MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS

EFICIÊNCIA DE *Spodoptera frugiperda Multiple Nucleopolyhedrovirus* (SfMNPV) COMO BIOINSETICIDA NO CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* SOB CONDIÇÕES DESAFIANTES DE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR

Danielle Alves Ferreira
Eng. Agrônoma

URUTAÍ – GOIÁS
2025

DANIELLE ALVES FERREIRA

EFICIÊNCIA DE *Spodoptera frugiperda* Multiple Nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) COMO BIOINSETICIDA NO CONTROLE DE Spodoptera frugiperda SOB CONDIÇÕES DESAFIANTES DE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR

Orientador: Prof. Dr. André Cirilo de Sousa Almeida

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas para obtenção do título de MESTRE.

Urutaí – GO
2025

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

Ferreira, Danielle
F383 EFICIÊNCIA DE Spodoptera frugiperda Multiple Nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) COMO BIOINSETICIDA NO CONTROLE DE Spodoptera frugiperda SOB CONDIÇÕES DESAFIANTES DE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR / Danielle Ferreira. GOIÂNIA 2025.

36f. il.

Orientador: Prof. Dr. André Cirilo de Sousa Almeida.
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de 0133054 - Mestrado Profissional em Proteção de Plantas - Urutaí (Campus Urutaí).
I. Título.

INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO
PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
- ☑ Dissertação (mestrado)
- ☐ Monografia (especialização)
- ☐ TCC (graduação)
- ☐ Artigo científico
- ☐ Capítulo de livro
- ☐ Livro
- ☐ Trabalho apresentado em evento
- ☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:
Danielle Alves Ferreira

Matrícula:
2023101330540002

Título do trabalho:
EFICIÊNCIA DE Spodoptera frugiperda Multiple Nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) COMO BIOINSETICIDA NO CONTROLE DE Spodoptera frugiperda SOB CONDIÇÕES DESAFIANTES DE TEMPERATURA E RADIAÇÃO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☑ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ☐/☐/☐

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☑ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☑ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

• Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

• Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

• Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Goiânia — Local
06 /08 /2025 — Data

Documento assinado digitalmente
gov.br
DANIELLE ALVES FERREIRA
Data: 06/08/2025 09:22:19-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANDRE CIRILO DE SOUSA ALMEIDA
Data: 06/08/2025 08:48:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Assinatura do(a) orientador(a)

FOLHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação: EFICIÊNCIA DO *Spodoptera frugiperda* Multiple Nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) COMO BIOINSETICIDA NO CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* SOB CONDIÇÕESDESAFIANTES DE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR

Autora: Danielle Alves Ferreira

Orientador: Dr. André Cirilo de Sousa Almeida

Dissertação de Mestrado Profissional APROVADA em 23 de junho de 2025, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM PROTEÇÃO DE PLANTAS, pela Banca Examinadora especificada a seguir:

Dr. Andre Cirilo de Sousa Almeida IF Goiano

Prof. Dr.Flávio Gonçalves de Jesus IF Goiano

Drª. Janayne Maria Rezende Agbitech

Documento assinado eletronicamente por:

- **Andre Cirilo de Sousa Almeida** , **ENGENHEIRO AGRONOMO**, em 29/07/2025 07:25:05.
- **Janayne Maria Rezende**, *****.054.681-** - Usuário Externo**, em 30/07/2025 09:21:29.
- **Flavio Goncalves de Jesus** , **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 11/08/2025 10:29:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/06/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 719907
Código de Autenticação: 91b268a02b

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Urutaí
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000
(64) 3465-1900

Confia no Senhor de todo o teu coração, e não te estribes no teu próprio entendimento.
Reconhece-o em todos os teus caminhos, e ele endireitará as tuas veredas

Provérbios 3:5-6

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder as oportunidades, pelas conquistas alcançadas e por me guiar em cada passo desta jornada.

Ao meu noivo, pela paciência, compreensão e pelos constantes incentivos que me fortaleceram ao longo do caminho.

Aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio incondicional nos momentos mais desafiadores e por celebrarem comigo cada vitória.

À Dra. Janayne Maria Rezende, pela orientação dedicada, confiança, incentivo constante e por acreditar no meu potencial durante todos esses anos de convivência e aprendizado.

Ao Prof. Dr. André de Souza Almeida, pelas valiosas orientações, disponibilidade e contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Flávio Gonçalves de Jesus e à Dra. Rízia da Silva Andrade, por aceitarem compor a banca examinadora e pelas relevantes contribuições oferecidas à construção deste estudo.

À AgBiTech, pela oportunidade de desenvolver este projeto.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, pela oportunidade de cursar o Mestrado Profissional em Proteção de Plantas e por toda estrutura oferecida.

Aos colegas de laboratório da AgBiTech, pela colaboração, paciência e companheirismo durante toda essa jornada.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste mestrado.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO ix
ABSTRACT x
1 INTRODUÇÃO 1
2 OBJETIVOS 1
3 MATERIAL E MÉTODOS 2
3.1 CRIAÇÃO DOS INSETOS-PRAGA 2
3.2 CURVA DE DEGELO 2
3.3 BIOENSAIOS DE TEMPERATURA E EXPOSIÇÃO SOLAR 4
3.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA 5
3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 6
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 8
4.1 CURVA DE DEGELO 8
4.2 CURVA DE DEGELO EM ESTUFA A 50 °C 9
4.3 BIOENSAIOS DE TEMPERATURA E EXPOSIÇÃO SOLAR 11
4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR 16
4.5 ANÁLISE MICROBIANA 16
5 CONCLUSÕES 18
6 REFERÊNCIAS 19

RESUMO

A lagarta-do-cartucho, Spodoptera frugiperda, é uma das principais pragas agrícolas do Brasil, causando severos danos a culturas como milho, soja e algodão. O controle químico, embora amplamente utilizado, tem contribuído para a seleção de populações resistentes e impactos ambientais negativos. Nesse contexto, o uso de bioinseticidas à base de baculovírus, como o Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV), surge como alternativa sustentável para o manejo da praga. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de condições ambientais extremas sobre a viabilidade e eficácia do SfMNPV. Para isso, realizaram-se bioensaios de mortalidade após exposição do produto a uma temperatura constante de 50 °C, com ou sem radiação solar direta, em quatro tempos distintos (0h, 16h, 27h e 82h). Também foram conduzidas curvas de degelo para simular falhas no armazenamento térmico, expondo o produto a 40 °C após refrigeração a -5 °C e -18 °C. Os resultados mostraram que tanto o tempo de exposição quanto a radiação solar afetam significativamente a eficácia do vírus, com mortalidade larval reduzida de 78,9% para 22,0% após 82 horas sob radiação. A ANOVA indicou que os efeitos desses fatores são estatisticamente independentes além disso, não houve diferença significativa entre as temperaturas de armazenamento. Tais achados reforçam a importância do manejo térmico e da aplicação em horários de menor incidência solar para preservar a viabilidade do bioinseticida em condições de campo.

Palavras-chave: Baculovírus; controle biológico; radiação solar; temperatura.

ABSTRACT

The fall armyworm, Spodoptera frugiperda, is one of the most destructive agricultural pests in Brazil, causing substantial damage to major crops such as maize, soybean, and cotton. Although chemical control remains widely used, it has led to the selection of resistant pest populations and negative environmental impacts. In this context, bioinsecticides based on baculoviruses, particularly Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV), have emerged as sustainable alternatives for pest management. This study aimed to evaluate the impact of extreme environmental conditions on the viability and efficacy of SfMNPV. Mortality bioassays were conducted following the exposure of the product to a constant temperature of 50 °C, with or without direct solar radiation, across four time intervals (0h, 16h, 27h, and 82h). Degel curves were also performed to simulate thermal storage failures, exposing the virus to 40 °C after prior refrigeration at -5 °C and -18 °C. Results demonstrated that both exposure time and solar radiation significantly reduced virus efficacy, with larval mortality dropping from 78.9% to 22.0% after 82 hours under solar exposure. Two-way ANOVA revealed no significant interaction between the two factors, indicating independent effects. No significant differences were found between the two storage temperatures. These findings highlight the need for proper thermal management and strategic application during periods of low solar intensity to preserve viral viability under field conditions.

Keywords: Baculovirus; biological control; solar radiation; temperature.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores exportadores de produtos agrícolas do mundo, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento econômico, social e ambiental do país (Embrapa, 2018). O agronegócio nacional é impulsionado por diversas culturas, com destaque para a soja e o milho, que possuem grande relevância tanto no mercado interno quanto externo. De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2024), a safra de grãos 2023/2024 foi estimada em 298,41 milhões de toneladas, com participação predominantemente da soja responsável por 147,38 milhões de toneladas, seguida pelo milho, que registrou 115,72 milhões de toneladas.

O aumento da produção agrícola, no entanto, traz desafios, principalmente no controle fitossanitário. O crescimento da produtividade está diretamente associado ao risco de infestações por pragas agrícolas. Estima-se que mais de 600 espécies de insetos-praga representam ameaça às lavouras brasileiras, podendo causar perdas de até 20% da produção caso não sejam adequadamente manejadas (Spadotto, 2014; Cepea, 2019).

Segundo Ahmad *et al*., (2023) o controle químico ainda é o método predominante para o controle de pragas, devido à sua ação rápida e custo relativamente baixo. Embora eficaz, de acordo com Geremia (2011) o uso intensivo de inseticidas químicos acarreta sérios impactos ambientais, como a redução da biodiversidade e o desenvolvimento de resistência pelos insetos-praga, diminuindo a eficácia desses produtos ao longo do tempo.

Dentre os insetos fitófagos que atacam as plantas, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), conhecida como lagarta-do-cartucho ou lagarta-militar (Ávila *et al*., 1997; Martins *et al*., 2000), destaca-se como uma das pragas mais importantes, que afetam culturas em todo o mundo, especialmente no Brasil. Ela ataca principalmente o milho, soja, algodão e arroz, sendo uma praga polífaga capaz de se alimentar de mais de 350 espécies vegetais (Hussein *et al*., 2021). *S. frugiperda* pode causar danos em todas as fases de desenvolvimento das culturas hospedeiras, com alimentação preferencialmente durante a noite, sob temperaturas mais amenas, provocando danos como raspagem e mastigação nas folhas, o que reduz a capacidade fotossintética das plantas (Rosa *et al*., 2012). Sua capacidade de adaptação e o ciclo de vida curto favorecem a rápida reprodução disseminação, resultando em surtos populacionais em diferentes culturas. Estima-se, que o ataque da *S. frugiperda* possa causar perdas de produtividade de até 60%, dependendo das condições ambientais e das práticas de controle adotadas (Venâncio, 2024). Diversas estratégias de controle, incluindo práticas

biológicas e o uso de plantas geneticamente modificadas, têm sido exploradas para minimizar os impactos dessa praga (Madivalar; Narayanappa; Ullah, 2022).

O manejo integrado de pragas conhecido como MIP, consiste em um conjunto de práticas que visam o equilíbrio do ambiente, minimizando o uso de inseticida químico e mantendo a população dos *insetos*-praga em níveis abaixo daqueles capazes de causar dano econômico (Quintela *et al*., 2007). A adoção do MIP, envolve diferentes estratégias para a redução populacional do inseto-praga e mantê-los em níveis toleráveis no agroecossistema. Entre as estratégias que compõe o MIP estão o uso de plantas resistentes, inseticidas seletivos aos inimigos naturais, medidas culturais, medidas comportamentais do inseto, uso de parasitoides, predadores e o uso de entomopatógenos (Valicente, 2009). O controle biológico com entomopatógenos, é considerado um método seguro, pois mantém a população dos insetos-praga em níveis que não causam danos às culturas (Berti Filho; Macedo, 2011). Entre esses microrganismos, destaque-se os vírus entomopatógenos, por serem compatíveis com os produtos químicos e não causar danos à saúde humana e ambiental.

Os vírus entomopatogênicos pertencem à família *Baculoviridae* sendo considerada a mais estudada no controle de insetos-praga (Federici, 1997). Segundo o Comitê de taxonomia de vírus, os baculovírus são classificados em quatros gêneros, os *Alphabaculovirus* (NPV) e os *Betabaculovirus* (GV) ambos específicos para lepidópteros, os *Gammabaculovirus* (NPV), específicos para himenópteros e os *Deltabaculovirus* (NPV) específicos para dípteros (Jehle *et al*., 2006). Os Baculovírus são classificados como o grupo de vírus específicos para artrópodes (Jehle *et al*., 2006). Eles podem ser introduzidos ou ocorrerem naturalmente no ambiente podendo infectar a ordem Lepidoptera (Moscardi, 1999).

Os baculovírus é composto por uma fita dupla de DNA e envolto por um capsídeo proteico com o formato de bastonete conhecido por nucleocapsídeos (Castro, 1999). Os nucleocapsídeos estão protegidos por uma membrana nomeada como corpo de oclusão (OB) ou poliedros e são responsáveis pela infecção do vírus no inseto-praga. Os nucleocapsídeos presentes nos OBs podem conter apenas um nucleocapsídeo por vírion (*Single Nuclear Polyhedrosis Vírus - SNPV*) ou vários nucleocapsídeos por vírion (*Multiple Nuclear Polyhedrosis Vírus - MNPV*) (Bilimoria, 1991). O corpo de oclusão é responsável pela infecção e disseminação entre os hospedeiros (Silva Morgado *et al*., 2020) e é composto pela maior parte de proteínas denominadas poliédricas (Blissard; Rohrmann, 1990). A poliedrina, principal proteína, ajuda a proteger o vírus de altas temperaturas e radiação solar (Moscardi, 1983).

O ciclo de infecção inicia quando a lagarta ingere os poliedros, que por sua vez, se dissolvem no intestino médio do inseto, ocorrendo a liberação das partículas virais, as quais penetram nas células epiteliais do intestino do inseto-praga e se multiplicam. Ao fim da infecção primária as partículas que formam, atravessam a membrana basal da célula atingindo a hemolinfa causando a infecção secundária (Figura 1). No núcleo da célula infectada ocorre a formação de novas partículas virais rompendo as células do inseto e liberam os poliedros do tegumento da lagarta (Figura 2) (Moscardi, 2003).

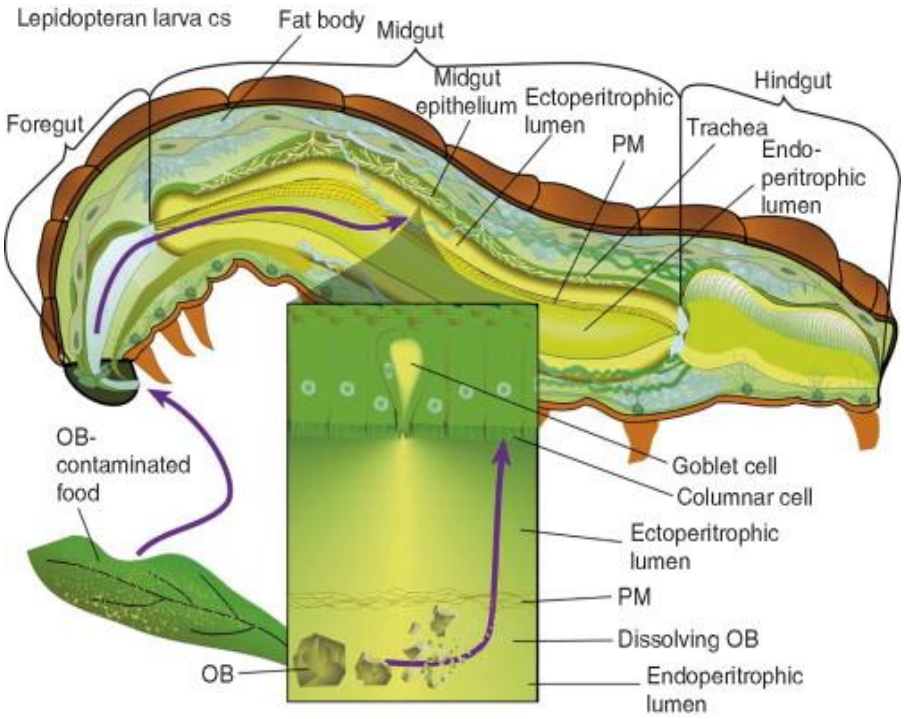

Figura 1. Infecção por Baculovírus em lagarta da ordem Lepidoptera.

Fonte: Slack; Arif (2006).

A infecção nas lagartas se dá, geralmente, nas primeiras horas após a ingestão do poliedro, o inseto-praga terá uma coloração mais clara ou rosada e perdem a mobilidade podendo levar a morte a partir do quarto dia. Visto que a lagarta é morta pelo baculovírus, ela torna-se uma fonte de inóculo contribuindo para a disseminação do vírus no ambiente (Moscardi; Souza, 2002). Outros insetos também podem promover a dispersão de partículas virais no ambiente ou ainda para locais mais distantes (Castro, *et al*, 2020).

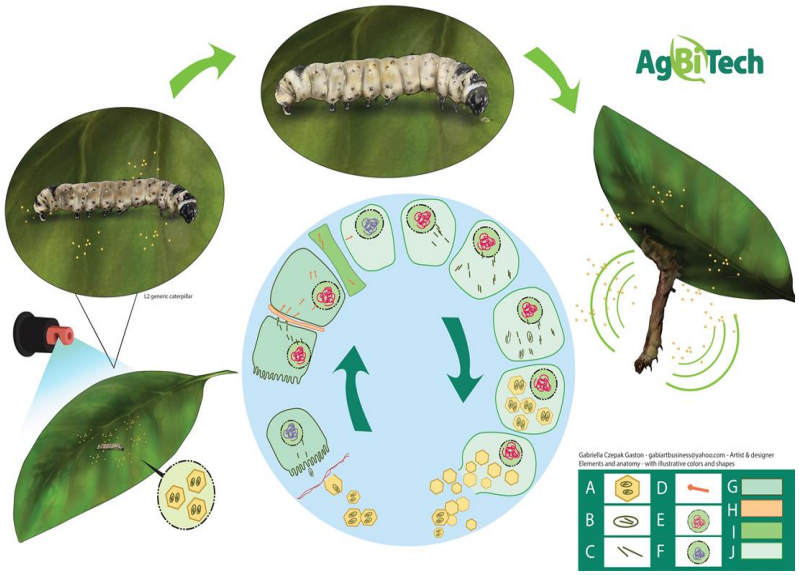

Figura 2. Ciclo de infecção na lagarta, após a ingestão do Baculovírus

Fonte: AgBiTech (2021).

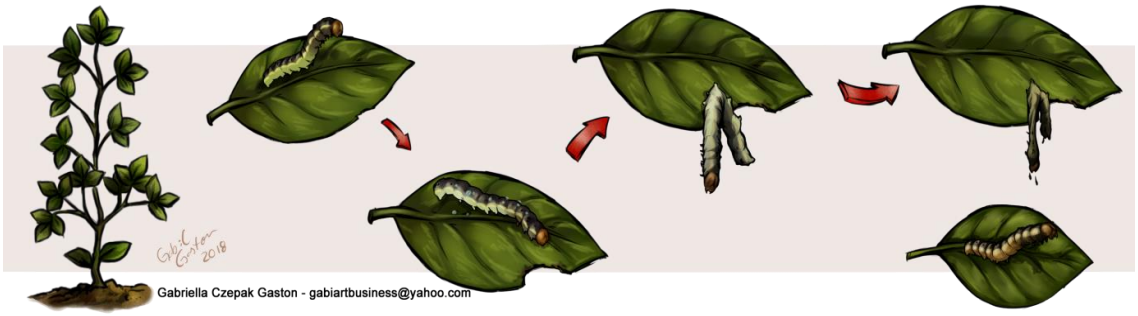

Figura 3. Infecção viral de lagartas após a ingestão de folhas contaminadas com Baculovírus

Fonte: Gaston (2018).

O *Spodoptera frugiperda Multiple Nucleopolyhedrovirus* (SfMNPV) é um exemplo de baculovírus altamente específico e eficaz para o controle da *S. frugiperda*. Este vírus age infectando as larvas da praga, causando sua morte (Hussein *et al*., 2021). Os sintomas típicos da infecção vão desde mudanças comportamentais a morfológicas, que levam à morte do inseto após alguns dias. Pode ser observada redução na alimentação e diminuição do crescimento, descoloração do tegumento e, ao morrer, rompimento deste, o que vem a liberar os poliedros no ambiente, possibilitando novos ciclos de infecção virais (Federici, 1999). O SfMNPV mostra grande potencial para o manejo integrado, sendo uma alternativa sustentável para *S. frugiperda* (Bentivenha *et al*, 2019).

Diante das inúmeras vantagens dos bioinseticidas e do crescimento expressivo de sua adoção na agricultura, diversas empresas têm intensificado os investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos à base de baculovírus. No entanto, para que esses produtos apresentem desempenho satisfatório no controle de pragas, é fundamental que mantenham alta qualidade microbiológica e estabilidade frente a fatores ambientais adversos, como temperatura elevada e radiação solar intensa. Esses elementos podem comprometer a viabilidade dos corpos de oclusão virais e, consequentemente, a eficácia do controle biológico. Além disso, o ambiente de armazenamento e transporte pode favorecer o crescimento de microrganismos indesejáveis, alterando a composição e segurança do bioinseticida. Nesse contexto, a realização de análises microbiológicas é indispensável para garantir a pureza do produto e evitar contaminações que interfiram negativamente na sua eficiência (Lacey *et al*., 2015).

O Brasil se destaca como um dos principais líderes no uso de produtos biológicos, registrando um crescimento de 30% em 2020 e atingindo um faturamento superior a 225 milhões de dólares. As projeções indicam que, até 2030, o mercado de bioinsumos no país ultrapassará a marca de 700 milhões de dólares (Blink, 2021).

O crescente interesse pelos bioinseticidas como alternativas sustentáveis ao controle biológico de pragas agrícolas tem impulsionado uma notável expansão das pesquisas na área, com aumento de 71,24% na última década (2011–2021) (Hernandez-Tenorio *et al*., 2022). No entanto, embora seu potencial seja reconhecido, a estabilidade e a viabilidade desses produtos ainda dependem de cuidados específicos ao longo das etapas de produção, armazenamento e transporte. Fatores como exposição à radiação solar, temperatura elevada e pH alcalino podem comprometer os poliedros virais, afetando sua eficácia (Gazziero, 2015). Além disso, os custos associados à manutenção de condições ideais para esses bioinsumos ainda representam um entrave à sua ampla adoção. Nesse contexto, torna-se essencial investigar estratégias que otimizem esses processos, visando garantir desempenho no campo e viabilidade econômica.

Além dessas variáveis, aspectos como umidade relativa, condições do ambiente da praga, equipamentos utilizados e tecnologia de aplicação influenciam diretamente a eficácia do bioinseticida. Dessa forma, antes de recomendar o uso de baculovírus para o controle de pragas, é fundamental realizar estudos detalhados sobre essas interações (Valicente & Cruz, 1991). Outro ponto crítico a ser considerado, é a logística, pois os baculovírus são altamente sensíveis à temperatura e requerem armazenamento sob cadeia fria, para manter sua viabilidade. Assim, garantir condições adequadas de transporte e conservação, desde a produção até a aplicação no

campo, é essencial para assegurar a eficácia do produto no controle das pragas (Shi, Zhang & Qin, 2024).

Os baculovírus possuem uma camada de proteção robusta contra estresses ambientais, conhecida como poliedrina, uma matriz proteica que envolve o DNA viral. Essa camada oferece resistência contra diversos fatores, incluindo variações de umidade e temperatura. No entanto, mesmo com essa proteção, altas intensidades de radiação UV e temperaturas muito elevadas podem comprometer a integridade da poliedrina, resultando em danos ao DNA viral e, consequentemente, na perda de eficácia do vírus como agente de controle biológico. A degradação dos metabólitos bioativos, causada por fatores como exposição ao ar, luz e temperatura, afeta diretamente a eficácia dos bioinseticidas (Hernandez-Tenorio et al., 2022).

Ainda assim, a literatura carece de estudos que avaliem simultaneamente os efeitos combinados da temperatura e da radiação solar sobre a eficácia dos baculovírus, bem como o impacto dessas condições na carga microbiana do produto. Diante dessa lacuna, o presente estudo se propõe a investigar, de forma integrada, o comportamento do baculovírus SfMNPV sob diferentes níveis de exposição térmica e solar, bem como a dinâmica de crescimento microbiano associada, contribuindo para a melhoria das estratégias de formulação, armazenamento e aplicação de bioinseticidas em condições ambientais críticas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia do bioinseticida à base de *Spodoptera frugiperda* Multiple Nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) no controle de *Spodoptera frugiperda* sob condições desafiadoras, como altas temperatura e exposição à radiação solar. Além disso, fornecer subsídios técnicos para o aprimoramento do manejo integrado de pragas, visando a otimização do uso do SfMNPV em sistemas agrícolas sustentáveis. Para atingir esse objetivo, o estudo foi estruturado em três abordagens complementares:

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. **Curva de Degelo:** Avaliar o tempo necessário para que o bioinseticida, armazenado em diferentes temperaturas (-18 °C e -5 °C), atinja o equilíbrio térmico com o ambiente externo. Essa análise visa compreender o comportamento do produto durante o transporte e armazenamento, condições críticas para a manutenção de sua eficácia no campo.
2. **Bioensaios de Temperatura e Exposição Solar:** Avaliar a eficiência do SfMNPV no controle de *Spodoptera frugiperda* sob condições ambientais desafiadoras, como altas temperaturas (50°C) e exposição à radiação solar. Como biopesticidas são sensíveis a essas variáveis, a pesquisa busca entender os impactos desses fatores na mortalidade da praga.
3. **Análise Microbiana:** Avaliar a qualidade microbiológica do bioinseticida ao longo do tempo de exposição e armazenamento, com foco na quantificação de bactérias aeróbicas e de *Bacillus sp*., a fim de verificar sua estabilidade sanitária e segurança como produto biológico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa e Inovação da AgBiTech que fica localizado no Parque Tecnológico da Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, no município de Goiânia-GO.

3.1 CRIAÇÃO DOS INSETOS-PRAGA

As populações de *Spodoptera frugiperda* utilizadas nos bioensaios, foram obtidas da criação estoque estabelecida no laboratório da empresa AgBiTech. As mariposas foram acondicionadas em gaiolas cilíndricas com tamanho de 15 cm de diâmetro por 20 cm de altura, revestidas na parte interna inferior com papel ofício e na parte interna superior com tecido *voile*, ambos tinham como função ser substrato de oviposição. As mariposas foram alimentadas com uma solução de mel diluída a 20% fornecida em roletes de algodão postos na parte superior da gaiola. O papel utilizado como substrato de oviposição era trocado a cada 2 dias.

As posturas foram colocadas em um recipiente plástico de 550 mL com tampa e, posteriormente, quando atingiram o segundo instar, foram individualizadas em bandejas com 121 células de 15 mL até o estágio de pupa. As lagartas foram alimentadas com dieta artificial à base de feijão branco, adaptada da metodologia de Greene et al., (1976). A ambiência da sala de criação das mariposas tinha as especificações de: temperatura (T) 24 ± 1°C, umidade relativa (UR) de 70 ± 10% e fotofase de 12 horas e a sala dos imaturos a temperatura de 25 ± 1°C, umidade relativa UR de 50 ± 10% e a fotofase de 12 horas.

3.2 CURVA DE DEGELO

Para investigar o tempo necessário para que o baculovírus *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (SfMNPV) atingisse o equilíbrio térmico com o ambiente externo, foram utilizados dois galões de 5 litros, previamente armazenados em temperaturas de -18 °C e -5 °C, respectivamente. O objetivo foi avaliar como diferentes condições de armazenamento influenciam o tempo de degelo e a estabilidade térmica do bioinseticida. Após a retirada dos galões da refrigeração, ambos foram submetidos a uma temperatura ambiente de aproximadamente 40 °C, com o intuito de simular situações comuns, porém não recomendadas, de exposição do produto em galpões agrícolas ou diretamente sob o sol em áreas rurais. Essa simulação buscou representar falhas logísticas frequentes no armazenamento e transporte do

SfMNPV em campo. Para monitorar a variação térmica, quatro pontos foram perfurados em cada galão, um na tampa e três nas laterais e as medições foram realizadas a cada 60 minutos com um termômetro digital tipo espeto. Adicionalmente, foi inserido um registrador de dados Datalog (modelo TagTemp-USB, NOVUS) dentro de cada galão para acompanhar continuamente a temperatura interna até o atingimento do equilíbrio com o ambiente.

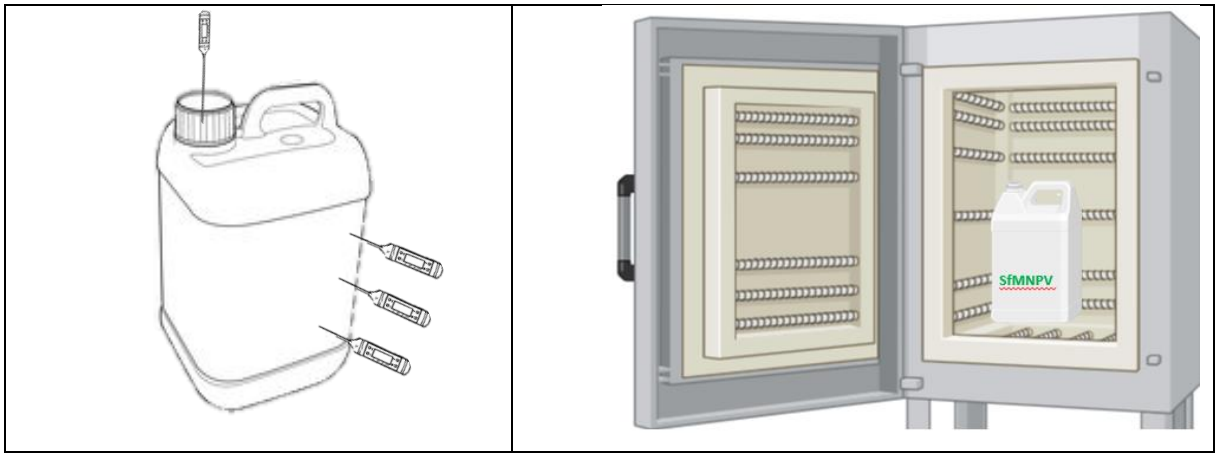

Figura 4. Esquema de Perfurações e Monitoramento de Temperatura em Galão de 5 Litros.

Foi realizada uma segunda curva de degelo com o objetivo de determinar o tempo necessário para que o produto atingisse a temperatura de 50 °C, bem como pontos intermediários relevantes para a realização do bioensaio de mortalidade. A escolha dessa temperatura se baseou em medições realizadas em caminhões de transporte com baús refrigerados desligados, nos quais foram registrados picos térmicos de até 50 °C em condições reais de campo. Para a simulação, o produto previamente armazenado a 5 °C foi transferido para uma estufa incubadora microbiológica ajustada a 50 °C. Um registrador de dados Datalog (modelo TagTemp-USB, NOVUS) foi inserido dentro de um galão de 5 litros contendo o produto, configurado para registrar a temperatura interna a cada 15 minutos. O galão foi colocado na estufa às 5h da manhã, e a primeira coleta de dados ocorreu após 3 horas e 30 minutos de exposição. As medições subsequentes seguiram conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 1. Monitoramento da temperatura (°C) de SfMNPV armazenado em estufa a 50°C.

Horas	Tempo exposto na Estufa	Temperatura (°C)
08:30 a.m	03:30	30,5
09:30 a.m	04:30	35,9
11:00 a.m	06:00	40,6
01:00 p.m	08:00	44,7
05:00 p.m	12:00	46,5
08:00 p.m	15:00	47,8
09:00 p.m	16:00	47,5
10:00 p.m	17:00	47,4
11:00 p.m	18:00	47,6
08:00 a.m	27:00	48,9
12:00 p.m	31:00	48,9
06:00 p.m	37:00	48,9
08:00 a.m	51:00	48,9
12:00 p.m	55:00	48,9
06:00 p.m	61:00	48,9
08:00 a.m	75:00	48,9
12:00 p.m	79:00	48,9
03:00 pm	82:00	48,9

3.3 BIOENSAIOS DE TEMPERATURA E EXPOSIÇÃO SOLAR

Após o armazenamento do galão do bioinseticida em uma Estufa Incubadoras Microbiológica a 50°C, durante 82 horas. Foram coletadas alíquota do produto às 16, 27 e 82 horas. Após esse período, foram preparados quatro bioensaio em dias diferentes, cada um com 4 repetições totalizando um número de 160 lagartas por tratamento. Para avaliar a atividade da temperatura e radiação solar alguns tratamentos foram submetidos à exposição solar por um período de uma hora no momento de maior incidência solar (11:00 – 12:00). Esses bioensaios foram conduzidos aplicando o método de superfície de dieta, em que são utilizadas bandejas com 30 recipientes (copo plásticos com tampa de 30mL) contendo 5mL de dieta artificial à base de feijão branco, específica para lepidópteros adaptada de Greene *et al*. (1976).

Tabela 2: Tratamentos presentes no bioensaio de temperatura (°C) e radiação solar.

N	Tratamento	Tempo de Exposição a 50°C	Exposto ao sol
T1	SfMNPV	-	não
T2	SfMNPV	-	sim
T3	SfMNPV	16h	não
T4	SfMNPV	16h	sim
T5	SfMNPV	27h	não
T6	SfMNPV	27h	sim
T7	SfMNPV	82h	não
T8	SfMNPV	82h	sim

No tratamento controle, foi utilizada apenas água destilada acrescida de 1% de corante alimentar azul (5 mL), da marca Junco®. O corante teve como objetivo auxiliar na confirmação visual da aplicação, assegurando que todos os copos fossem devidamente tratados durante o bioensaio. Para realizar o preparo das soluções contendo baculovírus, foi utilizado água ultrapura, corante alimentar em uma concentração de 1 µL de corante alimentar 1 mL de água (por exemplo, 500µL de corante alimentar em 500 mL de água) e o bioinseticida à base de baculovírus a 50mL/ha, que foram aplicadas em cada copo contendo dieta. Os bioensaios foram executados de forma que, os tratamentos controle fossem sempre o primeiro e continham apenas água e corante alimentar, para evitar a contaminação por baculovírus. Cada copo de dieta foi tratado com 100 µL da respectiva dose de SfMNPV. Depois que todos os copos de uma bandeja foram tratadas, a bandeja foi balançada lado a lado para garantir uma cobertura uniforme em toda a superfície da dieta.

Após o tempo de exposição solar em um local aberto por um período de 1 hora (11:00-12:00), com incidência de radiação solar registrada em KJ/m², sendo coletada de uma área experimental situada na Universidade Federal de Goiás, campus Samambaia, Escola de Agronomia. Lagartas de *S. frugiperda* de segundo ínstar foram individualizadas em cada copo contendo dieta e mantidas em incubadora do tipo BOD (Biochemical Oxygen Demand), marca Ethik Technology®, com temperatura de 28°C, umidade relativa (UR) de 80% e fotofase de 14 horas. As avaliações dos bioensaios foram realizadas a cada 24 horas até o sétimo dia, período necessário para observar a mortalidade das lagartas causada pelo baculovírus.

3.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

A quantificação de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) de *Bacillus*. *cereus* integra

o controle de qualidade do SfMNPV, assegurando a ausência de contaminantes bacterianos que poderiam comprometer sua aplicação em programas de manejo integrado de pragas. Para a quantificação de (UFC) de *B. cereus*, as amostras de SfMNPV foram inicialmente mantidas em temperatura ambiente até o início da análise. Em seguida, prepararam-se diluições seriadas de -1 a -4, utilizando microtubos com 450 µL de água autoclavada em cada tubo. A amostra foi coletada na quantidade de 50 µL e diluída no tubo correspondente à diluição -1, seguindo-se a diluição seriada até o tubo de diluição -4. A partir da diluição -4, 100 µL foram pipetados e inoculados em placas de Petri contendo meio de cultura MYP (Mannitol Egg Yolk Polymyxin) para a quantificação de UFC de *B. cereus*. As amostras foram homogeneizadas, utilizando beads de vidro para garantir a distribuição uniforme no meio de cultura, e as placas foram incubadas a 36°C por 24 horas. Após o período de incubação, as colônias formadas nas placas foram contadas para determinar o número de UFC.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido segundo um delineamento inteiramente casualizado (DIC), estruturado em um esquema fatorial 2 × 4, com dois fatores principais: tipo de tratamento e tempo de exposição a 50 °C. A Tabela 3 apresenta os níveis utilizados para cada fator:

Tabela 3. Fatores e níveis avaliados no delineamento fatorial 2 × 4, com dois tipos de tratamento (temperatura e radiação solar) e quatro tempos de exposição ao estresse térmico.

Fator	Níveis
Tipo de tratamento	1. Exposição à temperatura (50 °C) 2. Exposição à radiação solar (50 °C + UV)
Tempo de exposição	0 horas 16 horas 27 horas 82 horas

Dessa forma, foram avaliadas oito combinações experimentais (2 tipos de tratamento × 4 tempos). As lagartas de *Spodoptera frugiperda* tratadas com SfMNPV foram submetidas às respectivas condições ambientais, de acordo com a combinação de tempo e tipo de exposição.

A análise estatística foi realizada no software GraphPad Prism 8. Inicialmente, aplicou-se uma ANOVA fatorial de duas vias (Two-Way ANOVA), com os fatores tempo de exposição e radiação solar.

Para a comparação entre os tempos dentro de cada tratamento, foi aplicado o teste de comparações múltiplas de Dunnett, considerando o tempo 0h como controle (sem estresse térmico ou solar). Adicionalmente, foram realizados testes t para amostras independentes com correção de Sidak, a fim de avaliar diferenças específicas entre os dois tratamentos em cada tempo de exposição. O nível de significância adotado foi de 5% ($p < 0,05$), com ajustes para múltiplas comparações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CURVA DE DEGELO

Os resultados obtidos demonstram que, após 1 hora de exposição, tanto o galão de SfMNPV a -18°C quanto a -5°C atingiram 15°C a 1 hora de exposição a temperatura ambiente. A partir desse ponto, as curvas de temperatura se comportaram de forma semelhante. Após 5 horas, ambas as condições alcançaram a temperatura externa de 40°C. A análise comparativa das temperaturas iniciais mostrou que, embora haja uma diferença de temperatura no início do experimento, essa diferença foi eliminada rapidamente porque ambos os produtos atingiram a temperatura de 40°C em aproximadamente 5 horas. Esse ajuste no armazenamento, ao permitir temperaturas menos extremas, representou uma redução de 43% no consumo energético em comparação ao armazenamento a –18 °C, configurando uma estratégia mais eficiente do ponto de vista econômico.

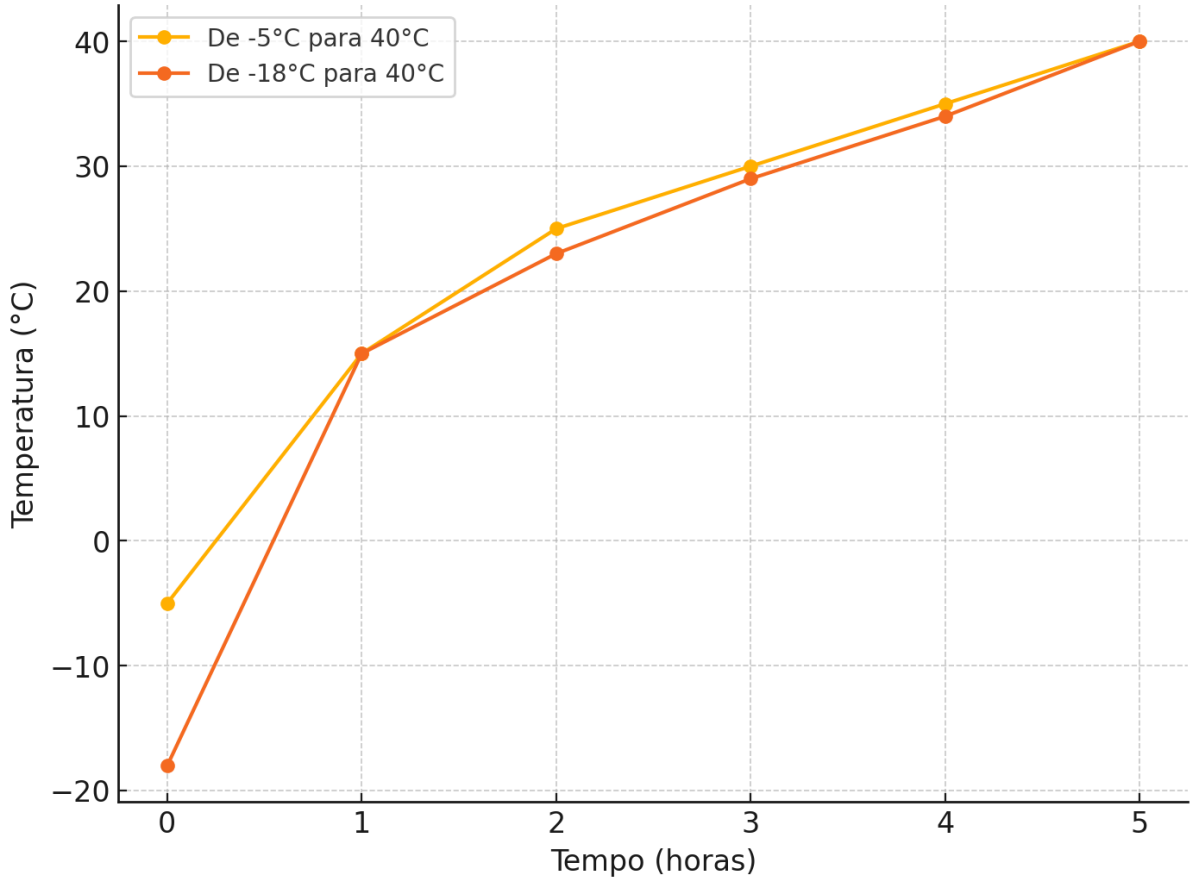

Figura 5: Variação de temperatura ao longo do tempo.

A rápida elevação da temperatura é um fator crítico para a estabilidade do bioinseticida, considerando que os baculovírus são altamente sensíveis ao calor. A integridade dos corpos de oclusão pode ser comprometida quando expostos a temperaturas elevadas por períodos prolongados, o que compromete a eficácia do produto. Assim, torna-se fundamental garantir a manutenção rigorosa da cadeia fria durante todas as etapas. A estabilidade viral está diretamente relacionada à temperatura e ao tempo de exposição, reforçando a importância de uma logística eficiente e refrigerada para assegurar a qualidade e a viabilidade do bioinseticida à base de baculovírus. Além disso, a curva sugere que o tempo entre a retirada do produto da refrigeração e sua aplicação no campo deve ser o mais curto possível. Onde as temperaturas frequentemente excedem 35 °C, o risco de comprometimento da eficácia do baculovírus é ainda maior.

Um estudo feito por Shi; Zhang; Qin (2024) destaca que a manutenção de uma logística de cadeia fria eficiente é crucial para garantir que produtos perecíveis cheguem ao destino sem perder a qualidade. Isso envolve altos custos operacionais devido à necessidade de veículos refrigerados, monitoramento constante de temperatura e otimização das rotas de transporte.

4.2 CURVA DE DEGELO EM ESTUFA A 50 °C

A segunda curva de degelo foi elaborada com o objetivo de monitorar a variação de temperatura de SFMNPV e determinar o tempo adequado para a realização dos experimentos de mortalidade por baculovírus de SfMNPV. Observou-se que a temperatura se estabilizou em 48,9°C, conforme ilustrado na Figura 6.

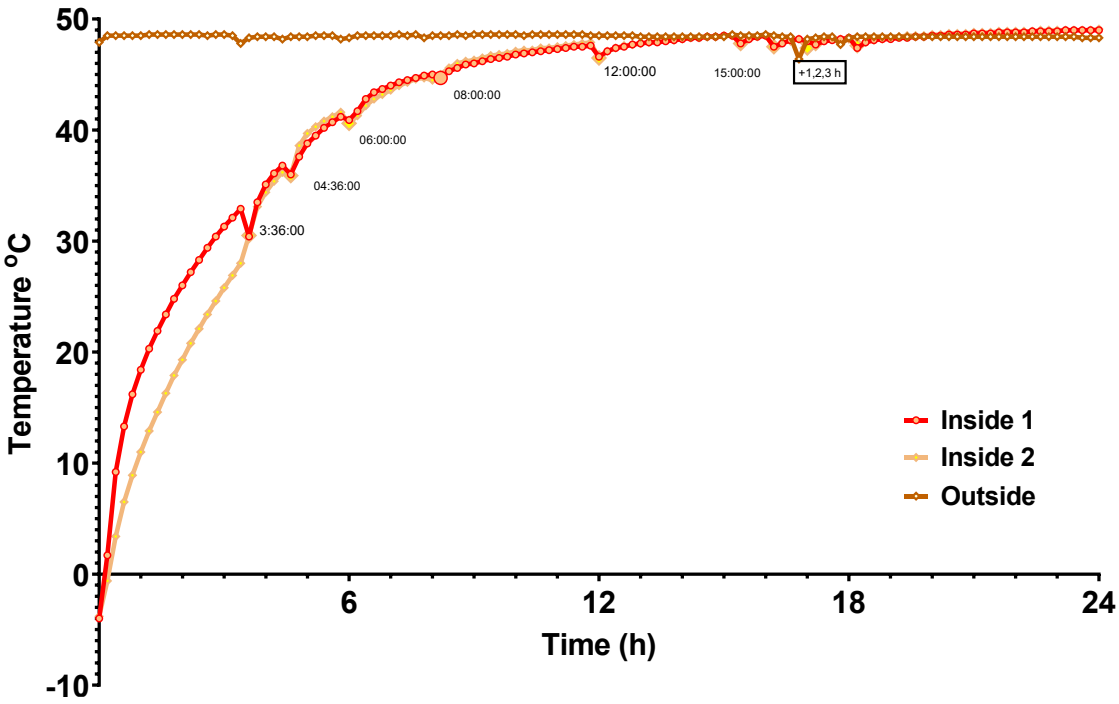

Figura 6: Curva de temperatura durante o processo de degelo e armazenamento de SfMNPV em estufa a 50°C.

Observa-se, a curva de temperatura ao longo de 24 horas, comparada com a temperatura ambiente da estufa. O gráfico mostra a evolução da temperatura durante o processo de degelo representados pelas curvas Inside 1 e Inside 2 em comparação com a temperatura ambiente da estufa Outside. Nas primeiras horas, a curva mostra um aumento rápido na temperatura do produto, seguindo um padrão exponencial à medida que se aproximam da temperatura de 50°C.

A taxa de aumento é mais acentuada durante as primeiras 6 horas, com o produto atingindo aproximadamente 40°C nesse intervalo de tempo. Esse comportamento é consistente com o observado na primeira curva de degelo, em que as amostras armazenadas a -18 °C e -5 °C também alcançaram cerca de 40 °C após 5 horas de exposição ambiente. Após esse ponto, o aumento de temperatura torna-se mais lento, estabilizando-se em torno de 48,9°C após cerca de 15 horas. A partir deste momento, a temperatura do produto permanece constante, indicando que atingiram o equilíbrio térmico com o ambiente da estufa. Outro ponto relevante é que a curva "Outside" mostrou uma estabilidade térmica rigorosa da estufa em torno de 50 °C, sem oscilações significativas durante o experimento. Esse controle térmico é essencial para garantir a padronização das condições de exposição, evitando variações que poderiam afetar a interpretação dos resultados de mortalidade.

No entanto, a permanência prolongada em temperaturas elevadas é prejudicial para a estabilidade do vírus. Portanto, os resultados reforçam a importância de considerar o tempo de exposição e a temperatura como variáveis críticas nos experimentos com baculovírus. A transição térmica rápida e o posterior equilíbrio a 50 °C proporcionam uma condição realista para testar a resistência do SfMNPV a ambientes extremos, permitindo avaliar a eficácia do bioinseticida sob estresse térmico prolongado, situação comum em regiões mais quentes.

A temperatura é um fator crítico que influencia diretamente a replicação viral em insetos hospedeiros. Evidências demonstram que temperaturas elevadas podem inibir a replicação de baculovírus, como no caso do *Helicoverpa armigera nucleopolyhedrovirus* (*HearNPV*), comprometendo sua eficácia no controle biológico (Liu, 2022). Além disso, a dinâmica de replicação e transmissão de vírus veiculados por artrópodes é igualmente modulada por variações térmicas, uma vez que os vetores ectotérmicos são altamente sensíveis às alterações ambientais. Nesse contexto, mudanças na temperatura podem afetar tanto a taxa de replicação viral quanto a competência vetorial, influenciando a propagação de patógenos em populações de insetos (Samuel et al., 2016).

4.3 BIOENSAIOS DE TEMPERATURA E EXPOSIÇÃO SOLAR

A eficácia do *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) foi avaliada sob duas condições ambientais distintas: temperatura constante de 50 °C e combinação de 50 °C com exposição direta à radiação solar. Os tempos de exposição analisados foram 0h, 16h, 27h e 82h. Em todos os intervalos avaliados, observou-se diferença estatisticamente significativa entre os dois tratamentos ($p < 0,0001$), com redução progressiva na eficácia do produto sob exposição solar.

Para verificar se os efeitos da radiação solar e do tempo de exposição atuam de forma independente sobre a eficácia do SfMNPV, foi realizada uma análise de variância fatorial (Two-Way ANOVA), considerando os fatores temperatura de 50°C e radiação solar. Os resultados indicaram que ambos influenciaram significativamente a mortalidade das lagartas tratadas com o bioinseticida ($p = 0,0012$ para temperatura de 50°C; $p < 0,0001$ para radiação solar). No entanto, a interação entre os fatores não foi significativa ($p = 0,989$), indicando que seus efeitos são estatisticamente independentes. Assim, cada fator contribui separadamente para a degradação viral, sem que haja efeito combinado.

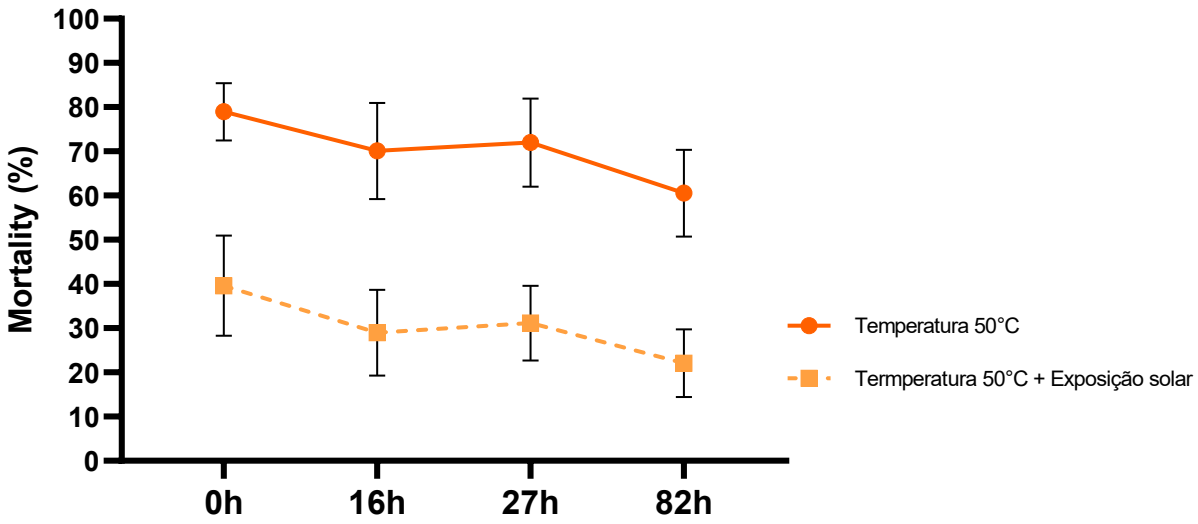

Figura 7: Mortalidade média de *Spodoptera frugiperda* após aplicação do baculovírus SfMNPV, exposto a duas condições ambientais (50 °C e 50 °C + radiação solar direta) ao longo de diferentes tempos (0h, 16h, 27h e 82h). Observa-se que a exposição à radiação solar reduziu significativamente a eficácia do bioinseticida em todos os intervalos analisados ($p < 0,0001$), com efeito deletério progressivo. Barras de erro representam o desvio padrão da média (n = 16).

No tempo inicial (0h), a mortalidade média causada pelo SfMNPV no tratamento exposto apenas à temperatura foi de 78,96%, enquanto no tratamento submetido simultaneamente à radiação solar, a mortalidade foi significativamente menor, de 39,61%. Essa diferença altamente significativa ($t = 6,424$; $gl = 30$; $p < 0,0001$) evidencia o efeito deletério imediato da radiação solar sobre a viabilidade do baculovírus, mesmo após curtos períodos de exposição.

Após 16 horas, a mortalidade média manteve-se elevada no tratamento sob temperatura de 50°C (70,09% ± 20,38), contrastando com a redução observada no grupo exposto à radiação solar (28,96% ± 18,16). O teste t confirmou a diferença significativa entre os tratamentos ($t = 6,026$; $gl = 30$; $p < 0,0001$), revelando uma redução de mais de 40 % na eficácia do produto. Esses resultados indicam que a luz solar acelera a degradação viral, comprometendo rapidamente a infectividade do SfMNPV.

No tempo de 27 horas, a eficácia do vírus permaneceu relativamente estável sob a condição de temperatura (71,98% ± 18,69), enquanto o tratamento com radiação solar apresentou nova queda (31,15% ± 15,90). A análise dos intervalos de confiança (IC 95% para

50 °C: 62,02–81,94; IC 95% para 50 °C + radiação solar: 22,68–39,62) reforça a robustez da diferença observada, sem sobreposição entre os tratamentos.

Após 82 horas de exposição, observou-se uma redução mais acentuada na eficácia em ambos os tratamentos. A mortalidade média foi de 60,54% (± 18,37) sob temperatura e 22,08% (± 14,29) sob radiação solar. O teste t (valores entre 6,608 e 6,657; gl = 30; $p < 0,0001$) confirmou que a exposição solar continua a exercer maior impacto negativo na viabilidade viral. A tendência de queda ao longo do tempo foi mais pronunciada nos tratamentos submetidos à radiação, sugerindo um efeito cumulativo e progressivo de degradação induzida pela luz solar.

De forma geral, os resultados indicam que a exposição à temperatura isolada (até 27h) não compromete significativamente a eficácia do SfMNPV. No entanto, a radiação solar reduz drasticamente a viabilidade viral desde os primeiros momentos de exposição, intensificando-se com o tempo. Tais resultados reforçam a necessidade de adoção de estratégias para mitigação da degradação ambiental do baculovírus, como o transporte em caixas térmicas, uso de formulações com fotoprotetores e a aplicação do produto em horários de menor incidência solar. Essas práticas são fundamentais para assegurar a eficácia do bioinseticida em condições de campo.

Ribeiro e Pavan (1994) destacaram que a temperatura elevada é um fator crítico para o desenvolvimento e eficácia dos baculovírus, relatando que a produção de poliédros infecciosos (PIBs) foi drasticamente reduzida em mais de mil vezes quando a temperatura atingiu 39 °C. Estes dados reforçam a necessidade de estratégias de aplicação específicas em regiões de clima quente, visando maximizar a eficiência do controle biológico.

Além disso, estudos como o de Griego *et al*. (1985) apontam que a radiação UV, particularmente em comprimentos de onda entre 290 e 300 nm, é altamente eficaz na inativação de vírus, como o multicapsídeo de *Orgyia pseudotsugata*. Este fato sugere que a exposição solar intensa, típica de regiões tropicais, pode comprometer severamente a integridade dos corpos de oclusão (OBs) dos baculovírus, como o SfMNPV utilizado neste estudo.

Nos experimentos realizados, reforçou-se a necessidade de proteger os vírus da exposição direta ao sol, recomendando-se a aplicação em horários de menor incidência solar, como o início da manhã ou o final da tarde. Valicente e Cruz (1991) já haviam sugerido que, para preservar a eficácia dos baculovírus, a pulverização fosse realizada preferencialmente no final da tarde ou início da noite.

Ademais, para garantir o sucesso no uso de baculovírus no controle de pragas, é

essencial compreender a sincronização entre a bioecologia do inseto-alvo, as características do vírus e as condições ambientais. Este entendimento permite um manejo mais eficiente dos hospedeiros suscetíveis no campo. Ainda, conforme salientado por Anggraini et al. (2022), a garantia de qualidade na produção dos baculovírus é fundamental para assegurar a eficácia e sustentabilidade dos bioinseticidas.

Importante destacar que a presente pesquisa é inovadora por ter avaliado simultaneamente os efeitos combinados de temperatura elevada e radiação solar sobre a eficácia de um baculovírus, algo pouco abordado na literatura, onde geralmente os efeitos de temperatura e radiação UV são estudados separadamente. A abordagem integrada aqui adotada oferece uma visão mais realista das condições ambientais enfrentadas pelo vírus no campo, ampliando o conhecimento sobre a estabilidade e aplicação prática dos baculovírus em programas de manejo biológico.

No lado esquerdo (solar SfMNPV) apresenta a incidência de radiação solar (KJ/m²) sobre os tratamentos expostos ao sol, representada pelos pontos que indicam medições em três dias distintos, cujas condições ambientais variaram quanto à intensidade da radiação solar e temperatura ambiente. Foram registradas radiações de 1528,3, 1752,2 e 1421,15 kJ/m², com temperaturas correspondentes de 37,85 °C, 36,5 °C e 35,7 °C, respectivamente no lado direito (Temp. SfMNPV) (Figura 8). São as temperaturas aferidas quando as bandejas estavam expostas a radiação solar, essas temperaturas foram medidas com a ajuda de um datalogger. Assim como na incidência solar, cada ponto no gráfico corresponde a uma repetição em dias distintos. Essas medições foram fundamentais para avaliar como as condições ambientais, como a radiação solar e a temperatura, afetam a eficácia do SfMNPV no controle de *S. frugiperda*.

Eroglu e Demirbag (2022) reforçam esse panorama ao relatarem que a exposição do *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) nucleopoliedrovirus (HearNPV) à radiação UV-B levou a uma redução progressiva na taxa de mortalidade das lagartas de terceiro ínstar: de 98% antes da exposição para 32% após 5 horas de irradiação. Esses dados evidenciam a rápida perda de virulência de baculovírus não formulados sob exposição solar intensa.

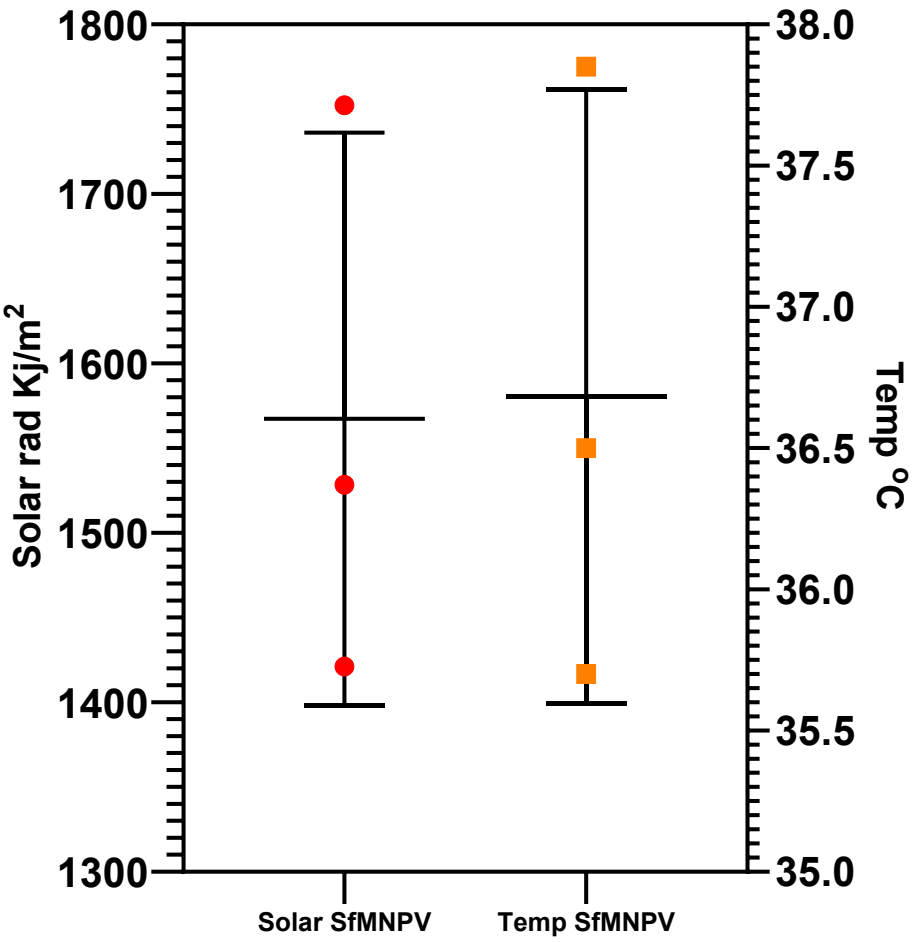

Figura 8: Medição de Radiação Solar e Temperatura em Tratamentos de SfMNPV sob Exposição à radiação solar.

Diante disso, torna-se evidente a necessidade de estratégias de mitigação. Valicente e Cruz (1991) já haviam sugerido a aplicação de baculovírus no final da tarde ou início da noite, como forma de evitar a exposição direta à radiação solar. Essa recomendação foi reforçada pelos resultados do presente estudo, que demonstraram expressiva queda na eficácia do produto ao longo do tempo de exposição solar.

Além das estratégias de manejo no campo, tecnologias inovadoras de formulação têm se mostrado promissoras. Wilson et al. (2020) propuseram o uso do encapsulamento ceroso com dióxido de titânio (Entostat-TiO_2), capaz de proteger o DNA viral da radiação solar, prolongando sua viabilidade. Anggraini et al. (2022) também destacam o potencial do uso de agentes protetores naturais por serem acessíveis, de baixo custo e alinhados aos princípios da agricultura sustentável.

Essas abordagens representam avanços importantes para enfrentar o principal gargalo do uso de bioinseticidas: sua instabilidade sob condições ambientais extremas. Com formulações mais resistentes, é possível ampliar a janela de aplicação em campo e melhorar a percepção dos produtores sobre a eficácia dos produtos biológicos.

Finalmente, os resultados aqui apresentados evidenciam a necessidade de intensificar a capacitação de agricultores quanto ao armazenamento adequado e ao momento ideal de aplicação dos baculovírus. A ideia de que "produto biológico não funciona" muitas vezes decorre de falhas no uso e não da baixa eficiência intrínseca do insumo. Em regiões como o Centro-Norte do Brasil, onde há incidência elevada de radiação solar e temperaturas elevadas, a adoção de estratégias adequadas de aplicação é ainda mais crítica para o sucesso do controle biológico.

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR

Os dados obtidos indicaram que, embora ambos os fatores causem redução da eficácia do SfMNPV, não foi identificada uma interação direta entre eles. Ou seja, a temperatura não alterou significativamente o impacto da radiação solar sobre a virulência do baculovírus, e vice-versa.

Esse comportamento sugere que os mecanismos de degradação associados ao calor e à radiação atuam de maneira independente, o que pode ter implicações importantes para o desenvolvimento de estratégias de formulação e aplicação em regiões tropicais. Ao evidenciar que cada fator ambiental exerce sua influência de forma autônoma, este estudo amplia a compreensão sobre a estabilidade dos baculovírus e fornece subsídios técnicos relevantes para o aprimoramento do controle biológico em ambientes adversos.

4.5 ANÁLISE MICROBIANA

A Figura 9 apresenta os resultados da contagem total de bactérias aeróbicas e da população de *Bacillus* sp. ao longo de 0h, 27h e 82h sob exposição a altas temperaturas. Os dados revelam um padrão microbiológico típico de crescimento seguido de declínio, indicando três fases distintas: proliferação inicial, pico populacional e queda celular.

No tempo inicial (0h), tanto a contagem total de aeróbicos quanto de *Bacillus* sp. foi de aproximadamente $1{,}0 \times 10^6$ UFC/mL, refletindo a carga bacteriana inicial do bioinseticida.

Após 27 horas de exposição a temperatura elevada, observou-se um aumento nas contagens, alcançando cerca de 2,0 × 10^6 UFC/mL nos aeróbicos totais e 1,5 × 10^6 UFC/mL nos *Bacillus*. Este crescimento sugere que, inicialmente, a temperatura proporcionou condições favoráveis à multiplicação bacteriana, possivelmente devido à ativação metabólica de microrganismos termotolerantes presentes na formulação ou no meio.

Contudo, aos 82h, ambos os grupos bacterianos apresentaram declínio significativo, com contagens reduzidas a aproximadamente 5,0 × 10^5 UFC/mL. Esta queda pode ser explicada por diversos fatores: a exposição contínua ao calor pode ter causado danos irreversíveis às membranas celulares, desnaturação de proteínas essenciais, e inibição de enzimas metabólicas, resultando na perda de viabilidade microbiana. No caso de *Bacillus* sp., ainda que seja um gênero com espécies termorresistentes (graças à capacidade de formar esporos), a exposição prolongada em condições extremas pode ter excedido sua tolerância térmica, comprometendo até mesmo sua capacidade de esporulação.

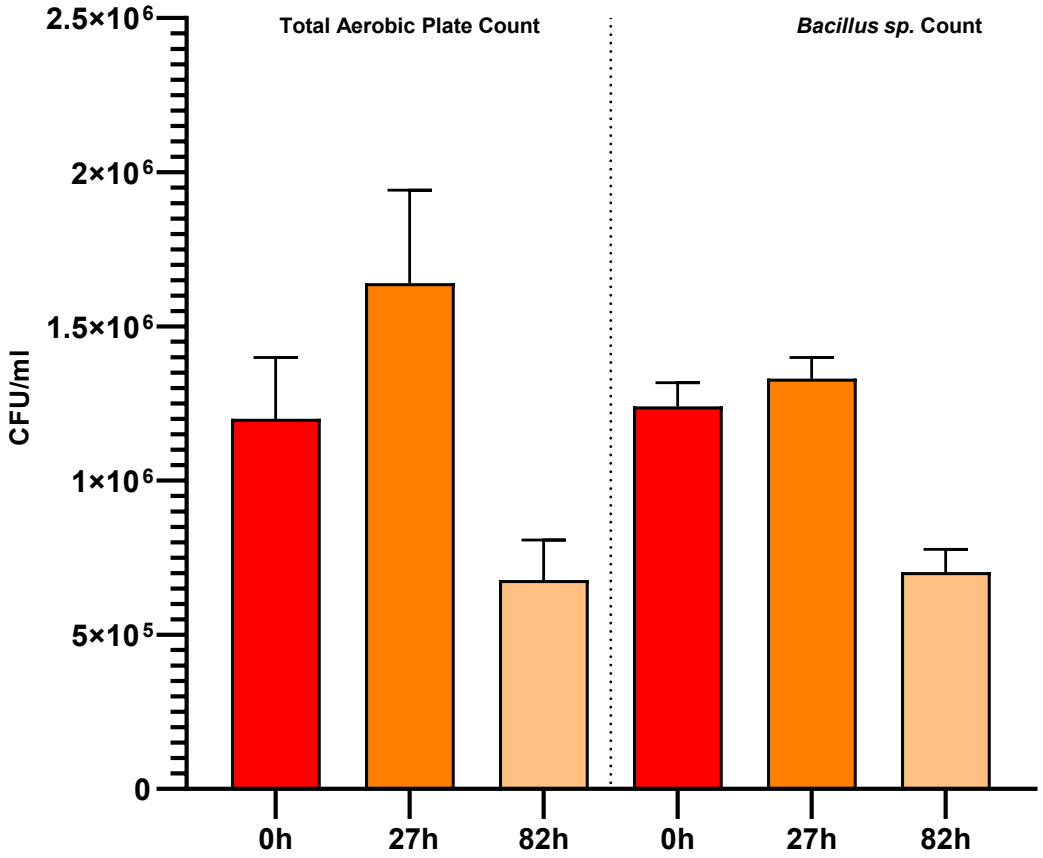

Figura 9: Crescimento Bacteriano em Altas Temperaturas ao Longo do Tempo.

Outro aspecto relevante é o possível esgotamento de nutrientes e acúmulo de metabólitos tóxicos no meio, que também contribuem para a diminuição populacional após o pico de crescimento. Esse comportamento é consistente com a dinâmica típica de culturas bacterianas em ambientes fechados (como embalagens ou recipientes selados), onde o ambiente torna-se inóspito com o tempo.

Esses resultados demonstram que, embora a temperatura elevada inicialmente possa estimular o crescimento de algumas bactérias, a exposição prolongada atua como fator limitante, sendo capaz de reduzir a carga microbiana no bioinseticida. Essa informação é relevante tanto do ponto de vista da qualidade microbiológica do produto quanto para o entendimento de sua estabilidade em condições ambientais extremas, como aquelas enfrentadas durante armazenamento ou aplicação em regiões de clima quente. Dessa forma, a análise microbiológica complementa os dados dos bioensaios, reforçando a necessidade de avaliar a estabilidade do bioinseticida de forma multidimensional.

5 CONCLUSÕES

- Não foi observada diferença significativa entre os armazenamentos a -5 °C e -18 °C, indicando que ambas as temperaturas são eficazes na conservação do *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV), desde que a cadeia fria seja mantida de forma contínua e sem falhas;
- O SfMNPV demonstrou alta eficácia no controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda)*, com mortalidade expressiva das larvas em condições ideais de aplicação;
- Temperaturas elevadas (50 °C) e exposição direta à radiação solar comprometeram significativamente a eficácia do bioinseticida, promovendo rápida degradação viral e queda acentuada na mortalidade larval ao longo do tempo de exposição.

Os resultados apresentados neste trabalho reforçam a importância de boas práticas no manuseio, armazenamento e aplicação de bioinseticidas, principalmente em regiões tropicais. O uso correto do SfMNPV representa uma alternativa viável e sustentável ao controle químico tradicional, contribuindo para o manejo integrado de pragas na agricultura brasileira.

6 REFERÊNCIAS

AHMAD S, M UMAIR, M IQBAL, A JAVAID, MB CHATTHA, S ASHRAF & AH SYED. 2023. **Chemical control of fall armyworm,** *Spodoptera frugiperda* **(Lepidoptera: Noctuidae under field conditions.** Plant Protection. 07: 579-583.

ANGGRAINI, E., LAU, W. H., VADAMALAI, G., KONG, L. L., & MAT, M. (2022). **The effect and possible mitigation of UV radiation on baculoviruses as bioinsecticides. Biodiversitas,** 23(7), 3721-3735. DOI: 10.13057/biodiv/d230749

ÁVILA, C. J.; VIVAN, L. M.; TOMQUELSKI, G. V. **Ocorrência, aspectos biológicos, danos e estratégias de manejo de** *Helicoverpa armigera* **(Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) nos sistemas de produção agrícolas**. Embrapa Agropecuária Oeste-Circular Técnica (INFOTECA-E), Dourados, MS, 2003.

ÁVILA, C.J.; DEGRANDE, P.E.; GOMEZ, S.A. **Insetos pragas: Reconhecimento, comportamento, danos e controle. In: Milho**, informações técnicas. Embrapa - CPAO. Circular Técnica, 5. Dourados, p.157-181. 1997. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/253920. Acesso em: 10 abr 2024.

BENTIVENHA, José P. F.; RODRIGUES, Juliana G.; LIMA, Marcelo F.; MARÇON, Paula; POPHAM, Holly J. R.; OMOTO, Celso. **Baseline susceptibility of** *Spodoptera frugiperda* **(Lepidoptera: Noctuidae) to SfMNPV and evaluation of cross-resistance to major insecticides and Bt proteins.** Journal of Economic Entomology, v. 112, n. 1, p. 91–98, 2019.

BERTI FILHO, E.; MACEDO, L. P. M. **Fundamentos de controle biológico de insetos-praga.** Natal, RN. 2011. Fundamentos de controle biológico de insetos-praga / Berti Filho Evoneo, Luciano Pacelli Medeiros Macedo. – Natal: IFRN Editora, 2011. p 108

BILIMORIA, S. L. The biology of nuclear polyhedrosis viruses. **Viruses of invertebrates**, p. 1-72, 1991.

BLISSARD, G. W.; ROHRMANN, G. F. Baculovirus diversity and molecular biology. **Annual review of entomology**, v. 35, n. 1, p. 127-155, 1990.

CAMACHO, J. E.; GOMEZ, M. I.; VILLAMIZAR, L. F**.** Efecto de la temperatura y de dos procesos de secado sobre la actividad insecticida de un nucleopoliedrovirus de *Spodoptera frugiperda*. **Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 15, n. 1, p. 47–53, 2014.

CASTRO, M. E. B.; DE SOUSA, M.; SIHLER, W.; RODRIGUES, J.C.M.; RIBEIRO, B. M. Biologia molecular de baculovírus e seu uso no controle biológico de pragas no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira,** v. 34, n. 12, p. 1733-1761, 1999.

CASTRO, M. E. B.; RIBEIRO, B. M.; CRAVEIRO, S. R.; INGLIS, P. W.; VALICENTE, F. H. **Controle de artrópodes-praga com vírus entomopatogênicos**. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE), 2020.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Efeito do não tratamento de pragas e doenças sobre preços ao consumidor de produtos da cadeia produtiva de soja**. Parte 3, julho, 2019. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_EstudoPragaseDoencas_Parte%202(1).pdf. Acesso em: 12 set. 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos - 6º Levantamento Safra 2023/2024.** Brasília, DF, v.11, n.6, março 2024. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 02 out. 2024.

COUCEIRO, J. C., FATORETTO, M. B., DEMÉTRIO, C. G. B., MEYLING, N. V., & DELALIBERA, I. JR. (2021). **UV-B Radiation Tolerance and Temperature-Dependent Activity Within the Entomopathogenic Fungal Genus** *Metarhizium* **in Brazil**. Frontiers in Fungal Biology, 2:645737.

EMBRAPA. **Cidades e comunidades sustentáveis: contribuições da Embrapa.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1099055. Acesso em: 12 fev. 2025.

EROGLU, G. B.; DEMIRBAG, Z. An environmentally safe and tolerant microbial insecticide utilizing *Helicoverpa armigera* single nucleopolyhedrovirus (HearNPV-TR**). Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 32, art. 53, 2022.

FEDERICI, B. A. Baculovirus pathogenesis. In: **The baculoviruses**. Springer, Boston, MA, p. 33-59, 1997.

FEDERICI, B. A. Naturally occurring baculoviruses for insect pest control. In: HALL, F. R.; MENN, J. J. (Ed.). Methods in biotechnology: biopesticides, use and delivery. Totowa, v. 5, p. 301-320. 1999.

GEREMIA, B. **Agrotóxicos:** O emprego indiscriminado de produtos químicos no ambiente de trabalho rural e a responsabilização por danos à saúde. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487-488, 1976.

GRIEGO, V. M.; MARTIGNONI, M. E.; CLAYCOMB, A. E. **Inactivation of nuclear polyhedrosis virus (Baculovirus subgroup A) by monochromatic UV radiation. Applied and Environmental Microbiology**, v. 49, n. 3, p. 709-710, 1985

HERNANDEZ-TENORIO, F., MIRANDA, A.M., RODRÍGUEZ, C.A., GIRALDO-ESTRADA, C., SÁEZ, A.A. "**Potential Strategies in the Biopesticide Formulations: A Bibliometric Analysis.**" Agronomy 2022, 12, 2665

HUSSAIN, A. G. et al. **Viruses of the Fall Armyworm** *Spodoptera frugiperda*: A Review with

Prospects for Biological Control. Viruses, v. 13. 2021.

JEHLE, J. A.; BLISSARD, G. W.; BONNING, B. C.; CORY, J. S.; HERNIOU, E. A.; ROHRMANN, G. F.; THEILAMANN, D.A.; THIEM, S. M.; VLAK, J. M. On the classification and nomenclature of baculoviruses: a proposal for revision. **Archives of virology**, v. 151, n. 7, p. 1257-1266, 2006.

LACEY, L. A., GRZYWACZ, D., SHAPIRO-ILAN, D. I., FRUTOS, R., BROWNBRIDGE, M., & GOETTEL, M. S. (2015). **Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. Journal of Invertebrate Pathology**, 132, 1-41.

MADIVALAR, YAMANURA; NARAYANAPPA, NAGESHA; ULLAH, FARMAN. **Sustainable Management of Invasive Fall Armyworm,** *Spodoptera frugiperda***. Agronomy,** v. 12, n. 9, p. 2150, 2022.

MARTINS, J.F.S.; CUNHA, U.S. da; OLIVEIRA, J.V. de. et al. **Controle de insetos na cultura do arroz irrigado.** In: GUEDES, J.C.; COSTA, I.D. de; CASTIGLIONI, E. Bases e técnicas do manejo de insetos. Santa Maria, p.137-154. 2000.

MCLEOD, P. J., YEARIAN, W. C., & YOUNG, S. Y. (1977). **Inactivation of Baculovirus heliothis by ultraviolet irradiation, dew, and temperature. Journal of Invertebrate Pathology**, 30(3), 237-241.

MORGADO, F. D. S.; SILVA, L. A.; BERNARDES, L. M.; CZEPAK, C.; STRAND, M. R.; RIBEIRO, B. M. *Trichoplusia ni* and *Chrysodeixis includens* larvae show different susceptibility to *Chrysodeixis includens* single nucleopolyhedrovirus per os infection. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 3, p. 1019-1029, 2020

MOSCARDI, F. Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. **Annual review of entomology**, v. 44, n. 1, p. 257-289, 1999.

MOSCARDI, F. **Baculovírus: um inseticida biológico contra a lagarta da soja**. Embrapa Soja-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E), 2007.

MOSCARDI, F. Uso de Baculovírus e *Bacillus thuringiesis* no controle de lagarta da soja, *Anticarsia gemmatalis*. **Soja orgânica**, p. 15, 2003.

MOSCARDI, F. Utilização de Baculovirus anticarsia para o controle da lagarta da soja, Anticarsia gemmatalis. **Embrapa Soja-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 1983.

QUINTELA, E. D.; TEIXEIRA, S. M.; FERREIRA, S. B.; GUIMARÃES, W. F. F.; DE OLIVEIRA, L. F. C.; CZEPAK, C. **Desafios do manejo integrado de pragas da soja no Brasil Central**. Embrapa Arroz e Feijão-Comunicado Técnico 149 (INFOTECA-E), 2007.

RIBEIRO, H. C. T.; PAVAN, O. H. O. Effect of temperature on the development of baculoviruses. **Journal of Applied Entomology**, v. 118, p. 316-320, 1994.

ROSA APSA & HT BARCELOS. 2012. **Bioecologia e controle de** *Spodoptera frugiperda* **em**

milho. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Clima Temperado. Documento 344. 32p.

SHI, H.; ZHANG, Q.; QIN, J. Cold Chain Logistics and Joint Distribution: A Review of Fresh Logistics Modes. **Systems**, v. 12, n. 264, 2024.

SLACK, J.; ARIF, B. M. The baculoviruses occlusion-derived virus: virion structure and function. **Advances in virus research**, v. 69, p. 99-165, 2006.

TAMEZ-GUERRA, P.; RODRÍGUEZ-PADILLA, C.; GALÁN-WONG, L. J. Solar Radiation (UV) Protectants for Microbial Insecticides. **ACS Symposium Series**, 2005.

VALICENTE, F. H. Controle biológico de pragas com entomopatógenos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.30, n.251, p.48-55, jul./ago. 2009.

VALICENTE, F.H.; CRUZ, I. **Controle Biológico da Lagarta-do-Cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com o Baculovírus.** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1991. 23p. (Circular Técnica, 15).

VENÂNCIO, MARIA GABRIELA. *Spodoptera frugiperda*: uma ameaça significativa para a agricultura brasileira. **Revista Cultivar**, 2024. Disponível em: https://www.revistacultivar.com.br. Acesso em: 14 out. 2024.

SAMUEL, Glady Hazitha et al. Yellow fever virus capsid protein is a potent suppressor of RNA silencing that binds double-stranded RNA. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 48, p. 13863-13868, 2016.

SHEN ZJ, LIU YJ, CHENG J, LI Z, MICHAUD JP, LIU XX. High temperature exposure reduces the susceptibility of Helicoverpa armigera to its nucleopolyhedrovirus (HearNPV) by enhancing expression of heat shock proteins. **Pest Manag Sci**. 2022 Jun;78(6):2378-2389

WILSON, K., GRZYWACZ, D., CURCIC, I., SCOATES, F., HARPER, K., RICE, A., PAUL, N., & DILLON, A. (2020). A novel formulation technology for baculoviruses protects biopesticide from degradation by ultraviolet radiation. **Scientific Reports**, 10, 13301.