagarta do cartucho – *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae), na cultura do milho**. 113 p. Tese de doutorado em Ciências, Área de Concentração: Entomologia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, SP – jun. 1995.
- BUSATO, G. R.; GRUTZMACHER, A.D.; OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, E. A.; ZIMMER, P. D.; KOPP, M. M.; BANDEIRA, J. M.; MAGALHÃES, T. R. Análise da estrutura e diversidade molecular de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) associadas às culturas de milho e arroz no Rio Grande do Sul. **Neotropical Entomology**, Londrina, n. 33, v. 6, p. 709-716, 2004.

BUSATO, G. R.; GARCIA, M. S.; LOECK, A. E.; ZART, M.; NUNES, A. M.; BERNARDI, O.; ANDERSSON, F. D. S. Adequação de uma dieta artificial para os biótipos "milho" e "arroz" de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Bragantia**, v. 65, p. 317-323, 2006.

CAMPOS, A. P.; BOIÇA JUNIOR, A. L.; RIBEIRO, Z. A. Não-preferência para oviposição e alimentação de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) por cultivares de amendoim. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, p. 251-258, 2010.

CHAPMAN, J. W.; WILLIAMS, T.; ESCRIBANO, A.; CABALLERO, P.; CAVE, R. D.; GOULSON, D. Fitness consequences of cannibalism in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Behavioral Ecology**, v.10, Issue 3, p. 298–303, 1999. <https://doi.org/10.1093/beheco/10.3.298>

CRESPO, M. A.; GONÇALVES, D. da C.; SOUZA, N. M.; ZANÚNCIO JUNIOR, J. S.; SALAZAR, J.; COSTA, H.; FAVARATO, L. F.; RANGEL, J. P. O.; ARAÚJO, S. B. J. Manejo da lagarta-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*): panorama geral das atualizações no controle alternativo. Alegre: Instituto Federal do Espírito Santo, 2021. 20 p.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Embrapa-CNPMS, 45 p., 1995. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/475779>. Acesso em:

CRUZ, I. **Como realizar o controle da lagarta-do-cartucho no milho**. Pelotas: Revista Cultivar, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/como-realizar-o-controle-da-lagarta-do-cartucho-no-milho>. Acesso em: 6 maio 2026.

CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAQUIL, J. M. **Pragas da Fase Vegetativa e Reprodutiva**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/pragas-e-doencas/pragas/pragas-da-fase-vegetativa-e-reprodutiva>. Acesso em: 6 maio 2026.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; VASCONCELOS, C. A. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. *International Journal Of Pest Management*, [S. l.], v. 45, n. 4, p. 293-296, jan. 1999. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/096708799227707>.

CRUZ, I.; TURPIN, F. T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.17, n. 3, p. 355-359, 1982.

DIAL, C. I.; ADLER, P. H. Larval behavior and cannibalism in *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 83, 258-263, 1990. <https://doi.org/10.1093/aesa/83.2.258>.

FELDMANN, N. A.; SZYDLOSKI, J. E.; RHODEN, A. C.; MÜHL, F. R.; GABRIEL, V. J. Tecnologia Bt no controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 2, p. 255-276, 2023.

FERRARI, D. L.; PADRÃO, G. A.; ARAÚJO, L. A. **Conceitos e métodos aplicados à gestão de empreendimentos rurais e custos de produção nos programas da Epagri**. Florianópolis: Epagri, 2021. 13 p. (Nota Técnica Epagri/Cepa, 001).

GREENE, G. L.; LEPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar (Lepidoptera, Noctuidae) rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 69, p. 487-488, 1976.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM NANOTECNOLOGIA PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL. **Novo método para controle da lagarta do cartucho do milho é patenteado**. Londrina: INCT Nano Agro, 13 jun. 2024. Disponível em: <https://inctnanoagro.com.br/novo-metodo-para-controle-da-lagarta-do-cartucho-do-milho-e-patenteado/>. Acesso em: 22 maio 2026.

IRAC. *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho): Espécie polífaga, presente em diversas culturas. [S. l.]: IRAC-Brasil, 25 jan. 2022. Disponível em: <https://www.irac-br.org/single-post/spodoptera-frugiperda-lagarta-do-cartucho-esp%C3%A9cie-pol%C3%ADfaga-presente-em-diversas-culturas>. Acesso em: 6 maio 2026.

KĘPCZYŃSKA, E.; KRÓL, P. The phytohormone methyl jasmonate as an activator of induced resistance against the necrotroph *Alternaria porri* f. sp. *solani* in tomato plants. **Journal of Plant Interactions**, v.7, n.4, p. 307–315, 2012. <https://doi.org/10.1080/17429145.2011.645169>

LEIDERMAN, L.; SAUER, H. F. G. A lagarta dos milharais. **O Biológico**, São Paulo, v. 6, n. 9, p. 105-113, dec. 1953.

LEITE, N. A.; MENDES, S. M.; PEREIRA, E. J. G. Metodologia para seleção de população resistente de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a milhos transgênicos *Bt* em laboratório visando estudo de condições que favorecem o manejo de resistência em campo. **Comunicado Técnico 216**. Sete Lagoas, MG. 16 p. Dez., 2016.

LIU, Z.; CHEN, Y.; LYU, B.; WANG, S. O canibalismo impulsionado pela densidade larval molda as compensações entre desenvolvimento, voo e reprodução em *Spodoptera frugiperda*. **J Pest Sci**, v. 99, n. 6, 2026. <https://doi.org/10.1007/s10340-025-01991-2>

MACHADO, L. C. **Maximização da produção *in vivo* de *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus (Lefavirales: Baculoviridae)**. 2022. 97f.: il.Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, 2022.

MACHADO, L. C.; SANTOS JÚNIOR, H. J. G. dos; PAIVA, C. E. C.; SANTOS, B. A. dos; MAURI, L. V. R.; RODRIGUES, J. A.; SOARES, C. de O.; ZAGO, H. B. Canibalism in the larval instars of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae): temperature and food quantity. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 44, e59401, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v44i1.59401>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/1871/187174530011/html/>. Acesso em: 3 maio 2026.

MARCHIORO, S. T.; POMARI-FERNANDES, A.; FERNANDES, A. C. P. P.; SEBBEN, M. F. Mortalidade e canibalismo de *Spodoptera frugiperda* em milho tratado com silício. In:

CONGRESSO PARANAENSE DE AGROECOLOGIA, 3.; PARANÁ AGROECOLÓGICO, 3., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: [s. n.], 2018.

MARTINS, A. C. F. **Efeito de anticontaminantes utilizados na dieta artificial de *Spodoptera frugiperda* sobre o vírus *Spodoptera frugiperda* Multiple Nucleopolyhedrovirus (SfNPV).** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20194/1/Efeitodeanticontaminantes.pdf>. Acesso em: 3 maio 2026.

MBUJI, A. L.; GONG, X.; LI, F.; YANG, L.; SHI, X.; PENG, Z.; ZHANG, Y.; WU, S. (2022). A study on the cannibalism behaviour and predation of the larvae of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). **Entomological Research**, v.52, n.5, p.251–258, 2022. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12584>

MENDES, S. M.; VIANA, P. A.; SILVA, A. D.; VALICEK, P.; TEIXEIRA, S. R. **Bioecologia e injúrias de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, n. 102). ISSN 1679-0154. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1008602/1/bol102.pdf>

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Developmental Parameters of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Immature Stages Under Controlled and Standardized Conditions. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 8, p. 76-89, 2019.

MURATA, M.; IIDA, H.; AKIDUKI, G.; MITSUNAGA, T. An Efficient Rearing Method for the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, under Crowded Conditions. **JARQ - Japan Agricultural Research Quarterly**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 123-130, 2023. Disponível em: <https://www.jircas.go.jp>. Acesso em: 3 maio 2026.

NALIM, D. M. **Biologia, nutrição quantitativa e controle de qualidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais.** 1991. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991. doi:10.11606/T.11.2020.tde-20200111-122819. Acesso em: 2026-05-03.

NINGTHOUJAM, K.; MOIRANGTHEM, Z.; PATHAK, M.; GOGOI, J.; SOROKHAIBAM, M. Host suitability and parasitism of *Trichogramma pretiosum* on *Galleria melonella* and *Corcyra cephalonica* for the management of fall armyworm. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 34154, out. 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-14656-y. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-14656-y>. Acesso em: 6 maio 2026.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; FARIAS, J. R. **Manejo de resistência de *Spodoptera frugiperda* a inseticidas e plantas *Bt*.** Esalq/USP, Piracicaba – SP, Junho, 2013. (Folheto IRAC)

ORROCK, J.; CONNOLLY, B.; KITCHEN, A. Induced defences in plants reduce herbivory by increasing cannibalism. **Nature Ecology & Evolution**, v.1; n.8, p. 1205–1207, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0231-6>

PARRA, J. R. P. Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. **Piracicaba: FEALQ**, p. 133, 2007.

PATEL, M. C. **A phagostimulant based bait composition for tobacco caterpillar *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2019. Tese (Doutorado em Entomologia) – Junagadh Agricultural University, Junagadh, 2019. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20209904475>. Acesso em: 29 abr. 2026.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Brasil, 2026.

RICHARDSON, M.L.; MITCHELL, R.F.; REAGEL, P.F.; HANKS, L.M. Causes and consequences of cannibalism in noncarnivorous insects. **Annual Review of Entomology**, v.55, p.39-53, 2010.

ROSA, A. P. S. A. da; BARCELOS, H. T. **Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. Documento, 344. 30 p., 2012.

SÁ, V. G. M. de; FONSECA, B. V. C.; BOREGAS, K. G. B.; WAQUIL, J. M. Sobrevivência e desenvolvimento larval de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Neotropical Entomology**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 108-115, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/490163/1/Sobrevivenciadesenvolvim ento.pdf>

SILVA, A. G. d'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**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1968, v. 1, pte 2.

SILVA, C. S. B. da; PARRA, J. R. P. New method for rearing *Spodoptera frugiperda* in laboratory shows that larval cannibalism is not obligatory **Rev. Brasi. Entomol.**, v.57, n.3, pp. 347-349, 2013.

SHU, B.; LIU, C.; HUANG, Y.; LIN, Y.; ZENG, Y.; LI, S., ZENG, J.; LIN J.; ZHANG, J. Cannibalism in *Spodoptera frugiperda* larvae: Effects of food lack, host plants, and food distribution, **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 27, Issue 4, 2024, 102336, ISSN 1226-8615. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2024.102336>.

SOUZA, A. M de L. **Adequação de recipientes, para criação em dietas artificiais, de pragas com comportamentos variáveis**. 1999. 97f.: il.Tese (Mestrado em Ciências, Área de Concentração: Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1999.

TRUZI, C. C. **Helicoverpa armigera e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Dieta artificial, produtos para controle e efeitos em polinizadores**. [S.l.]: Universidade Estadual Paulista (Unesp), 20 mar. 2020.

TRUZI, C. C.; VIEIRA, N. F.; SOUZA, J. M. de; DE BORTOLI, S. A. Artificial Diets With Different Protein Levels for Rearing *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal**

of *Insect Science*, [s. l.], v. 21, n. 4, art. 2, 2021. DOI: 10.1093/jisesa/ieab041. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8262569/>. Acesso em: 3 maio 2026.

VAN ALLEN, B. G.; DILLEMUTH, F. P.; FLICK, A. J.; FALDYN, M. J.; CLARK, D. R.; RUDOLF, V. H.; ELDERD, B. D. Cannibalism and infectious disease: friends or foes? *The American Naturalist*, v.190, n.3, pp.299-312, 2017.

VALICENTE F. H., BARRETO; M. R. *Bacillus thuringiensis* survey in Brazil: geographical distribution and insecticidal activity against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, v. 32, p. 639–64. 2003.

VALICENTE, F. H.; TUELHER, E. de S.; PAIVA, C. **Técnicas de produção e uso de entomopatógenos no controle da *Spodoptera frugiperda***. 2008.

VALICENTE, F. H.; TUELHER, E. S.; PENA, R. C.; ANDREAZZA, R.; GUIMARÃES, M. R. F. Cannibalism and virus production in *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae fed with two leaf substrates inoculated with *Baculovirus spodoptera*. *Neotropical Entomology*, v. 42, n. 2, p. 191-199, 2013.

WAQUIL, J. M. Milho: Manejo Integrado de Pragas decisivo para sucesso da cultura. *Correio Agrícola*, São Paulo, n. 1, p. 6-13, 2006.

WEI, Y.; CUI, X.; ZHOU, Z.; MA, Q.; XU, H.; LIANG, M. Growth, Cannibalism, and 5-TH Metabolism in Pufferfish (*Takifugu obscurus* ♀ × *Takifugu rubripes*): The Role of Graded Levels of Dietary Tryptophan. *Aquaculture Nutrition*, [s. l.], v. 2023, art. 6693175, 2023. DOI: 10.1155/2023/6693175. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10505084/>. Acesso em: 3 maio 2026.

ZHANG, J.-J.; SUN, L.-L.; WANG, Y.-N.; XIE, G.-Y.; AN, S.-H.; CHEN, W.-B.; TANG, Q.-B.; ZHAO, X.-C. Serotonergic Neurons in the Brain and Gnathal Ganglion of Larval *Spodoptera frugiperda*. *Frontiers in Neuroanatomy*, [s. l.], v. 16, art. 844171, 2022. DOI: 10.3389/fnana.2022.844171. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/neuroanatomy/articles/10.3389/fnana.2022.844171/full>. Acesso em: 3 maio 2026.

ZHOU, S.; LI, S.; ZHENG, X.; WANG, X.; LU, W. Behavior and developmental consequences of cannibalism in *Spodoptera frugiperda*. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, v.173, n.1, p.32–39, 2024. <https://doi.org/10.1111/eea.13531>



Universidade Federal
de São João del-Rei

ANEXO A

Termo de autorização para publicação no Repositório Institucional da UFSJ

Eu, **Marcus Vinícius Sena Nogueira**, RG 20558937 Org. Exp. SSP, CPF 70109612639, e-mail: marcussena17@gmail.com, telefone 31999826107, na qualidade de titular dos direitos de autor que recaem sobre minha produção:

(X) trabalho de conclusão de curso () dissertação de mestrado () tese de doutorado

() _____ (outro)

Título: **Otimização do processo de criação da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*)**

defendida em: 08/07/2026, no programa de (x) Graduação () Pós-Graduação em Engenharia agrônômica, com fundamento nas disposições sobre direitos autorais (Lei nº 9.610 de 19 de fevereiro de 1998), autorizo a Universidade Federal de São João del-Rei a disponibilizar gratuitamente a obra citada, sem ressarcimento de direitos autorais, para fins de leitura e impressão, a título de divulgação da produção científica gerada pela universidade, a partir desta data. Autorizo a liberação:

(x) Total

() Parcial (serão disponibilizados apenas resumo, palavras-chave, e os dados: autor, título, membros da banca examinadora, data de defesa, entre outros).

Motivo: _____.

Obs.:

- No caso de liberação parcial, a dissertação/tese impressa não poderá ser consultada no acervo.
- Estou ciente que, em caso de liberação parcial, o documento será mantido nesta opção durante 1 (um) ano a partir da data de autorização da publicação. Para ampliação deste prazo, devo manifestar-me junto a Dibib/UFSJ. Para liberação antes do prazo estipulado, formalizarei a autorização. Se não houver manifestação, o texto completo da dissertação/tese será liberado em sua totalidade e a versão impressa será disponibilizada para consulta.
- O conteúdo disponibilizado é de minha inteira responsabilidade.

Sete Lagoas, MG, 17 de julho de 2026.

Assinatura do Autor

Documento assinado digitalmente
 **MARCUS VINICIUS SENA NOGUEIRA**
 Data: 17/07/2026 12:54:25-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>