

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 20/02/2028.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"Júlio de Mesquita Filho"

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA IMUNE E A DETECÇÃO DE
ENDOSSIMBIONTES BACTERIANOS EM *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) PROVENIENTES DE DIFERENTES
REGIÕES DO BRASIL**

LAURA MAZZUTTI BERTAGLIA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Daniela Carvalho dos Santos

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Regiane Cristina de Oliveira

BOTUCATU – SP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"Júlio de Mesquita Filho"

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA IMUNE E A DETECÇÃO DE
ENDOSSIMBIONTES BACTERIANOS EM *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) PROVENIENTES DE DIFERENTES
REGIÕES DO BRASIL**

LAURA MAZZUTTI BERTAGLIA

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biotecnologia de Botucatu, Campus de
Botucatu, UNESP, para obtenção do título de
Mestre no Programa de Pós-graduação em
Biologia Geral e Aplicada, Área de
Concentração Biologia Estrutural e Funcional.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Daniela Carvalho dos Santos

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Regiane Cristina de Oliveira

BOTUCATU – SP

B536a Bertaglia, Laura Mazzutti

Avaliação do sistema imune e a detecção de endossimbiontes bacterianos em *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) provenientes de diferentes regiões do Brasil / Laura Mazzutti Bertaglia. -- Botucatu, 2026

92 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu

Orientadora: Daniela Carvalho dos Santos

Coorientadora: Regiane Cristina de Oliveira

1. Biologia Celular e Molecular. 2. Controle Biológico. 3. *Spodoptera frugiperda*. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LAURA MAZZUTTI BERTAGLIA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA GERAL E APLICADA, DO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU.

Aos 20 de fevereiro de 2026, às 8h30min, no(a) Sala da pós-graduação (anfi 5) Central de Aulas - IBB, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LAURA MAZZUTTI BERTAGLIA, intitulada "**Avaliação do sistema imune e detecção de endossimbiontes em *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) provenientes de diferentes regiões do Brasil**". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. DANIELA CARVALHO DOS SANTOS (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / UNESP / Câmpus de Botucatu - IBB, Profa. Dra. BERTHA IRINA GASTELBONDO PASTRANA (Participação Virtual) do(a) Bacteriologia / Universidad de Córdoba, Profa. Dra. REJANE MARIA TOMMASINI GROTTTO (Participação Presencial) do(a) Departamento de Proteção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA, Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: **APROVADA**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. DANIELA CARVALHO DOS SANTOS

Impacto Potencial desta pesquisa

- 1. Título da Tese:** Avaliação do sistema imune e a detecção de endossimbiontes bacterianos em *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) provenientes de diferentes regiões do Brasil
- 2. Impacto científico:** O presente estabeleceu uma base sólida para compreender a variabilidade imunológica regional de *Spodoptera frugiperda* e as interações com endossimbiontes, utilizando citometria de fluxo para quantificar a viabilidade de diferentes tipos de hemócitos. As diferenças observadas entre populações brasileiras reforçam a importância da imunidade celular na adaptação de lepidópteros a condições ambientais distintas. A detecção diferencial de endossimbiontes sugere que a microbiota intestinal modula diretamente a competência imunológica de pragas agrícolas, redefinindo o entendimento da variabilidade populacional.
- 3. Impacto Econômico e Social:** O presente trabalho obteve resultados que apresentam implicações diretas para o manejo integrado de pragas, especialmente diante das restrições ao uso das ferramentas de supressão da praga. A identificação de populações com competências imunológicas distintas oferece subsídios para otimizar o controle biológico, pois indica que a eficácia de agentes entomopatógenos varia conforme a resposta imune local. Além disso, o perfil de endossimbiontes permite explorar diferentes estratégias, empregando simbiontes modificados como vetores de moléculas bioativas, ampliando o arsenal de ferramentas do manejo integrado.

Potential Impact of this research

- 1. Thesis Title:** Evaluation of the immune system and detection of bacterial endosymbionts in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from different regions of Brazil.
- 2. Scientific impact:** This study established a solid foundation for understanding the regional immunological variability of *Spodoptera frugiperda* and its interactions with endosymbionts, using flow cytometry to quantify the viability of different types of hemocytes. The differences observed between Brazilian populations reinforce the importance of cellular immunity in the adaptation of lepidoptera to distinct environmental conditions. The differential detection of endosymbionts suggests that the gut microbiota directly modulates the immunological competence of agricultural pests, redefining the understanding of population variability.
- 3. Economic and Social Impact:** This work obtained results that have direct implications for integrated pest management, especially given the restrictions on the use of pest suppression tools. The identification of populations with distinct immunological competencies provides support for optimizing biological control, as it indicates that the effectiveness of entomopathogenic agents varies according to the local immune response. In addition, the endosymbiont profile allows for the exploration of different strategies, employing modified symbionts as vectors of bioactive molecules, expanding the arsenal of tools for integrated management.

Dedico esse trabalho a todos que, de alguma
forma, participaram dessa minha importante
etapa acadêmica.

Não somos ninguém sem ajuda, portanto, a
vocês, serei eternamente grata.

AGRADECIMENTOS

A sensação de se realizar um trabalho acadêmico como este é indescritível.

Não acredito que algo tão mundano como palavras possam descrever o que é de fato o trajeto de quem chega até aqui, de quem perpassa por aqui, e de quem o deixa para trás, completo. Mesmo que dentro da magia das diversas línguas existentes, palavras, mesmo em sua infinitude, deixariam para trás a descrição total da sensação. Mas garanto que, mesmo diante da inabilidade da descrição etimológica, vale a pena. A busca, o trajeto, os pontos de partida e chegada. Valeu para mim, valerá para sempre.

A isto, primeiramente, gostaria de dedicar meus mais sinceros agradecimentos ao meus pais, Cleuce e Agnaldo, que incentivaram sua filha, mesmo sem se dar conta, e das mais diferentes formas, a permanecer curiosa. Sem censurá-la por gostar de insetos, mas sim, agir com compaixão quando esta vinha mostrar algum que coletava, ou contar algo que descobriu sobre eles. Por pavimentarem seu caminho diante da educação, fruto de seu trabalho conjunto, a ponto de ela não conseguir enxergar quaisquer outros caminhos senão à luz da ciência. Ao fim desta etapa, mesmo que a simples felicitação do descobrimento acerca dos insetos tenha ficado mais complexa, ainda sinto o mesmo carinho e compaixão que sentia quando era menina, ao revelar a vocês minhas novas descobertas.

Ao meu irmão, Gabriel, que mesmo diante da ocasional distância gerada pela vida adulta, e do total oposto no que se refere a apreciação por insetos, sempre viu minha perseverança na biologia como algo digno, bonito e valoroso. Por, durante meu trajeto, ele me encher de perguntas sobre os mais diversos assuntos que ele pudesse achar que tangiam a biologia, e mesmo eu não sabendo a maioria delas, pois suas indagações são longínquas e esporádicas, eu lhe sou grata. Mas eu nunca me importei negativamente de verdade. Me fazia me sentir importante. E eu gostava. De fazer parte da vida diária de alguém que confiava em mim para ter respostas, e considerá-las suficientes.

A nossa nova família, com a nossa Beatriz, que aos pouquíssimos meses de vida consegue reconquistar o júbilo de sua tia por coisas que ela esquecera há anos, como o olhar tão jovem de descobrimento sobre coisas tão banais pode ser magnífico, reconfortante e preenchedor. Compartilhamos da mesma curiosidade inata, cara sobrinha, obrigada por me lembrar como ela surge, com o que ela se aparenta, e como é lindo ter o privilégio de vê-la florescer através dos seus lindos olhinhos com cílios quilométricos.

Aos meus amigos, os de longuíssima data, os de relativamente longa e média, e até os de curta, efêmera. Não há, sequer, um de vocês em que eu não pense quando paro para refletir na minha trajetória. Obrigada por estarem comigo das mais diferentes formas, nas mais inesperadas horas, e por sempre me trazerem de volta pro chão, quando minhas ansiedades superavam a razão. O que ocorria com maior frequência do que eu desejaria. Obrigada Letícia pelos 20 anos de irmandade, por me entender tanto e ser minha rocha. Obrigada minhas irmãs Michelle, Sabrina, Naomi, Alessa, Danielle, Gabi, Giovanna, Sáskia, Alessa, as minhas primas Marcela, Mayara e Mariana, e todos que passaram por esse caminho comigo. Fico surpresa com quantas amizades sinceras fui capaz de conquistar nessa vida, quantas pessoas maravilhosas me concedem o privilégio de chama-las de amigas e como minha vida é mais repleta com elas. Espero ser merecedora. Vocês me inspiram todos os dias, e lhes serei sempre grata.

A minha tão amada e acalentadora salinha, que em um dia aleatório de Maio marcou para sempre meu coração e alma, me dando irmãs com bagagens acadêmicas similares, conselhos importantíssimos, e amizades tão ímpares e abençoadas que eu jamais conseguiria viver sem. Obrigada Tainá, Mirian, Isabelle, Beatriz, Catherine, e tantos outros, que passaram por esse nosso refúgio deixando um pouco de si para mim. Tenham a certeza de que só cheguei até aqui graças a ajuda de vocês. Das maneiras mais importantes que podem existir. Aos amigos que fiz dentro da UNESP, e que preencheram partes da minha pessoa que eu nem sabia que precisava preencher, obrigada. Victória, Ana Luiza, Juan, e todo mundo, muito obrigada pela parceria, conselhos, perspectivas e trocas. Se cheguei até aqui, com certeza foi porque vocês estavam lá, importantes como sempre foram.

Ao Laboratório de Insetos, que foi o ambiente que me permitiu crescer, cuidar e aprender tanto. Obrigada Carolina por ser minha parceira de laboratório, amiga-irmã, descobrindo juntas os rumos de nossas vidas enquanto compartilhávamos tudo. A Nicolas e Laura, minha eterna xará, obrigada por me permitirem vivenciar com vocês os seus próprios crescimentos. Sinto tanto orgulho de vocês, de onde viemos. Levarei sempre no coração nossos momentos juntos. Por onde quer que passemos. Contem comigo para qualquer coisa. Ao meu eterno coorientador Elton por ter feito de mim sua pupila e me ensinado o caminho das pedras com sua presença alegre e completa.

Às técnicas Mariana e Larissa, muito obrigada pela paciência para comigo em uma técnica nova, de me ensinarem os sins e os não's, e compreenderem meus desesperos. Obrigada pelas conversas alegres e muitos auxílios nesse mestrado. Obrigada a Marjorie e Aline pelos testes e ensinamentos que me permitiram iniciar uma etapa importante. A brilhante e generosa Vanessa, por seu dom inegável de ensinar e cativar todos ao seu redor. Muito obrigada por me ensinar, do zero, a rotina de molecular, de questionar e investigar comigo os porquês dos nossos desfechos, por fazer sempre muito mais do que deveria, por me amparar sempre e por ser essa pessoa tão maravilhosa. Sem você meu trabalho não seria um terço do que é, e eu não teria aprendido 1% do que sei. Desejo me parecer com você o tempo todo, pois sua influência faz florescer o que há de melhor naqueles que tem o prazer de tê-la em alta estima. Obrigada a Amanda, que com seu carisma ímpar me ofereceu conhecimento que, para mim, parecia inalcançável. Quero sempre ser sua amiga, e compartilhar risadas e momentos incríveis dentro e fora dos laboratórios, te desejo todo o sucesso do mundo. Obrigada Leonardo e a queridíssima professora Rejane Grotto. Léo que com sua inteligência impressionante, encontrou um tempo para me ensinar os rumos que poderia tomar diante do que parecia sem propósito. A quem também eu ainda temo desapontar a cada passo e decisão, mas que se mantém uma fonte de inspiração em minha vida acadêmica. A querida professora Rejane, por ter aceitado todas as nossas conversas e reuniões para entender os rumos do meu projeto, e por ter sido tanto para mim, e para professora Daniela. Muito obrigada pela sua bondade, inteligência e atenção para comigo. Sempre serei grata a senhora, por tudo. A toda equipe do Centro de Microscopia Eletrônica, minha capitã Shelly, Claudete, Tiago e Luiza, pela paciência e parceria de sempre, pela ajuda na adaptação de protocolos e manuseio da grande nave que é o TecnaiSpirit.

A toda a equipe da AGRIMIP, em especial a Anne, por toda a ajuda e por todos os ensinamentos dentro e fora do laboratório. Obrigada pela incrível amizade que desenvolvemos, e pelos interesses em comum que culminaram em nosso trabalho em conjunto, mais de uma vez. Obrigada a todos os membros pela dedicação e ensinamentos sobre as criações e atenção para comigo até aqui.

Finalmente, meu mais sincero e gigantesco agradecimento a minha orientadora Daniela Carvalho dos Santos, e coorientadora Regiane Cristina de Oliveira.

À Daniela, como poderia fazer jus a tudo que lhe devo? Por ter me aceitado como sua aluna de IC ainda completamente inexperiente, com apenas o desejo de lidar com o que quer que fosse sobre insetos. Por ter olhado para mim com olhos cheios de possibilidade, e ter me dado um caminho a trilhar. Por sempre me incentivar e me impulsionar desde sempre. Por me acolher em meus pânicos, receios e desmotivações. Por sempre saber o que dizer e o que fazer, mesmo que eu sempre lhe apareça com notícias ruins ou complexas. Por ser extremamente sensível e necessária na vida de uma humilde aluna que só sabe se preocupar, e falar besteira em tom de brincadeira. Sem você eu nem teria imaginado chegar onde cheguei, não me permitira sonhar o que ainda posso ser, e espero ser para alguém o que a senhora é para mim no futuro: uma fonte de calma, inspiração, determinação e sabedoria. Sabedoria, não só acadêmica, mas emocional. Foram muitas vezes o seu discernimento e julgamento que me fizeram voltar pro planeta Terra e olhar tudo com outros olhos. Ser grata pela enorme sorte que possuo por ser sua aluna, e como eu jamais conseguiria ser outra coisa. Quero estar sempre com você, enquanto você me permitir. Amo você de todo o meu coração, e é com toda a emoção que meu ser consegue processar que lhe digo, mais uma vez, o meu MUITO OBRIGADA, querida “Mãe Científica”.

À Regiane, a quem sempre estendeu suas generosas mãos a mim e a professora Daniela. A quem sempre me tratou com tanto cuidado e carinho que faz meus olhos marejarem só de lembrar. Talvez eu nunca seja capaz de compreender a fonte da sua bondade, ou o que a senhora enxergou em mim, mas serei pra sempre grata por ela, pois você também segue sendo uma fonte de inspiração constante em cada passo que dou, academicamente, profissionalmente e pessoalmente. Saiba que a sua constante fé em mim fez com que eu engolisse todo o medo que possuía e seguisse em frente, vendo sempre de maneira nova e com encantamento aquilo que fazia. Era muito bonito vê-la falando do meu projeto com tanto entusiasmo, e era impossível não se contaminar com ele e isso foi definitivamente um ponto de virada quando tudo aparentava estar errado. Obrigada por seu olhar tão sonhador sobre mim, por suas palavras sempre tão precisas em momentos tão importantes, por ter me permitido chegar até aqui. Assim como a professora Daniela, amo a senhora de todo o meu coração, e sempre darei o melhor de mim para fazer valer a pena toda a expectativa que a senhora tem sobre mim.

Por fim, de uma maneira geral, gostaria de agradecer a todos que seguiram comigo nesses últimos anos. Seja dentro ou fora da faculdade. Em Botucatu ou fora dela. A todos que interagiam comigo mesmo que minimamente. Obrigada a universidade pública, gratuita e acessível a quem, assim como eu, sonha em estudar e se profissionalizar em pesquisa e educação. Não me imagino fazendo algo que não seja ciência, e a celebro a todo momento. Obrigada a CAPES pela concessão da bolsa para que eu pudesse seguir esse sonho, e realizar tantos outros.

Aqui realizei o que não imaginava que poderia realizar e, apesar de ter muita dificuldade para reconhecer, me encontro radiante por não ter desistido. À minha própria maneira, consigo sim enxergar minhas conquistas e me enche o peito saber que perseverarei dentro das minhas dificuldades e rigidezes para conquistar o título de mestra.

Olhe ao seu redor Lau. Você conseguiu. E estão todos aqui com você.

“O começo de todas as ciências é o
espanto de as coisas serem o que são”.

-Aristóteles

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Campo Mourão (PR) por CF.

Figura 2: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Campo Verde (MT) por CF.

Figura 3: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Casa Branca (SP) por CF.

Figura 4: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Cascavel (PR) por CF.

Figura 5: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Dourados (MS) por CF.

Figura 6: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Londrina (PR) por CF.

Figura 7: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Luís Eduardo Magalhães (BA) por CF.

Figura 8: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Rio verde (GO) por CF.

Figura 9: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Sapezal (MT) por CF.

Figura 10: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Sorriso (MT) por CF.

Figura 11: Análise de hemócitos de *S. frugiperda* de Laboratório por CF.

Figura 12: Gráfico boxplot da distribuição de viabilidade celular (%) de hemócitos de *S. frugiperda* obtidos por CF com marcação PI/AnxV.

Figura 13: Hemócitos da população de Campo Mourão (PR) utilizando MET.

Figura 14: Hemócitos da população de Campo Verde (MT) utilizando MET.

Figura 15: Hemócitos da população de Casa Branca (SP) utilizando MET.

Figura 16: Hemócitos da população de Cascavel (PR) utilizando MET.

Figura 17: Hemócitos da população de Dourados (MS) utilizando MET.

Figura 18: Hemócitos da população de Londrina (PR) utilizando MET.

Figura 19: Hemócitos da população de Luís Eduardo Magalhães (BA) utilizando MET.

Figura 20: Hemócitos da população de Rio Verde (GO) utilizando MET.

Figura 21: Hemócitos da população de Sapezal (MT) utilizando MET.

Figura 22: Hemócitos da população de Sorriso (MT) utilizando MET.

Figura 23: Hemócitos da população de Laboratório utilizando MET.

Figura 24: Gráfico da Detecção do gênero bacteriano *Hamiltonella* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR.

Figura 25: Detecção do gênero bacteriano *Klebsiella* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 26: Detecção do gênero bacteriano *Carsonella* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 27: Detecção do gênero bacteriano *Burkholderia* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 28: Detecção do gênero bacteriano *Arsenophonus* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 29: Detecção do gênero bacteriano *Burkholderia*, *Lactococcus* e *Wolbachia* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 30: Detecção do gênero bacteriano *Cardinium*, *Hamiltonella* e *Klebsiella* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 31: Detecção do gênero bacteriano *Arsenophonus*, *Carsonella* e *Rickettsia* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 32: Detecção do gênero bacteriano *Regiella* e *Spiroplasma* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer.

Figura 33: Detecção do gênero bacteriano *Regiella* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequeno pico indicando positivo visível ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ◉: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 34: Detecção do gênero bacteriano *Cardinium* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequeno pico indicando positivo visível ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ◉: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 35: Detecção do gênero bacteriano *Rickettsia* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequeno pico indicando positivo visível ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ◉: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 36: Detecção do gênero bacteriano *Wolbachia* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequeno pico indicando positivo visível ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ◉: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 37: Detecção do gênero bacteriano *Lactococcus* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequeno pico indicando positivo visível ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ◉: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 38: Detecção do gênero bacteriano *Spiroplasma* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequeno pico indicando positivo visível ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ◉: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 39: Detecção do gênero bacteriano *Serratia* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequenos picos indicando positivos visíveis ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ●: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 40: Detecção do gênero bacteriano *Sodalis* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. Pequenos picos indicando positivos visíveis ao final da corrida. ↓: Curva correspondente a dímeros de primer. ●: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 41: Detecção do gênero bacteriano *Enterococcus* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ●: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 42: Detecção do gênero bacteriano *Enterococcus* em intestino de *S. frugiperda* por qPCR. ●: Curva correspondente a possível positivo.

Figura 43: Checagem em gel da detecção dos gêneros bacterianos *Sodalis*, *Regiella* e *Cardinium*. O terceiro e décimo poço apresentam banda esmaecida, mas presente. So: *Sodalis*, Rg: *Regiella*, Cd: *Cardinium*, Ld: Ladder. CN: Controle Negativo

Figura 44: Checagem em gel da detecção do gênero bacteriano *Serratia*. 11 das 14 amostras mostram bandas. Se: *Serratia*, Ld: Ladder. CN: Controle Negativo.

Figura 45: Checagem em gel da detecção do gênero bacteriano *Enterococcus*. 18 das 26 amostras mostram bandas. 9 das 10 amostras mostram bandas. En: *Enterococcus*, Ld: Ladder. CN: Controle Negativo.

Figura 46: Checagem em gel da detecção do gênero bacteriano *Sodalis*. Todas as nove amostras mostram bandas. So: *Sodalis*, Ld: Ladder. CN: Controle Negativo.

Figura 47: Checagem em gel da detecção do gênero bacteriano *Enterococcus*. Oito das onze amostras mostram bandas. En: *Enterococcus*, Ld: Ladder. CN: Controle Negativo.

Figura 48: Checagem em gel da detecção do gênero bacteriano *Serratia*. Onze das quatorze amostras mostram bandas. En: *Enterococcus*, Ld: Ladder. CN: Controle Negativo.

Figura 49: Resultados da corrida das amostras iniciais de *Serratia*.

Figura 50: Resultados da corrida das amostras de DNA extraídas por BEADs magnéticas.

Figura 51: Resultados da corrida das amostras de DNA extraídas por coluna.

Figura 52: Gel de agarose mostrando a presença de bandas positivas nas diferentes metodologias de extração de DNA. B: BEADs, C: Coluna. N: controle negativo, L: Ladder.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação de primers utilizados, suas sequências, condições de PCR e referências.

Tabela 2: Comparação de tamanho e peso entre as populações de *S. frugiperda*. (Média e desvio padrão das variáveis segundo localidade ($p < 0,05$)).

Tabela 3: Tabela da diferença significativa entre as viabilidades das populações. As populações não tabeladas não possuem diferenças significativas entre si.

Tabela 4: Resultados da quantificação por nanodrop das amostras de DNA extraídas por BEADs magnéticas e kit de colunas. C: Coluna, B: BEADs.

LISTA DE SIGLAS:

MET: Microscopia Eletrônica de Transmissão.

CF: Citometria de Fluxo.

AnxV: Anexina V.

PI: Iodeto de Propídeo.

PS: Fosfatidilserina.

SUMÁRIO

RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
A. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
1. <i>Spodoptera frugiperda</i>	16
2. Sistema Imune dos Insetos.....	18
2.1 Sistema Imune Celular.....	19
2.2 Sistema Imune Humoral.....	21
3. Endossimbiontes Intestinais de Insetos.....	21
4. Referências.....	23
 B. CAPÍTULO 1.....	 30
1. Introdução.....	31
2. Objetivo.....	32
3. Materiais e métodos.....	33
3.1 Criação dos insetos.....	33
3.2 Coleta da hemolinfa.....	33
3.3 Protocolo para microscopia eletrônica de transmissão.....	34
3.4 Protocolo para citometria de fluxo.....	34
3.5 Extração de DNA dos intestinos de <i>S. frugiperda</i> e qPCR.....	35
3.6 Checagem dos possíveis positivos em gel de agarose.....	35
3.7 Análise estatística.....	35
4. Resultados.....	36
4.1 Relação tamanho x peso das populações.....	36
4.2 Viabilidade dos hemócitos das diferentes populações de <i>S. frugiperda</i>	37
4.3 Ultraestrutura dos hemócitos.....	46
4.4 Detecção de endossimbiontes por qPCR.....	58
4.5 Checagem em gel de agarose.....	65
5. Discussão	68
6. Conclusão.....	74
7. Referências.....	75
 C. APÊNDICES.....	 84
1. Limitações da técnica.....	84
2. Impossibilidade da imunofenotipagem.....	84
3. Complicações da detecção de endossimbiontes.....	85
 D. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 90

RESUMO

Spodoptera frugiperda é uma espécie polífaga, cujo estágio larval causa danos em plantações de milho, por exemplo, onde é responsável por causar perdas de mais de 38% da produção. A ampla diversidade de plantas hospedeiras que a lagarta-do-cartucho consegue se alimentar pode ser capaz de exercer diferentes respostas no ciclo biológico dela, podendo estimular ou inibir diversos mecanismos de defesa, dentre eles, o sistema imunológico, cuja resposta pode variar entre eventos celulares e humorais. O meio ambiente pode influenciar na modulação do sistema imune dos insetos e, microrganismos intestinais desempenham um papel crucial nessas respostas imunes e nos níveis de suscetibilidade a inseticidas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar comparativamente os hemócitos de diferentes populações de *S. frugiperda* provenientes de regiões geográficas brasileiras distintas, bem como determinar a presença de endossimbiontes nestes insetos, buscando reconhecer diferenças entre estes aspectos que possam estar relacionados a suscetibilidade e/ou resistência dessa praga nos diferentes cenários agrícolas do milho no Brasil. A hemolinfa de lagartas de 10 (dez) populações de diferentes localidades brasileiras e de 1 (uma) população de laboratório foi coletada e processada para microscopia eletrônica de transmissão e citometria de fluxo, enquanto os intestinos destas lagartas foram processados para detecção de endossimbiontes por qPCR. Os resultados obtidos mostraram diferenças ultraestruturais nos hemócitos entre as populações de *S. frugiperda* investigadas, além de diferenças na viabilidade dos hemócitos de acordo com a região geográfica de origem. Com relação a detecção de endossimbiontes, os resultados revelaram que os alvos encontrados não estão presentes de maneira homogênea entre as populações estudadas, além de revelarem detecção de algumas bactérias na população replicada em laboratório. Assim, é possível concluir que a composição e viabilidade hemocitárias, somada a composição endossimbiótica de *S. frugiperda* podem modular a suscetibilidade e/ou resistência desta praga em culturas de milho de diferentes regiões geográficas do Brasil.

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda is a polyphagous species whose larval stage causes damage to crops such as maize, where it is responsible for yield losses exceeding 38%. The broad diversity of host plants on which the fall armyworm can feed may elicit different responses throughout its life cycle, potentially stimulating or inhibiting various defense mechanisms, including the immune system, whose responses may vary between cellular and humoral events. Environmental factors can influence the modulation of the insect immune system, and gut microorganisms play a crucial role in these immune responses as well as in susceptibility to insecticides. Thus, the aim of this study was to comparatively evaluate the hemocytes of different populations of *S. frugiperda* from distinct Brazilian geographic regions, as well as to determine the presence of endosymbionts in these insects, in order to identify differences that may be associated with susceptibility and/or resistance of this pest in different maize production systems in Brazil. Hemolymph from larvae of ten populations from different Brazilian locations and one laboratory population was collected and processed for transmission electron microscopy and flow cytometry, while the intestines of these larvae were processed for endosymbiont detection by qPCR. The results revealed ultrastructural differences in hemocytes among the investigated *S. frugiperda* populations, as well as variations in hemocyte viability according to their geographic origin. Regarding endosymbiont detection, the results showed that the detected targets were not homogeneously distributed among the studied populations and also indicated the presence of certain bacteria in the laboratory-maintained population. In conclusion, hemocyte composition and viability, together with the endosymbiotic profile of *S. frugiperda*, may modulate the susceptibility and/or resistance of this pest in maize crops across different geographic regions of Brazil.

A. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 *Spodoptera frugiperda*

Spodoptera frugiperda (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) também conhecida como lagarta-do-cartucho ou *fall armyworm* (FAW), é uma praga agrícola considerada cosmopolita (Silva *et al.*, 2024; Kenis *et al.*, 2022) e de fácil dispersão, uma vez que é capaz de se alimentar de diversos tipos de plantas, possuem alta mobilidade e fecundidade, podendo atingir cerca de oito gerações ao ano, além de apresentar um comportamento bastante plástico, no que se refere à adaptação de diferentes condições ambientais (Paredes-Sánchez *et al.*, 2021; Zazycki, 2014; Kenis *et al.*, 2022).

Apesar de ser nativa de áreas tropicais e subtropicais das américas, registros dessa praga foram documentados em uma série de países como Estados Unidos, Canadá, Argentina, Índia, China, Nigéria, Benin, Togo, México, Bangladesh, Sri Lanka, Tailândia, Holanda, Alemanha, entre outros (Silva *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2024; Georgen *et al.*, 2016; Carvalho, 2019; Kenis *et al.*, 2022).

Desde a chegada ao continente africano em 2016, essa praga se distribuiu por todo noroeste do continente em menos de dois meses, chegando até os continentes asiático e europeu em 2018 (Carvalho, 2019; Georgen *et al.*, 2016). A expansão não cessou, e em 2019 houve o primeiro registro dessa praga na China, onde se espalhou por mais de 26 províncias em tempo recorde (Chen *et al.*, 2024).

Assim, *S. frugiperda* constitui-se em uma das mais relevantes pragas agrícolas de abrangência global, com impacto particularmente severo sobre as culturas de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Contudo, o hábito polífago amplia o espectro de hospedeiros, uma vez que já foi registrada em mais de 350 espécies vegetais pertencentes a mais de 76 famílias botânicas distintas, ocasionando prejuízos econômicos e biológicos expressivos em diferentes sistemas produtivos ao redor do mundo (Montezano *et al.*, 2018). Essa ampla plasticidade alimentar, aliada à elevada capacidade adaptativa, reforça sua posição como uma das principais ameaças fitossanitárias no cenário agrícola contemporâneo (Silva *et al.*, 2024).

A magnitude do problema é intensificada por fatores associados ao manejo agrícola, como a proximidade e a rotatividade de cultivos suscetíveis, o desequilíbrio ecológico decorrente da eliminação de inimigos naturais por inseticidas de amplo espectro, bem como o uso inadequado de produtos fitossanitários e de materiais

geneticamente modificados sem o devido posicionamento técnico. Tais práticas, em vez de promoverem um controle efetivo, frequentemente resultam na seleção de populações resistentes e no consequente aumento da densidade da praga acima do nível de dano econômico, perpetuando ciclos de infestação e perdas significativas (Praxedes Júnior, 2024; Silva *et al.*, 2024).

As perdas econômicas mundiais derivadas da ação de *S. frugiperda* em diversas culturas, mas principalmente no milho, são de escala bilionária. Na China, a *S. frugiperda* vem causando danos em milho capazes de reduzir a produção em 20-30% (Chen *et al.*, 2024), na Etiópia a presença dessa praga em culturas de milho causa uma perda média de cerca de 36% da produção anual, e acarretam em um prejuízo estimado de 9.4 bilhões de dólares em colheitas perdidas em todo o continente africano (Kenis *et al.*, 2022). No Brasil, estima-se que ela seja responsável por mais de 25% dos prejuízos causados nas culturas de milho (Zazycki, 2014), e as perdas anuais em algumas produções podem chegar até 100% (Montezano *et al.*, 2018), sendo considerada uma das mais importantes pragas do país, e a principal a atingir a cultura do milho durante todo o ciclo, onde causa extensos danos às plantas, e à economia brasileira (Silva *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2024; Praxedes Júnior, 2024; Rosa & Barcelos, 2012).

Além do extensivo potencial de dano, e a capacidade de habitar centenas de plantas hospedeiras, essa espécie possui dois “biótipos”, isto é, dois grupos que se diferem genética e fisiologicamente, onde um ocorre nas culturas de arroz e outro nas culturas de milho (Zazycki, 2014; Carvalho, 2019). Ambos os biótipos são idênticos no que se refere a morfologia, hábitos reprodutivos e composição de feromônios, e só podem ser distinguidos através de técnicas moleculares (Sun *et al.*, 2021). Datações feitas com genes desse inseto revelaram que, possivelmente, essas raças teriam se dividido há mais de 2 milhões de anos, e possuem grande variação genética, fazendo com que o biótipo do milho prefira milho, sorgo, milhete e algodão, enquanto o biótipo do arroz prefere se alimentar de gramíneas (Oliveira & Cônsoli, 2023; Marulanda-Moreno *et al.*, 2024), mas ocorrem em simpatria (Dumas *et al.*, 2015). No Brasil, tais biótipos coexistem, e podem apresentar uma compatibilidade sexual restrita (Carvalho, 2019), além de suscetibilidades diferentes a pesticidas (Arias *et al.*, 2019).

Historicamente, o tipo de controle mais comum para controle da lagarta-do-cartucho é o controle químico. Porém, o uso extensivo, contínuo, incorreto, e a alta adaptabilidade desse inseto, muitas vezes acarretam o efeito oposto, impulsionando o desenvolvimento de resistência a uma série de inseticidas, minando essa estratégia em

campo (Carvalho, 2019; Arias *et al.*, 2019). Além disso, novas estratégias como o uso de plantas transgênicas que expressam proteínas inseticidas da família Cry de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Crickmore *et al.*, 2021), por exemplo, também são amplamente utilizados como um recurso eficiente e menos agressivo ao meio ambiente, mas o custo é mais elevado, e o uso indiscriminado também podem levar a um controle insuficiente e ao aumento da seleção de populações resistentes da praga (Catañeda-Molina *et al.*, 2020; Carvalho, 2019). Muitos dos produtos utilizados para controlar a *S. frugiperda* já tiveram documentações de resistência consolidada. Segundo o IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) a *S. frugiperda* mostrou-se resistente ao grupo 1A dos Carbamatos, ao grupo 1B dos Organofosforados, ao grupo 3 dos Piretroides, e ao grupo 11A de *Bacillus thuringiensis* (Bt). O APRD (Arthropod Pesticide Resistance Database) da Universidade de Michigan oferece uma lista dos mais de 40 produtos aos quais a lagarta-do-cartucho já apresentou resistência documentada, entre eles a Lambda-Cialotrina, Clorantraniliprole, Deltametrina, Spinosad, entre outros.

A evolução da resistência contra inseticidas químicos e as estratégias transgênicas fazem com que sempre seja necessária a criação de métodos alternativos para tentarem controlar *S. frugiperda* (Guan *et al.*, 2020; Praxédes Júnior, 2024). Dessa forma, o manejo de *S. frugiperda* exige estratégias integradas e cientificamente embasadas, capazes de mitigar a adaptabilidade e reduzir os impactos sobre a produtividade agrícola. Neste estudo oferecemos uma avaliação do sistema imune desse inseto, bem como a relação de endossimbiontes bacterianos intestinais que podem modular esse sistema, auxiliando ou prejudicando a resistência em campos de milho de diferentes regiões do Brasil.

2. REFERÊNCIAS

ACHRE, D. WAJNBERG, E. CÔNSOLI, F. L. et al. Gut bacteria of *Spodoptera frugiperda* establish endophytic association and affect the interactions of their host herbivore with maize plants. *Journal of Pest Science*, v. 98, n. 2, p. 1003–1018, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01860-4>. Acesso em: 08, abr. 2025.

ARAÚJO, H. R. C. de. **CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS HEMÓCITOS DO *Aedes aegypti* E DO *Aedes albopictus* E A RESPOSTA IMUNE DOS HEMÓCITOS DO *Aedes aegypti* APÓS A INFECÇÃO PELO Dengue virus.** 2011. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: https://www.cpqrr.fiocruz.br/texto-completo/T_30.pdf. Acesso em: 25 jun. 2024.

ARIAS, O. et al. Population genetic structure and demographic history of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): implications for insect resistance management programs. *Pest Management Science*, v. 75, n. 11, p. 2948–2957, nov. 2019. DOI: 10.1002/ps.5407. Acesso em: 13, jun. 2024.

BREHÉLIN, M.; ZACHARY, D. Insect haemocytes: a new classification to rule out the controversy. In: BREHÉLIN, M. (Ed.). *Immunity in Invertebrates*. Berlin: Springer, 1986. p. 36–48. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-70768-1_4. Acesso em: 07, out. 2025.

BROWNE, N; HEELAN, M; KAVANAGH, K. An analysis of the structural and functional similarities of insect hemocytes and mammalian phagocytes. *Virulence*, v. 4, n. 7, p. 597–603, 2013. DOI: [10.4161/viru.25906](https://doi.org/10.4161/viru.25906). Acesso em: 09, maio. 2025.

CARVALHO, I. F. **Influência da “ponte verde” na atividade enzimática e eficiência de controle em populações de *Spodoptera frugiperda*.** 2019. Dissertação (Mestrado em entomologia). Universidade federal de pelotas. Pelotas. 2019. Disponível em: <https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/5341>. Acesso em: 12, abr. 2024.

CASTAÑEDA-MOLINA, Y. *et al.* **Microbiome analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) larvae exposed to *Bacillus thuringiensis* (Bt) endotoxins.** *PeerJ*. Colômbia. v.11. p. 1-26. September. 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37719127/>. Acesso em: 07, maio, 2024.

CHEN, Y. *et al.* (2024). Comparative study of the gut microbial community structure of *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera litura* (Lepidoptera). *PeerJ*, 12, e17450. <https://doi.org/10.7717/peerj.17450>. Acesso em: 23, abr. 2025.

CORSATO, A. C. M. **PROTEÍNAS DE RESPOSTA IMUNE EXPRESSAS NA HEMOLINFA DA *Diatraea saccharalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) EM RESPOSTA A DIFERENTES MICRORGANISMOS.** 2018. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/3698>. Acesso em: 7 fev. 2024.

CRICKMORE, N. *et al.* A structure-based nomenclature for *Bacillus thuringiensis* and other bacteria-derived pesticidal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 186, p. 107438, 2021. DOI: 10.1016/j.jip.2020.107438. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022201120301440?via%3Dihub>. Acesso em: 17 nov. 2025.

DUARTE, J. P. **EFEITO SUBLETAL DE *Azadirachta indica* SOBRE A BIOLOGIA E O SISTEMA IMUNE DE *Spodoptera frugiperda*.** 2019. 52 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Animal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/212888>. Acesso em: 28 mar. 2024.

DUBOVSKIY, I. M. *et al.* Encapsulation and nodulation in insects. *Invertebrate Survival Journal*, v. 13, n. 1, p. 229–246, jul. 2016. DOI: 10.25431/1824-307X/isj.v13i1.229-246. Acesso em: 22, set. 2024.

DUMAS, P. *et al.* *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: two strains or two distinct species? *Genetica*, v. 143, n. 3, p. 305–316, 2015. DOI: 10.1007/s10709-015-9829-2. Acesso em: 12, abr. 2024.

ELEFThERIANOS, I. *et al.* Endosymbiotic bacteria in insects: guardians of the immune system? *Frontiers in Physiology*, v. 4, p. 46, 2013. DOI: 10.3389/fphys.2013.00046. Acesso em: 21, maio. 2024.

FAN, Q. *et al.* The Influence of Microorganism on Insect-Related Pesticide Resistance. *Agriculture*, v. 15, n. 14, art. 1519, 2025. DOI: 10.3390/agriculture15141519. Acesso em: 18, set. 2025.

GARDINER, E. M. M.; STRAND, M. R. Monoclonal antibodies bind distinct classes of hemocytes in the moth *Pseudoplusia includens*. **Journal of Insect Physiology**, v. 45, n. 2, p. 113–126, 1999. DOI: 10.1016/S0022-1910(98)00092-4. Acesso em: 26, jun. 2024.

GARDINER, E. M.; STRAND, M. R. Hematopoiesis in larval *Pseudoplusia includens* and *Spodoptera frugiperda*. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v. 43, n. 4, p. 147–164, 2000. DOI: 10.1002/(SICI)1520-6327(200004)43:4<147::AID-ARCH1>3.0.CO;2-J. Acesso em: 23, mar. 2024.

GEORGEN, G. *et al.* **First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa.** PLOSone.Nigéria. v.11. n.10. p.1-9. 2016. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0165632>. Acesso em: 14, abr. 2024.

GODAVARI; A. K. S.; KIRAN, H.; BHARATHI, M. C. Endosymbionts mediated detoxification of insecticides in insects. **International Journal of Advanced Biochemistry Research**, v. 8, n. 2, p. 625–634, 2024. DOI: [10.33545/26174693.2024.v8.i2h.643](https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i2h.643). Acesso em: 26, jun. 2024.

GOMES, A. F. *et al.* Metabolomics of susceptible and insecticide-resistant strains of ***Spodoptera frugiperda*** (Lepidoptera: Noctuidae) and metatranscriptomics of their midgut microbiota. **Pesticide associated**. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2025.106697> Biochem. Acesso em: 18, set. 2025.

GUAN, F. *et al.* Whole-genome sequencing to detect mutations associated with resistance to insecticides and Bt proteins in *Spodoptera frugiperda*. **Insect Science**, v. 28, n. 3, p. 627–638, 2021. DOI: 10.1111/1744-7917.12838. Acesso em: 16, abr. 2024.

GUPTA, A.P. Cellular elements in the hemolymph. In: KERKUT, G.A; GILBERT, L.I. **Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology**. 1ed. Nova York: PERGAMON, 1985. cap 10. p.401-452.

HILLYER, J.F. **Insect immunology and hematopoiesis**. Developmental and Comparative Immunology. Nashville. p.1-47. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26695127/>. Acesso em: 04, jun. 2024.

JIANG, H; VILCINSKAS, A; KANOST, M. R. IMMUNITYIN LEPIDOPTERARRN INSECTS. In: SODERHALL, Kenneth. **Invertebrate Immunity**. Uppsala: Landes

Biosciences, 2010. p. 181-204. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21528699/>. Acesso em: 04, abr. 2024.

KEEHNEN, N. L. P. *et al.* A population genomic investigation of immune cell diversity and phagocytic capacity in a butterfly. **Genes**, v. 12, n. 2, p. 279, 16 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes12020279>. Acesso em: 22, set. 2024.

KEEHNEN, N.L.P. **Immunity & the butterfly**. 2019. Tese (Doutorado em Genética de populações). Stockholm university. Stokholm. 2019. Disponível em: <https://su.diva-portal.org/smash/get/diva2:1366284/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 22, set. 2024.

KENIS, M. *et al.* **Invasiveness, biology, ecology, and management of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda***. Entomologia generalis. Alemanha. p.1-55. October. 2022. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/entomologia/detail/43/102198/Invasiveness_biology_ecology_and_management_of_the_fall_armyworm_Spodoptera_frugiperda. Acesso em: 16, abr. 2024.

LAVINE, M.D; STRAND, M.R. **Insect hemocytes and their role in immunity**. Insect Biochemistry and Molecular Biology. Pergamon. Georgia. v.32. p.1295-1309. April. 2002. Disponível e: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12225920/>. Acesso em: 28, mar. 2024.

LI, J. *et al.* Induced immune expression. modes of genes related to Toll, Imd, and JAK/STAT signaling pathway-mediated immune response in *Spodoptera frugiperda* infected with *Beauveria bassiana*. **Frontiers in Physiology**, v. 14, p. 1249662, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1249662>. Acesso em: 28, mar. 2024.

LI, S. *et al.* Cellular immune responses of the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (Lepidoptera: Crambidae), to the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae). **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 194, p. 107826, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2022.107826>. Acesso em: 07, out. 2025.

LIMA, C. B. N. **The multiple faces of insects micrionome and the development of new strategies to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2025. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Entomologia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2025. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003238650>. Acesso em: 09 set. 2025.

LIU, Y. *et al.* **The Diversity of Wolbachia and Other Bacterial Symbionts in *Spodoptera frugiperda*.** *Insects*. [s.l.]. v.15. n.217. p.2-16. March. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/15/4/217>. Acesso em: 07, maio. 2024.

LU, D. *et al.* Dynamics of gut microflora across the life cycle of *Spodoptera frugiperda* and its effects on the feeding and growth of larvae. **Pest Management Science**, v. 79, n. 1, p. 173-182, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7186>. Acesso em: 02, set. 2025.

MARULANDA-MORENO, S. M. *et al.* Comparative analysis of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae) corn and rice strains microbiota revealed minor changes across life cycle and strain endosymbiont association. **PeerJ**, v. 12, p. e17087, 2024. DOI: 10.7717/peerj.17087. Acesso em: 26, jun. 2024.

MONTEZANO, A. *et al.* **Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas.** *African entomology*. Africa do Sul. v.26. n.2. p.286-300. 2018. Disponível em: <https://bioone.org/journals/african-entomology/volume-26/issue-2/003.026.0286/Host-Plants-of-Spodoptera-frugiperda-Lepidoptera--Noctuidae-in-the/10.4001/003.026.0286.full>. Acesso em: 16, abr. 2024.

MOYETTA, N. R. *et al.* Morphological and ultrastructural characterization of hemocytes in an insect model, the hematophagous *Dipetalogaster maxima* (Hemiptera: Reduviidae). **Insects**, v. 12, n. 7, p. 640, 14 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12070640>. Acesso em: 14, ago. 2024.

NEGREIRO, M. C. C. de *et al.* Caracterização citológica dos hemócitos de *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera, Noctuidae) em larvas resistentes ao vírus AgMNPV. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 99, n. 1, p. 66–70, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000100011>. Acesso em: 25, jun. 2024.

NUNES, C. da C. C. **Caracterização citoquímica e ultraestrutural dos hemócitos de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) parasitada pela vesta *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae).** 2001. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Zoologia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

OLIVEIRA, N. C. de; CÔNSOLI, F. L. Dysbiosis of the larval gut microbiota of *Spodoptera frugiperda* strains feeding on different host plants. **Symbiosis**, v. 89, n. 2, p. 197–211, 6 fev. 2023. DOI: [10.1007/s13199-023-00907-x](https://doi.org/10.1007/s13199-023-00907-x). Acesso em: 26, jun. 2024.

PAREDES-SÁNCHEZ, F.A. *et al.* **Advances in Control Strategies against *Spodoptera frugiperda*. A Review.** *Molecules*. México. v.26. n.5587. p.1-19. 2021.

Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8471127/>. Acesso em: 11, abr. 2024.

PRAXEDES JUNIOR, W. G. **DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE *Spodoptera frugiperda* EM MILHO DOCE PARA PROCESSAMENTO INDUSTRIAL ATRAVÉS DA CAPTURA DE ADULTOS**. 2024. 30 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2024. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_1/2025-03-13-01-31-38Dissertacao_Wanderlan_Praxedes-1.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

PROVOROV, N. A.; ONISHCHUK, O. P. Microbial symbionts of insects: genetic organization, adaptive role, and evolution. **Microbiology**, v. 87, n. 2, p. 151–163, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1134/S002626171802011X>. Acesso em: 02, set. 2025.

ROSA, A.P.S.A; BARCELOS, H.T. **Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho**. Pelotas. Embrapa. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/935552/bioecologia-e-controle-de-Spodoptera-frugiperda-em-milho>. Acesso em: 16, abr. 2024.

RUPAWATE, P. S. *et al.* Role of gut symbionts of insect pests: A novel target for insect-pest control. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1146390, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1146390. Acesso em: 26, jun. 2024.

SANTOS, C. M. G. *et al.* Controle de *Spodoptera frugiperda* no milho em campo com o uso de extratos botânicos. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 7, p. e5268, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56083/RCV4N7-211>. Acesso em: 28, Abr. 2025.

SILVA, *et al.* O efeito tóxico do óleo essencial de citronela sobre lagartas de *Spodoptera frugiperda* Smith (1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Ciência Agrícola**, v. 22, p. 1–4, nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.22.18471>. Acesso em: 28, abr. 2025.

STANLEY, D. HAAS, E. KIM, Y. Beyond cellular immunity: on the biological significance of insect hemocytes. **Cells**, v. 12, n. 4, p. 599, 12 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells12040599>. Acesso em: 14, ago. 2024.

SUN, X. *et al.* **Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China**. Journal of Integrative Agriculture. China. v.20. n.3. p.664-672. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209531191962839X>. Acesso em: 12, abr. 2024.

WANG, F. *et al.* The silkworm (*Bombyx mori*) alleviates the toxic effects of the novel meta diamide insecticide broflanilide by modulating its midgut immune system. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 297, art. 110304, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2025.110304>. Acesso em: 18 set. 2025.

ZAZYCKI, L.C.F. **Variabilidade do feromônio sexual de diferentes populações brasileiras de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2014. Tese (Doutorado em entomologia). Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-25062014-100343/pt-br.php>. Acesso em: 12, abr. 2024.

ZHANG, X. ZHANG, F. LU, X. Diversity and functional roles of the gut microbiota in lepidopteran insects. **Microorganisms**, v. 10, n. 6, p. 1234, 2022. DOI: [10.3390/microorganisms10061234](https://doi.org/10.3390/microorganisms10061234). Acesso em: 05, set. 2024.

ZHENG, R. *et al.* Comparative analysis of gut microbiota and immune genes in *Spodoptera frugiperda* strains under different diets and survival conditions. **Developmental and Comparative Immunology**, v. 138, p. 104530, 2023. DOI: [10.1016/j.dci.2022.104530](https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104530). Acesso em: 28, mar. 2024.