

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL,
ATRATIVIDADE E ASSINATURAS ESPECTRAIS DE**
Sphenophorus levis **VAURIE, 1978 (COLEOPTERA:**
CURCULIONIDAE)

Pedro Gomes Peixoto
Biólogo

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**Mapeamento da Distribuição Espacial, Atratividade e
Assinaturas Espectrais de *sphenophorus levis* Vaurie, 1978
(Coleoptera: Curculionidae)**

Discente: Pedro Gomes Peixoto

Orientador: Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli

Coorientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Agronomia:
(Entomologia Agrícola).

P379m Peixoto, Pedro Gomes
Mapeamento da Distribuição Espacial, Atratividade e Assinaturas
Espectrais de *sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera:
Curculionidae) / Pedro Gomes Peixoto. -- Jaboticabal, 2026
105 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Sergio Antonio De Bortoli
Coorientador: David Luciano Rosalen

1. *Sphenophorus levis*. 2. Distribuição Geográfica. 3. Atratividade.
4. Ecologia Química. 5. Sensoriamento Remoto. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL, ATRATIVIDADE E ASSINATURAS ESPECTRAIS DE *Sphenophorus levis* VAURIE, 1978 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

AUTOR: PEDRO GOMES PEIXOTO

ORIENTADOR: SERGIO ANTONIO DE BORTOLI

COORDENADOR: DAVID LUCIANO ROSALEN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela Comissão Examinadora:

David Luciano
Rosalen:835552857
34

Assinado de forma digital por
David Luciano
Rosalen:83555285734
Dados: 2026.06.12 20:30:15 -03'00'

Prof. Dr. DAVID LUCIANO ROSALEN (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV

Documento assinado digitalmente



HOMERO FONSECA FILHO
Data: 15/06/2026 18:23:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Doutor HOMERO FONSECA FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia / EACH USP São Paulo/SP

Documento assinado digitalmente



GUILHERME DUARTE ROSSI
Data: 16/06/2026 16:34:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. GUILHERME DUARTE ROSSI (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV

Documento assinado digitalmente



FERNANDO HENRIQUE IOST FILHO
Data: 15/06/2026 22:03:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pós-Doutorando FERNANDO HENRIQUE IOST FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Entomologia e Acarologia / ESALQ USP Piracicaba/SP

Documento assinado digitalmente



ALEXANDRE DE SENE PINTO
Data: 18/06/2026 15:36:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ALEXANDRE DE SENE PINTO (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade / Centro Universitário Moura Lacerda - Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 12 de junho de 2026.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE PEDRO GOMES PEIXOTO,

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Pedro Gomes Peixoto é um cientista brasileiro nascido em 09 junho de 1992 em Guaíra, São Paulo, Brasil. Possui formação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro (2011 - 2015) e especialização em Agroecologia no Cerrado pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) (2015 - 2016). Pedro obteve seu mestrado em Ciências Ambientais também pela UEMG em 2021 (2019-2021), com um trabalho focado em Ecologia da Paisagem, com a análise dos sistemas de uso da terra no Cerrado e seus impactos sobre a comunidade de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeidae). Atualmente, ele está cursando o doutorado em Agronomia com ênfase em Entomologia Agrícola na Universidade Estadual Paulista (UNESP), sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Seu trabalho de pesquisa inclui os estudos de biologia e ecologia aplicadas, com o desenvolvimento de metodologias para manutenção de populações de insetos praga, aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e agricultura digital para obtenção de informações de diversas pragas da cana-de-açúcar, soja e milho. Seu currículo inclui diversos cursos de curta duração, eventos, e na representação discente em órgãos colegiados além de várias publicações e revisões em periódicos científicos. Pedro também recebeu diversos prêmios, incluindo menções honrosas, reconhecimentos por seu trabalho como técnico/científico de laboratório na UEMG, e trabalhos acadêmico na área de entomologia e ciências ambientais. Destacando aqui que seus estudos são mencionados inclusive em notas técnicas e informativas do Ministério da Saúde no combate a desinformação.

"If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants."
"Se vi mais longe, foi por estar apoiado sobre os ombros de gigantes."
— Isaac Newton, em carta a Robert Hooke (1675)

Dedicatória

Dedico este trabalho aos loucos, aos inconformados, aos insanos, aos malucos, aos “lelé da cuca”, aos rebeldes e todos que conseguem ver o mundo para além do obvio! Aqueles que ousam ver o mundo de um jeito que ninguém mais vê, que desafiam o comum, que questionam o que já foi estabelecido e riem na cara do impossível. Aos que tropeçam, mas seguem, aos que sonham alto demais para caberem em moldes pequenos.

Porque é na insanidade de alguns que reside o avanço de todos.

Agradecimentos

Chegar até aqui foi uma jornada desafiadora, repleta de aprendizados, obstáculos e conquistas. Cada passo foi marcado pelo apoio e pela presença de pessoas incríveis, sem as quais este momento não seria possível. A vocês, minha mais profunda gratidão.

À minha mãe, que sempre foi minha fortaleza, minha base e minha inspiração. Seu amor incondicional, suas palavras de incentivo e sua fé inabalável em mim me sustentaram nos momentos mais difíceis. Se hoje celebro esta vitória, é porque você sempre acreditou que eu era capaz, mesmo quando eu duvidava. Obrigado por tudo, mãe!

À minha noiva Jeane Vieira Leite, minha parceira de vida, que esteve ao meu lado em cada madrugada de estudo, em cada momento de dúvida e cansaço. Seu carinho, paciência e apoio inestimáveis me deram forças para continuar. Esta conquista também é sua, porque sem você, o caminho teria sido muito mais árduo. Rumos a uma nova vida!

Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli, que soube me guiar com sabedoria, paciência e incentivo. Obrigado por cada conselho, por cada desafio proposto e por acreditar no meu potencial. Seu conhecimento e dedicação foram fundamentais para que este trabalho tomasse forma e se tornasse realidade.

Também ao meu coorientador Prof. Dr. David Luciano Rosalen que permitiu um acolhimento sem igual, que abraça incondicionalmente cada iniciativa, seu apoio e seu balizamento foram essenciais para que chegasse até aqui, e para ir muito além! Agradeço imensamente nossas conversas, aconselhamentos e seu cuidado para comigo.

Aos amigos do laboratório, Vinicius, Leticia, Idrissou, Felipe, Gabriel, que compartilharam comigo não apenas bancadas e experimentos, mas também risadas, desabafos e momentos de superação. O caminho foi mais leve e enriquecedor porque tive vocês ao meu lado. Nossa amizade e parceria são conquistas tão valiosas quanto qualquer resultado acadêmico.

Além disso, este trabalho é uma contribuição associada aos projetos Centro de Pesquisa em Engenharia: Fitossanidade em Cana-de-Açúcar (CEPENFITO)

(FAPESP 2017/25258-1). Também agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de doutorado (Código de Financiamento 001).

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para minha caminhada. Esta vitória não é apenas minha, mas de todos que sonharam comigo e me ajudaram a torná-la realidade. Muito obrigado!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1. Revisão Bibliográfica	2
1.1.1. Histórico e bioecologia de <i>Sphenophorus levis</i>	2
1.1.2. Sensoriamento Remoto Proximal	4
1.1.3. Ferramentas SIG para monitoramento de pragas	7
REFERÊNCIAS	9
CAPÍTULO 1: ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL HISTÓRICA E ATUAL DE SPHENOPHORUS LEVIS VAURIE, 1978 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) NO BRASIL	13
INTRODUÇÃO	14
MATERIAL E MÉTODOS	16
Área de estudo, coleta e organização dos dados	16
Geoprocessamento e análise espacial	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
Implicações para o manejo	26
Limitações e estudos futuros	26
CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2. AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE DE <i>Sphenophorus levis</i> VAURIE, 1978 (COL.: CURCULIONIDAE) EM RESPOSTA A DIFERENTES TIPOS DE ISCAS E ARMADILHAS	31
INTRODUÇÃO	32
MATERIAL E MÉTODOS	34
Áreas de estudo	34
Métodos de coleta de <i>Sphenophorus levis</i>	35
Análise estatística	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
Limitações e perspectivas futuras	56
CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58

CAPÍTULO 3. ASSINATURAS ESPECTRAIS DOS ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>Sphenophorus levis</i> (VAURIE, 1978) (COL.: CURCULIONIDAE) EM UMA DIETA NATURAL.....	64
1. Introduction.....	66
2. Materials and Methods	68
2.1. Área Experimental.....	68
2.2. Species confirmation	68
2.3. Acclimatization and maintenance in the laboratory.....	69
2.4. Spectral analysis	70
2.5. Statistical analysis	71
3. Results.....	73
4. Discussion.....	78
4.1. Ecological Implications and Integrated Pest Management	81
4.2. Study limitations	84
5. Conclusions	85
References	86
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91

**MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL, ATRATIVIDADE E
ASSINATURAS ESPECTRAIS DE *Sphenophorus levis* VAURIE, 1978
(COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)**

RESUMO – Esta tese aborda um conjunto de estudos para *Sphenophorus levis*, uma praga de grande importância para a região de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, que causa prejuízos significativos na cultura da cana-de-açúcar. O primeiro capítulo propõe uma revisita à distribuição histórica da espécie e apresenta um levantamento da ocorrência atual no Brasil, demonstrando uma clara tendência de expansão em várias regiões, particularmente no Sudeste e Centro-Oeste. Através desses estudos, são destacados possíveis fatores que favorecem sua migração, como condições climáticas e práticas agrícolas. O segundo capítulo investiga a atratividade do inseto em relação a diferentes tipos de iscas e armadilhas. Os resultados revelam que, apesar de ter sido realizado testes com várias iscas, as iscas tradicionais apresentaram igual eficácia nas capturas, indicando que métodos simples e bem estabelecidos podem ser empregados para o monitoramento eficaz da espécie. Além disso, foi observado que a umidade se apresenta como um fator importante que influencia a dinâmica de *S. levis* em seu ambiente natural. No terceiro capítulo, é analisada a assinatura espectral das diversas fases de desenvolvimento do inseto utilizando técnicas de sensoriamento remoto proximal. Foram identificados padrões espectrais distintos para cada estágio de desenvolvimento, o que pode facilitar a diferenciação entre elas e, conseqüentemente, auxiliar em estudos futuros sobre a biologia e ecologia da praga. Este trabalho contribui para a compreensão do comportamento e das necessidades da espécie, estabelecendo uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias de controle integrado que considerem tanto implicações agrícolas quanto fatores ambientais.

Palavras-chave: bicudo da cana de açúcar, bicudo da cana, Biologia de Insetos, Criação de Insetos, Espectroradiometria, Ecologia de pragas, Sensoriamento remoto.

**MAPPING OF SPATIAL DISTRIBUTION, ATTRACTIVENESS, AND SPECTRAL
SIGNATURES OF *Sphenophorus levis* VAURIE, 1978 (COLEOPTERA:
CURCULIONIDAE)**

ABSTRACT – This thesis addresses a set of studies concerning *Sphenophorus levis*, a pest of significant regional importance in the Ribeirão Preto area of the state of São Paulo, causing considerable damage to sugar cane cultivation. The first chapter proposes a review of the species' historical distribution and presents an assessment of its current occurrence in Brazil, demonstrating a clear trend of expansion in various regions, particularly in the Southeast and Central-West. Through these studies, possible factors favoring its migration, such as climatic conditions and agricultural practices, are highlighted. The second chapter explores the pest's attractiveness to various types of bait and traps. The findings indicate that while tests were conducted with various baits, traditional baits demonstrated equal efficacy in captures, suggesting that simple and well-established methods can be used for effective monitoring of the species. Furthermore, it was observed that humidity appears to be a critical factor influencing the dynamics of *S. levis* in its natural environment. In the third chapter, the spectral signature of the various developmental stages of the insect is analyzed using remote sensing techniques. Distinct spectral patterns were identified for each developmental stage, which could aid in differentiating them, and consequently, assist future studies on the biology and ecology of the pest. This research contributes to a better understanding of the behavior and needs of the species, laying a solid foundation for developing integrated control strategies that consider both agricultural implications and environmental factors.

Keywords: sugarcane weevil, sugarcane pest, insect biology, insect rearing, remote sensing, spectroradiometry, and pest ecology.

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. L., 1753) (Poales: Poaceae), com a região Sudeste contribuindo significativamente com a produção nacional, em especial o Estado de São Paulo (CONAB, 2023). Seus campos produtivos têm boas condições ambientais para o cultivo da cana, porém inúmeras pragas agrícolas obtiveram sucesso para o desenvolvimento na cultura (Zenker et al., 2007).

Conforme Almeida (2005), a manutenção do protagonismo no setor sucroenergético demanda a busca constante pelo aprimoramento das técnicas e processos associados. Especialmente em relação a fatores que reduzem a produtividade no campo, que são especialmente monitorados, uma vez que a quantidade e a qualidade da matéria prima são essenciais em todas as etapas do processo agrícola e industrial (Ferreira et al., 2008).

Entre os principais fatores de perda de qualidade e produtividade na indústria sucroenergética estão as pragas agrícolas, com suas infestações podendo levar a perdas econômicas bastante significativas. Além disso, novas pragas, relacionadas como emergentes, podem ocorrer, particularmente devido a manutenção dos canaviais não mais envolver queimadas prévias à colheita, garantindo permanência populações de insetos-praga nos canaviais (Almeida, 2005; Ferreira et al., 2008).

No geral, esses organismos já estão presentes nas áreas de cultivo, podendo até não serem notados, pelo menos até que os danos e as taxas de infestações passem a ser significativos. Neste contexto destaca-se o *Sphenophorus levis* (Vaurie, 1978) (Coleoptera: Curculionidae), conhecido popularmente como “bicudo-da-cana”, cujo nome popular advém da característica morfológica do adulto que apresenta o aparelho bucal mastigador na extremidade de um prolongamento denominado rostro, característico dos curculionídeos.

Os danos econômicos causados por *S. levis* são significativos e têm implicações diretas na produtividade e na viabilidade econômica da cultura da cana-de-açúcar, com uma perda estimada em 30 toneladas por hectare por ano (Giometti et al. 2011). A presença, as dificuldades de manejo e controle de pragas como *S. levis*, portanto, não só compromete a produção imediata, mas também pode ter efeitos em

cadeia que afetam a sustentabilidade econômica do setor (Oliveira et al., 2019), especialmente no Estado de São Paulo, onde a produção de cana-de-açúcar é especialmente relevante no cenário nacional (CONAB, 2026).

Dessa forma, os conhecimentos gerados nesta tese contribuem de maneira integrada para o avanço no entendimento sobre a distribuição histórica e atual que ampliou a compreensão sobre sua dinâmica de dispersão e expansão geográfica ao longo do tempo. Em seguida buscamos entender sobre a biologia e ecologia *S. levis*. Os resultados obtidos nos capítulos seguintes (2 e 3) incluem aspectos sobre atratividade, uma vez que os demais trabalhos necessitam de coletas eficientes no campo o que permitiram identificar estratégias mais eficientes para a captura e monitoramento da praga em campo. Complementarmente, indivíduos coletados foram submetidos a análise do espectro de radiometria proximal dos espécimes forneceu subsídios para o desenvolvimento de ferramentas inovadoras de identificação e discriminação do inseto, com potencial aplicação em sistemas de monitoramento mais rápidos e precisos.

Em conjunto, esses três eixos de investigação fortalecem a base científica necessária para o aprimoramento de programas de vigilância e manejo de *S. levis* em áreas canavieiras. A partir disso, trazemos novas e importantes descobertas sobre a dinâmica deste importante inseto-praga nos canaviais do sudeste brasileiro, mas também com muito potencial de expansão e permanência em outras regiões do Brasil.

1.1. Revisão Bibliográfica

1.1.1. Histórico e bioecologia de *Sphenophorus levis*

O *S. levis*, em 1977, foi identificado como “gorgulho rajado” (Degaspari, 1986), devido a uma confusão taxonômica com outra espécie *Metamasius* spp. (Coleoptera: Curculionidae) dada a semelhanças com *S. levis*, como o tamanho (10 a 15 mm de comprimento) e o comportamento de tanatose (morte aparente ou imobilidade tônica); porém, o *Metamasius* apresenta-se com faixas de pigmentos alaranjadas e pretas dorsalmente (Queiroz e Pavarani, 2021).

Originalmente, especulava-se que *S. levis* contava com uma área de ocorrência limitada à região de Piracicaba (São Paulo) e com importância agrícola secundária em canaviais (Degaspari, 1986), porém, a espécie foi ganhando destaque ano a ano (Dinardo-Miranda; Fracasso, 2013). Grande parte do sucesso desta praga nos canaviais é atribuída a proibição das queimadas pré-colheita (Brasil, 2012), levando a um aumento de sua população ao longo dos últimos anos (Ferreira; Ferreira, 2023).

Os danos provocados pelo *S. levis* na cana-de-açúcar normalmente ocorrem na região radicular, onde adultos colocam os ovos e as larvas se alimentam, provocando redução significativa na produtividade do canavial, contribuindo para a redução no “*stand*” da cultura. Deste modo, é considerado como uma praga de solo, pelos seus hábitos de vida, fato que dificulta o seu manejo com as tecnologias disponíveis, bem como pela falta de conhecimentos básicos sobre sua biologia, comportamento e ecologia (Ferreira; Ferreira, 2023).

A fase larval de *S. levis* ocorre edaficamente, ou seja, intimamente relacionada ao solo, o que demanda uma avaliação mais criteriosa da área, bem como a tentativa de redução populacional por meio da destruição de soqueiras, e outros resíduos culturais, além do uso de inseticidas químicos (Ferreira e Ferreira, 2023). Outras pragas podem ser combatidas com a destruição/tratamento das soqueiras e demais resíduos culturais, sendo elas: *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lepidoptera: Erebididae), *Migdolus fryanus* (Westwood, 1863) (Coleoptera: Cerambycidae), *Telchin licus* (Drury, 1770) (Lepidoptera: Castiniidae) e *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae) (Ferreira; Ferreira, 2023).

Dentro do contexto apresentado, este trabalho baseia-se na hipótese de que o Sensoriamento Remoto (SR) Proximal possa ser utilizado para adquirir e analisar dados da reflectância do corpo dos insetos, a fim de caracterizar estágios de vida (ovo, larva, pupa e adultos) bem como idades específicas das larvas (Instares) (Silva et al., 2021), idades específicas de adultos.

A análise espectral pode identificar mudanças fisiológicas e bioquímicas associadas a diferentes fases de desenvolvimento (e.g. detecção de instares de desenvolvimento, idade do adulto entre outras). Compreender essas mudanças pode ajudar no desenvolvimento de métodos de controle que afetam especificamente o inseto em suas fases mais vulneráveis. Deste modo, o controle de *S. levis* pode ser

beneficiado através de estudos de sua biologia em condições de laboratório, que permitam o desenvolvimento de técnicas seguras e eficazes de criação da espécie, em condições de laboratório, permitindo a produção de indivíduos em quantidade e qualidade para finalidades diversas.

1.1.2. Sensoriamento Remoto Proximal

O sensoriamento remoto (SR) pode ser definido como uma tecnologia que permite a obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem a necessidade de contato físico com o objeto de estudo (Abdulraheem et al., 2023). Essa técnica utiliza sensores que captam e registram a radiação eletromagnética refletida ou emitida pela superfície, possibilitando a análise de diferentes características ambientais e a monitorização de mudanças ao longo do tempo (Naue et al., 2010; Vargas et al., 2017; Silva, 2024). O sensoriamento remoto é amplamente aplicado em diversas áreas, incluindo agricultura, gestão de recursos hídricos, estudos de uso do solo e monitoramento ambiental, devido à sua capacidade de fornecer dados em larga escala e com alta periodicidade (Santos et al., 2022).

Os sensores utilizados pelo SR podem registrar diferentes bandas espectrais, como sensores RGB (espectro de luz visível que inclui o vermelho - R, verde - G e azul - B), sensores multiespectrais (geralmente com 5 a 12 bandas espectrais além do RGB) ou, ainda, sensores hiperespectrais (com mais de 50 bandas espectrais) (Barros et al., 2021a). A Figura 1 exibe o espectro eletromagnéticos.

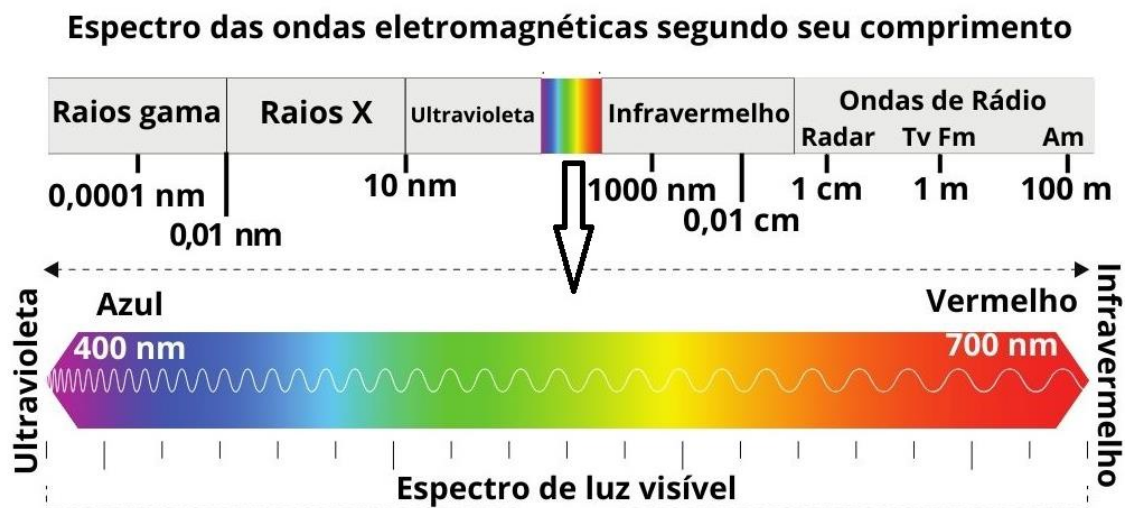


Figura 1 – Espectro das ondas eletromagnéticas conforme sua aplicação e respectivo comprimento de onda (nm).

Fonte: Elaborado pelo autor 2024, adaptado de NASA, 2010.

Os diferentes níveis de coleta de dados em sensoriamento remoto podem ser classificados em três categorias principais: orbital, aéreo e proximal. Cada um desses níveis possui características específicas, aplicações distintas e tecnologias associadas que permitem a coleta e análise de dados ambientais. O sensoriamento remoto orbital é realizado por satélites que capturam imagens da superfície terrestre em larga escala. Essa modalidade é amplamente utilizada para monitorar mudanças ambientais, uso do solo e cobertura vegetal. Os satélites, como os da série Landsat, têm sido fundamentais para a elaboração de mapas precisos sobre a ocupação do solo e alterações na cobertura vegetal desde 1970 (Almeida et al., 2021).

A tecnologia orbital permite a coleta de dados em áreas extensas e de difícil acesso, sendo uma ferramenta importante para o planejamento e gestão de recursos naturais (Silva, 2023). Já O sensoriamento aéreo, que inclui o uso de drones e veículos aéreos não tripulados (VANTs), oferece uma resolução espacial mais alta em comparação com o sensoriamento orbital. Essa modalidade é particularmente útil para aplicações que exigem alta definição, como o monitoramento fitossanitário de lavouras e a avaliação de áreas urbanas (Barros et al., 2021a).

Por fim, o sensoriamento terrestre ou proximal envolve a coleta de dados diretamente na superfície, utilizando sensores montados em veículos ou

equipamentos portáteis. Essa abordagem é frequentemente utilizada para medições precisas de variáveis ambientais, como a qualidade da água e a biomassa florestal (Barros et al., 2021b) e das superfícies de corpos. O SR Proximal pode ser caracterizado quando os objetos-alvo são posicionados a uma curta distância (> 1 m) do sensor. Também, neste caso, o processo de aquisição de dados é rápido e não invasivo, não colocando o objeto fotografado em risco, o que faz com que haja vantagens para uso *in vivo* (Nansen et al., 2019).

A partir das Técnicas de SR, desde que utilizado o sensor adequado, possibilitam a obtenção das assinaturas espectrais de alvos. O equipamento utilizado para essa finalidade é denominado, de forma geral, de espectrorradiômetro; existindo sensores imageadores e não-imageadores, sendo que os sensores imageadores são denominados de câmeras hiperespectrais, cuja característica principal é o registro de bandas espectrais estreitas e contínuas e, geralmente, em grande número.

As aplicações do SR Proximal, na agricultura, envolvem a análise e interpretação do sinal eletromagnético refletido ou absorvidos de objetos de interesse como corpos dos insetos ou das plantas sensoriais; este sinal constitui uma fonte de informação preciosa e pode favorecer a tomada de decisões mais assertivas (Thériault, 2019). Atualmente, os sistemas de detecção remota recorrem a dispositivos de imagem multiespectral ou hiperespectral caracterizados por conseguirem uma visão sinóptica e de elevada precisão de áreas de cobertura ou ataque inacessíveis aos métodos convencionais de monitoramento e registro de dados (Nansen; Strand, 2018). A detecção remota proximal é considerada como uma nova abordagem para a detecção, previsão e controle de pragas de diferentes culturas agrícolas (Rhodes et al., 2022; El-Ghany et al., 2020).

Vários estudos têm demonstrado as aplicações da detecção remota proximal, no parasitismo de insetos; distinção de instares (*Anopheles* spp. e *Drosophila melanogaster* e *D. simulans*), de imaturos de *Trichogramma* (em ovos); respostas de plantas a herbívoros de gorgulhos do milho (*Sitophilus zeamais*); infestação de tenebrios *Cynaesus angustus* (Col.: Tenebrionidae) por nematoides entomopatogênicos (Nansen; Strand, 2018); medições fisiológicas e fenotipagem de genótipos e cultivares (tomate) com a finalidade de identificar plantas resistentes ao estresse hídrico (Fullana-Pericàs et al., 2022); também foi utilizado para detectar

áreas suscetíveis e realizar a predição de ataque de afídeos sobre a cultura de trigo (El-Ghany et al., 2020).

As aplicações entomológicas do SR Proximal, alvo deste estudo, são amplas, porém a base de seus estudos está na identificação de insetos e/ou nas respostas de plantas atacadas (Song et al., 2020). Diferentes estudos destacam que a avaliação de danos, especialmente em espécies sugadoras é difícil pois os sintomas perceptíveis ao homem ocorrem somente após graves danos ocorrerem, como indicado em Lost et al. (2022). Deste modo a avaliação através de sensores espectrais favorecem pois podem adiantar a análise sintomatológica verificando sutis mudanças fisiológicas externas ou internas e/ou alterações marcantes nos processos metabólicos (Nansen et al., 2019; Yin et al., 2021).

Já em condições de laboratório sua aplicação avança para avaliação de comportamento, ecologia ambiental e da fisiologia dos insetos (Nansen e Strand, 2018). Além disso, sua utilização permite a investigação precisa através de sua reflectância espectral pode ser utilizada para caracterizar as fases de desenvolvimento de insetos praga da cultura da cana-de-açúcar (Silva et al., 2021).

1.1.3. Ferramentas SIG para monitoramento de pragas

O monitoramento espacial de pragas com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem se consolidado como componente estratégico em programas de vigilância fitossanitária (Nansen et al., 2006; Allen e Luttrell, 2011). A integração, em uma mesma base analítica, de registros de ocorrência, variáveis ambientais e histórico de manejo aumenta a capacidade de diagnóstico territorial do risco de infestação (Nansen et al., 2006; Pebesma, 2018). Em paisagens agrícolas heterogêneas, o componente espacial influencia estabelecimento, persistência e dispersão de insetos-praga, o que torna o uso de SIG metodologicamente relevante para o manejo integrado (Allen e Luttrell, 2011; Oerke, 2006).

Em sistemas canavieiros, a continuidade temporal da cultura e a ampla extensão territorial favorecem a manutenção de populações em diferentes níveis de infestação entre talhões e regiões (Xavier et al., 2024; Ferreira et al., 2024). Nesse contexto, monitoramentos exclusivamente pontuais podem subestimar focos iniciais e

atrasar medidas de controle (Xavier et al., 2024). A visualização geográfica contínua dos registros melhora a identificação de agregações espaciais, fronteiras de avanço e áreas prioritárias de intervenção (Nansen et al., 2006; Allen e Luttrell, 2011). Assim, o uso de SIG fortalece a tomada de decisão baseada em evidências e reduz a subjetividade na priorização de ações de campo (Pebesma, 2018; Xavier et al., 2024).

Do ponto de vista operacional, a qualidade do monitoramento espacial depende diretamente da consistência do georreferenciamento dos registros (Pebesma, 2018). Métodos como interpolação, densidade de pontos e delimitação de hotspots são sensíveis a erros de coordenadas e à falta de padronização cartográfica (Pebesma, 2018; Nansen et al., 2006). A integração de dados primários e secundários, quando submetida a validação espacial e temporal, amplia a robustez inferencial e melhora a comparabilidade entre regiões (Nansen et al., 2006). Esse procedimento também favorece a distinção entre áreas com presença consolidada, expansão recente e lacunas amostrais (Allen e Luttrell, 2011).

A abordagem espacial permite migrar de estratégias uniformes de controle para estratégias localizadas, com potencial de maior eficiência técnica e econômica (Oerke, 2006; Xavier et al., 2024). A priorização geográfica de amostragem e intervenção tende a reduzir aplicações generalizadas, alinhando o manejo a princípios de racionalização de insumos (Oerke, 2006). Em termos de impacto ambiental, a focalização espacial pode contribuir para menor pressão de uso de inseticidas em áreas de baixo risco relativo (Xavier et al., 2024; Ferreira et al., 2024). Portanto, o SIG não atua apenas como ferramenta cartográfica, mas como suporte analítico para decisões com base em risco espacialmente explícito (Pebesma, 2018; Nansen et al., 2006).

Outro ganho relevante do monitoramento em SIG é a análise espaço-temporal de séries históricas de ocorrência (Allen e Luttrell, 2011; Nansen et al., 2006). Essa perspectiva permite avaliar persistência de focos, possíveis rotas de dispersão e mudanças de intensidade ao longo do tempo (Allen e Luttrell, 2011). Para espécies de hábito críptico, como *S. levis*, a integração temporal e espacial aumenta a capacidade de detectar padrões que não emergem em análises agregadas (Ferreira et al., 2024; Schneider et al., 2016). Em cana-de-açúcar, essa informação é

particularmente útil para sincronizar monitoramento e controle com janelas de maior vulnerabilidade do sistema produtivo (Xavier et al., 2024).

A implementação de SIG, com estruturas vetoriais padronizadas, aumenta reprodutibilidade, transparência e auditabilidade das rotinas de análise espacial (Pebesma, 2018). Fluxos reprodutíveis facilitam atualização periódica de mapas, versionamento de procedimentos e comparação entre safras e regiões (Pebesma, 2018). Em termos aplicados, essa padronização melhora a comunicação técnica entre pesquisa, assistência e setor produtivo (Xavier et al., 2024). Dessa forma, a incorporação de ferramentas SIG no monitoramento de *S. levis* constitui base metodológica consistente para vigilância fitossanitária em escala nacional.

REFERÊNCIAS

Abdulraheem M, Zhang W, Li S, Moshayedi A, Farooque A, Hu J (2023) Advancement of Remote Sensing for Soil Measurements and Applications: A Comprehensive Review. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su152115444>

Allen KC, Luttrell RG (2011) Temporal and spatial distribution of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) moths in pheromone traps across agricultural landscapes in Arkansas. **Journal of Entomological Science**, 46(4),269-283. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-46.4.269>.

Almeida LC (2005) Bicudo da cana-de-açúcar. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira. Campinas. p. 1-3. (Boletim técnico).

Almeida LT, Ferreira KAC, Teixeira NC, Marcílio NSA, Almeida GAG, Rausch PM, Severino V, Danelichen VHM, Seixas GB (2021) Estudo do uso e cobertura da terra no Parque Estadual Mãe Bonifácia na Cidade de Cuiabá-MT. **Research society and development**, 10(12): e358101220632. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20632>

Analytical Spectral Devices. (2022). FieldSpec 3 user manual. Espectrômetro de bancada. Disponível em: < <https://www.geo-informatie.nl/courses/grs60312/material2017/manuals/600540-jfieldspec3usermanual.pdf> >. Acesso 04 junho de 2024.

Barros PPS, Rosalen DL, Lost-Filho FH, Martins GD, Di Leo N (2021a) Monitoramento Fitossanitário Utilizando Sensoriamento Remoto: Avanços e Desafios. **Revista Brasileira de Cartografia** 73(2): 489–515. <https://doi.org/10.14393/rbcv73n2-56597>

Barros PPS, Schutze IX, lost Filho FH, Yamamoto PT, Fiorio PR, Demattê JAM. (2021b) Monitoring *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Infestation

in Soybean by Proximal Sensing. **Insects**. 12(1):47.
<https://doi.org/10.3390/insects12010047>

Brasil (2012) Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 18 ago. 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2023/24. Terceiro levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar> Acesso em: 07 fev. 2024.

Degaspari N, Botelho PSM, Almeida LC, Castilho HJ (1986) Biologia de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Col.: Curculionidae), em dieta artificial e no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 22(6):553-558.

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV (2013) Sugarcane straw and the populations of pests and nematoids. **Scientia Agricola** 70:305–310.

El-Ghany NMA, El-Aziz SEA, Marei, SS (2020) A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and disease management. **Environmental Science and Pollution Research** 27(27): 33503–33515.

Ferreira PHU, Ferreira MDC (2023) *Sphenophorus levis* behavior studies: evaluating insect attractiveness or repellency to one insecticide treatment and assessing nocturnal insect activity and location pattern. **Insects** 14:205.

Ferreira MC, Werneck CF, Furuhashi S, Leite GJ (2008) Tratamento de toletes para o controle da podridão-abacaxi em pulverização conjugada ao plantio mecanizado. **Engenharia Agrícola** 28(2):263-273.

Fullana-Pericàs M et al. (2022) High-throughput phenotyping of a large tomato collection under water deficit: Combining UAVs' remote sensing with conventional leaf-level physiologic and agronomic measurements. **Agricultural Water Management**, 260: 107283.

Filho, FHI, Pazini JDB, Medeiros ADD, Rosalen DL, Yamamoto PT (2022). Assessment of injury by four major pests in soybean plants using hyperspectral proximal imaging. **Agronomy**, 12(7), 1516.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12071516>

Giometti F. Leite L. Tavares F. Schmit F. Filho A. Dell'Acqua R (2011). Virulência de nematóides entomopatogênicos (nematoda: rhabditida) a *Sphenophorus levis* (coleoptera: curculionidae). **Bragantia**, 70(1), 81-86. <https://doi.org/10.1590/s0006-87052011000100013>

Macedo N, Macedo D (2007) Manejo da broca protege produtividade. **Correio** 1:26.

Nansen C, Phillips TW, Morton PK, Bonjour EL (2006) Spatial analysis of pheromone-baited trap captures from controlled releases of male Indian meal moths. *Environmental Entomology*, 35(2), 516-523. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.2.516>

Nansen C, Elliot N (2016) Remote Sensing and reflectance profiling in entomology. **Annu. Rev. Entomol.** 61:139–158.

Nansen C, Strand MR (2018) Proximal Remote Sensing to Non-destructively Detect and Diagnose Physiological Responses by Host Insect Larvae to Parasitism. **Frontiers in Physiology**, 9.

Nansen C, et al. (2019) Proximal remote sensing to differentiate nonviruliferous and viruliferous insect vectors – proof of concept and importance of input data robustness. **Plant Pathology**, 68(4): 746–754.

NASA - National Aeronautics and Space Administration (2010) Science Mission Directorate. Visible Light. Disponível em: < http://science.nasa.gov/ems/09_visiblight >. Acesso em 04 junho de 2024.

Naue, C. R., Marques, M. W., Lima, N. B., Galvíncio, J. D. (2010). Remote sensing as a toll for the study of plant diseases on agriculture: a revision. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 3(3), 190-195. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20100018>

Oerke EC (2006) Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, 144(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

Oliveira L. Turci, A. Capitani D (2019) Expansão da cana-de-açúcar e os impactos sobre culturas agroalimentares no estado de são paulo. **Nucleus**, 16(1), 259-275. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.3527>

Pebesma E (2018) Simple features for R: standardized support for spatial vector data. **The R Journal**, 18(1), 439-446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>

Queiroz DL, Pavarani R (2021) Broca de *Metamasius*. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pupunha/producao/tratos-culturais/controle-de-pragas/broca-de-metamasius>>. Acesso em: 07 fev. 2023.

Ré NC (2023) **Utilização de sensores hiperespectrais na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) para fins fitossanitários**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, USP. Piracicaba.

Rhodes MW et al. (2022) Recent advances in the remote sensing of insects. **Biological reviews**, 97: 343-360.

Santos MPAd, Sousa JHS, Nascimento AA, Ribeiro GN, Júnior LSP, Neto, JNO (2022). Volume hídrico por processamento digital de imagens de açude público em sumé, paraíba. **Revista Verde De Agroecologia E Desenvolvimento Sustentável**, 17(3), 215-220. <https://doi.org/10.18378/rvads.v17i3.9622>

Schneider VK, Soares-Costa A, Chakravarthi M (2016) Transgenic sugarcane overexpressing CaneCPI-1 negatively affects the growth and development of the sugarcane weevil *Sphenophorus levis*. **Plant Cell Reports**, 35, 2065-2074. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2071-2>

Silva JLB, Refati DC, Lima RCC, Carvalho AA, Silva MV, Ferreira MB, Silva LC, Moura GBA (2023). Padrão de mudança espaço-temporal no bioma caatinga utilizando técnicas de sensoriamento remoto no semiárido brasileiro. **Delos: Desarrollo Local Sostenible** 16(47), 2883-2905. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n47-023>

Song Z et al. (2020) Application of lidar remote sensing of insects in agricultural entomology on the Chinese scene. **Journal of Applied Entomology**, 144(3): 161–169.

Thériault D (2019) **Dépistage automatique du Doryphore de la pomme de terre à L'aide de L'imagerie Ultra-Haute Résolution Acquisée par Drone et de L'apprentissage Profond**. Tese. Université du Québec. Institut National de la Recherche Scientifique (INRS). Canada. Quebec.

Valadares Filho SC, Lopes SA et al. (2018) CQBAL 4.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. Disponível em:< www.cqbal.com.br >. Acesso em 04 junho 2024

Vargas RD, Galafassi C, Amorim NCD, Freddo R (2017). Algoritmo ckmeans aplicado ao sensoriamento remoto. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.5540/03.2017.005.01.0393>

YIN H et al. (2021) Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture. **Advanced Materials** 33(20): 2007764.

Zenker MM, Lima IS, Specht A, Duarte AG (2007) Caracterização dos imaturos de *Hyponeuma taltula* (Schaus) (Lepidoptera, Noctuidae, Herminiinae). *Revista Brasileira de Zoologia* 24(4):1101-1107.

CAPÍTULO 1: ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL HISTÓRICA E ATUAL DE *SPHENOPHORUS LEVIS* VAURIE, 1978 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) NO BRASIL¹

ANALYSIS OF THE HISTORICAL AND CURRENT SPATIAL DISTRIBUTION OF *SPHENOPHORUS LEVIS* VAURIE, 1978 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) IN BRAZIL

Resumo: Este estudo analisa a distribuição histórica e atual de *Sphenophorus levis*, uma praga de grande importância na cultura da cana-de-açúcar, particularmente no estado de São Paulo, Brasil, com o objetivo de compreender os padrões espaciais de ocorrência e suas implicações para o manejo deste inseto praga. A pesquisa, realizada entre 2020 e 2023, foi fundamentada em dados de registros secundários e primários provenientes de diversas regiões produtoras, resultando em um mapeamento que revela uma tendência de expansão da população do inseto, especialmente nos estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Historicamente, a população de *S. levis* aparentemente se concentrava na região sul da América do Sul, com registros iniciais encontrados na Argentina, Brasil (sul e sudeste) e Uruguai, sendo essa considerada o ponto focal de sua distribuição original. A partir de registros que datam de 1918, localizados em São Paulo, o inseto coexistia em ambientes de vegetação nativa, principalmente associada a bromélias e gramíneas. Com o passar dos anos e a intensificação das práticas agrícolas, a praga começou sua migração para áreas cultivadas, favorecida por mudanças no uso da terra. Atualmente, *S. levis* está mais amplamente distribuído, com presença confirmada em várias regiões do centro-sul brasileiro, evidenciando uma expansão significativa. A migração para novas áreas pode ter sido influenciada por fatores como desmatamento e a intensificação das práticas agrícolas que permitiram sua adaptação a ambientes alterados pela ação humana. Registros históricos já indicavam sua presença em 135 municípios paulistas e a expansão em outras regiões do Brasil, como o centro-oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e estados do sudeste e sul, como Minas Gerais e Paraná. Este fenômeno de adaptação e migração sugere que *S. levis* se estabeleceu com sucesso em ambientes alterados, o que levanta preocupações sobre seu impacto nas práticas agrícolas e a necessidade de estratégias de manejo que considerem a resiliência e a potencial expansão dessa praga. As implicações para o manejo integrado de pragas são críticas, especialmente considerando a vulnerabilidade de culturas como a cana-de-açúcar e a importância de um monitoramento eficaz evitando a disseminação de *S. levis* no Brasil.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, manejo integrado de pragas, distribuição geográfica.

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista Pesquisa Agropecuária Brasileira em avaliação para publicação.

Abstract: This study analyzes the historical and current distribution of *Sphenophorus levis*, a pest of great importance in sugarcane cultivation, particularly in the state of São Paulo, Brazil, with the aim of understanding the spatial patterns of its occurrence and their implications for pest management. The research, carried out between 2020 and 2023, was based on both secondary and primary record data from various producing regions, resulting in mapping that reveals a trend of population expansion for the insect, especially in the states of São Paulo, Goiás, Mato Grosso, and Mato Grosso do Sul. Historically, the population of *S. levis* apparently concentrated in the southern region of South America, with initial records found in Argentina, Brazil (south and southeast), and Uruguay; this area is considered the focal point of its original distribution. Based on records dating back to 1918, located in São Paulo, the insect coexisted in environments of native vegetation, mainly associated with bromeliads and grasses. Over the years, and with the intensification of agricultural practices, the pest began to migrate to cultivated areas, favored by changes in land use. Currently, *S. levis* is more widely distributed, with confirmed presence in several regions of central-southern Brazil, showing significant expansion. Migration to new areas may have been influenced by factors such as deforestation and the intensification of agricultural practices that allowed its adaptation to human-altered environments. Historical records already indicated its presence in 135 municipalities in São Paulo and expansion to other regions of Brazil, such as the Midwest (Goiás, Mato Grosso, and Mato Grosso do Sul) and southeastern and southern states like Minas Gerais and Paraná. This phenomenon of adaptation and migration suggests that *S. levis* has successfully established itself in altered environments, raising concerns about its impact on agricultural practices and the need for management strategies that consider the resilience and potential expansion of this pest. The implications for integrated pest management are critical, especially considering the vulnerability of crops such as sugarcane and the importance of effective monitoring to prevent the spread of *S. levis* in Brazil.

Keywords: sugarcane, integrated pest management, geographical distribution.

INTRODUÇÃO

As pragas agrícolas permanecem entre os principais fatores que diminuem a produtividade, a estabilidade da produção e a eficiência no uso de insumos nos agroecossistemas (Savary et al., 2019). Em escala global, as perdas pré-colheita associadas a plantas daninhas, fitopatógenos e insetos-praga permanecem elevadas, apesar dos avanços em melhoramento genético, monitoramento e controle químico, biológico e cultural (Oerke, 2006). Além da redução direta de rendimento, surtos de pragas ampliam custos de produção, elevam o risco de aplicações reativas de inseticidas e aumentam a pressão por estratégias de manejo mais sustentáveis em diferentes cadeias produtivas (Savary et al., 2019).

No contexto da entomologia agrícola, os insetos-praga de hábito críptico e com fase de desenvolvimento protegido no solo ou no colmo representam um desafio adicional para o monitoramento e a tomada de decisão, pois dificultam a detecção precoce e reduzem a eficiência operacional das táticas de controle (Dinardo-Miranda, 2008). Em cana-de-açúcar, *Saccharum* spp. (Poales: Poaceae), essa limitação tem impacto econômico relevante porque o sistema de produção é de larga escala, com colheitas sucessivas, alto investimento por área e necessidade de manutenção do estande ao longo de vários cortes (Dinardo-Miranda, 2008). Assim, decisões de manejo baseadas em nível de dano econômico e em conhecimento espacial da ocorrência da praga tornam-se essenciais para racionalizar custos e reduzir impactos ambientais.

Entre as pragas da cana, o bicudo-da-cana, *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae), tem tido destaque crescente no Brasil. Evidências recentes indicam que a espécie causa perdas expressivas (20 a 30 toneladas por hectare por ano) (Girón-Pérez et al. 2009) e exige parâmetros econômicos robustos para orientar intervenções, incluindo níveis de dano econômico específicos para sistemas irrigados e de sequeiro (Xavier et al., 2024). Além disso, estudos recentes destacam dificuldades no controle de adultos (Ferreira et al., 2024) e larvas devido à natureza críptica do inseto e à necessidade de aprimoramento da tecnologia de aplicação e doses de inseticidas. Em paralelo, avanços em criação da espécie em dieta artificial (Faria et al., 2024) e em estratégias biotecnológicas de resistência em cana (Schneider et al., 2017) reforçam que o manejo da espécie depende de integração entre bioecologia, táticas de controle e vigilância territorial.

Apesar desses avanços, persistem lacunas sobre a distribuição atual de *S. levis* em escala nacional, com heterogeneidade de métodos de amostragem, atualização temporal desigual e baixa padronização de registros geográficos entre regiões produtoras. Essa lacuna limita a estratificação de risco fitossanitário, enfraquece o planejamento de monitoramento regionalizado e pode levar a decisões de controle menos eficientes, com maior custo econômico e potencial aumento de impacto ambiental por aplicações preventivas sem base espacial consolidada. Diante desse cenário, o objetivo deste estudo é caracterizar e analisar a distribuição histórica e atual de *S. levis* no Brasil, identificando padrões espaciais de ocorrência e áreas prioritárias

para monitoramento e manejo integrado, de modo coerente com a relevância econômica e ambiental da praga na cultura da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo, coleta e organização dos dados

A área de estudo compreendeu todo o território nacional brasileiro, considerando a distribuição registrada de *S. levis* em diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar, por meio de levantamento realizado entre 2020-2023. A base de dados de ocorrência da praga foi construída a partir de duas fontes principais: i) registros obtidos em bases públicas de biodiversidade, com destaque para o “Global Biodiversity Information Facility” (GBIF, 2026); e ii) registros obtidos por meio de consulta direta a técnicos, pesquisadores e profissionais do setor sucroenergético.

Os formulários contemplaram, no mínimo a localidade georreferenciada (latitude e longitude), município, unidade federativa e data ou período do registro (ano). Após o recebimento, os dados foram consolidados em planilha única (dataframe), com padronização de nomes de municípios e estados, remoção de duplicatas e conferência de consistência taxonômica e espacial. Como critério de exclusão, apenas dados georreferenciados foram incluídos nas análises espaciais, sendo descartados registros sem coordenadas válidas, incoerentes ou incertas. Além disso, optou-se por obter apenas o ano de coleta, pois em muitos casos o dia e/ou mês da amostragem estava incerto.

Geoprocessamento e análise espacial

Todas as rotinas foram implementadas na linguagem R (R Core Team, 2026) na plataforma Rstudio® (2025.09.2 Build 418), com a utilização do RStudio® (2025) com “scripts” específicos. A leitura do arquivo Excel (dataframe) foi feita com o pacote readxl. A manipulação e limpeza da tabela de ocorrências (padronização de nomes de colunas, conversões de tipo, filtragens) foram realizadas com o pacote dplyr, em conjunto com “stringr” para tratamento de “strings” (por exemplo, substituição de

vírgula por ponto nas coordenadas). Registros sem coordenadas válidas foram removidos. Além disso, o ano de registro foi utilizado para gerar uma variável temporal, de forma a permitir a representação gráfica contínua da informação temporal.

As ocorrências foram tratadas como pontos em coordenadas geográficas (latitude/longitude) no sistema de referência WGS84 (EPSG:4326). A conversão da tabela de ocorrências para objeto espacial foi realizada com o pacote `sf`, utilizando a função `st_as_sf`. O limite político do Brasil foi obtido a partir do pacote `geobr`, por meio da função `read_country`, que fornece camadas vetoriais oficiais do IBGE em formato compatível com `sf`. As ocorrências foram intersectadas com o polígono do país, de modo a manter apenas registros localizados dentro do território brasileiro.

Assim, as coordenadas foram obtidas em graus decimais, porém registradas com vírgula decimal no dataframe. No pré-processamento, os valores de longitude (`lon`) e latitude (`lat`) foram convertidos para o formato numérico com ponto decimal. Considerando a possibilidade de inversão entre longitude e latitude em alguns registros, foi aplicada checagem automática de faixa geográfica, invertendo `lon` e `lat` quando os valores não eram compatíveis com a extensão territorial do Brasil.

Como primeira etapa, foi conduzida uma análise descritiva da distribuição espacial de *S. levis* baseada exclusivamente em dados de presença. Foram produzidos mapas temáticos de pontos, em que as ocorrências são sobrepostas ao mapa do Brasil. Os mapas foram construídos com o pacote `ggplot2`, utilizando geometria `geom_sf`, tanto para o polígono do país quanto para os pontos de ocorrência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gênero *Sphenophorus* ocorre em diversos continentes e inclui várias espécies com hábitos diferentes, com muitas destacando-se por causar danos em culturas agrícolas, com destaque para gramíneas (Dupuy; Ramirez, 2016). Porém, a hipótese mais aceita atualmente é que o gênero como um todo tenha sua origem na América do Norte onde existe cerca de 75 espécies descritas. Na América do sul, há descritas apenas 18 espécies, das quais 14 ocorrem no Brasil. (Csik, 1936).

O levantamento das informações indica que *S. levis* foi originalmente identificado com um conjunto de dados de ocorrência na Argentina, Brasil e Uruguai, sendo este considerado o ponto focal de sua distribuição (Vaurie, 1978) (Tabela 1 e Figura 1). Para a determinação da espécie, Vaurie (1978) analisou materiais depositados em Museus, incluindo espécimes machos e fêmeas (Tabela 1 e Figura 3).

Tabela 1. Localidades de espécimes avaliados por Vaurie (1978).

Localidade	País	Coordenadas		Ano
		Latitude	Longitude	
Curitiba, Paraná	Brasil	-25.43	-49.27	S/D
Paraná	Brasil	S/D	S/D	S/D
Ipiranga, São Paulo	Brasil	-23.59	-46.61	1918
Nova Teutônia, Santa Catarina	Brasil	-27.15	-52.30	194(?)
Caviúna, Paraná	Brasil	-23.31	-51.37	1946
Buenos Aires	Argentina	-34.60	-58.38	1938
San Fernando - Buenos Aires	Argentina	-34.44	-58.56	1962
Tigre, Buenos Aires	Argentina	-34.43	-58.58	1962
Paysandú	Uruguai	-32.32	-58.08	1938
Puerto Pepe Aji (Paysandú)	Uruguai	-32.30	-58.10	1970

Fonte: Adaptado de Vaurie (1978)

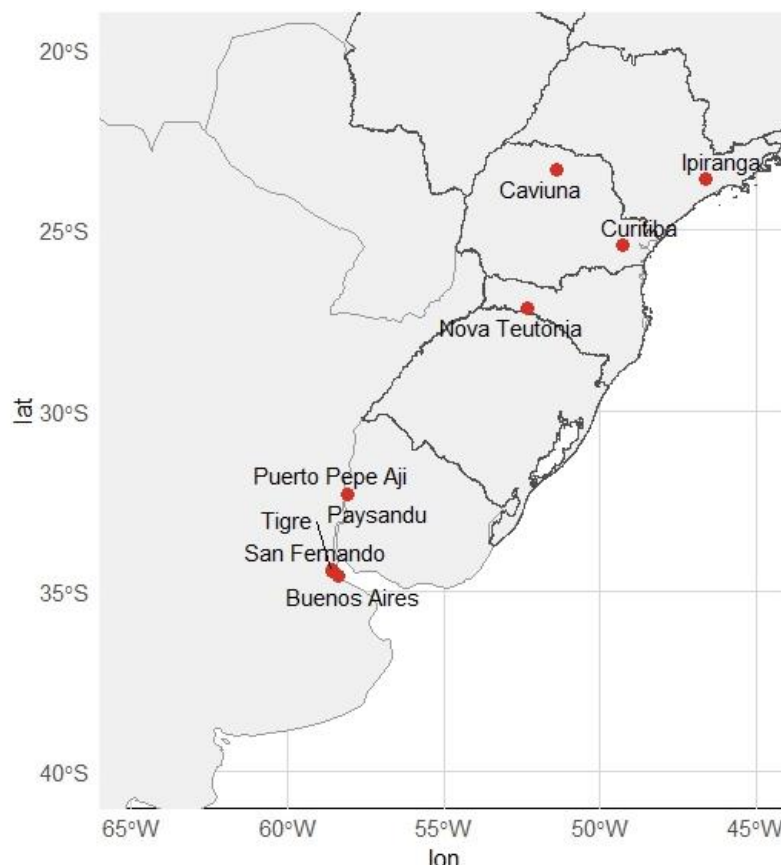


Figura 1. Registro histórico do trabalho de Vaurie (1978) na determinação da espécie *Sphenophorus levis*.

Esses dados reforçam a hipótese de que *S. levis* pode ter sempre estado presente no Brasil, mas mudanças nos Sistemas de Uso da Terra (SUTs), como desmatamento e expansão agrícola, forçaram a espécie a migrar para áreas cultivadas. Classificada como praga secundária, *S. levis* não recebeu a atenção necessária de especialistas, conforme apontado por Degaspari et al. (1987). A identificação da espécie e sua categorização como praga ocorreram em um período de apenas 10 anos, indicando a urgência e a falta de reconhecimento sobre seu impacto nas culturas. Essa falta de atenção pode ter contribuído para o aumento de seus efeitos prejudiciais na agricultura.

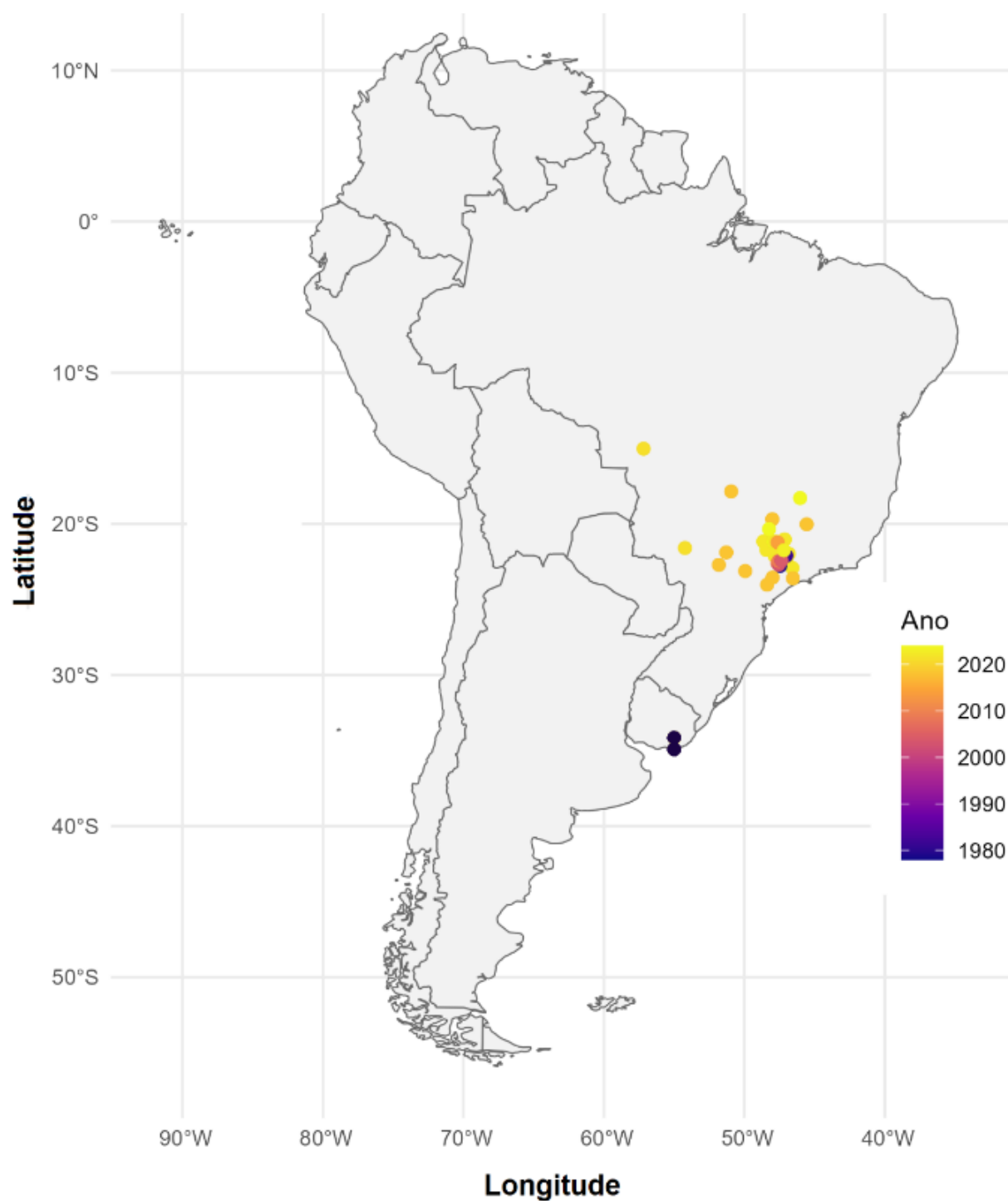


Figura 2. Distribuição histórica e atual de *Sphenophorus levis* no continente sul-americano.

Porém, é notável uma tendência de expansão para novas regiões, especialmente em direção ao norte geográfico e encontrando no Brasil condições ideais no agroecossistema da cana-de-açúcar, o que culminou em registros

observados principalmente no estado de São Paulo, mas em expansão ao centro-oeste brasileiro com as ocorrências registradas nos Estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Além de outros estados do sudeste e sul como Minas Gerais e Paraná (Figura 3).

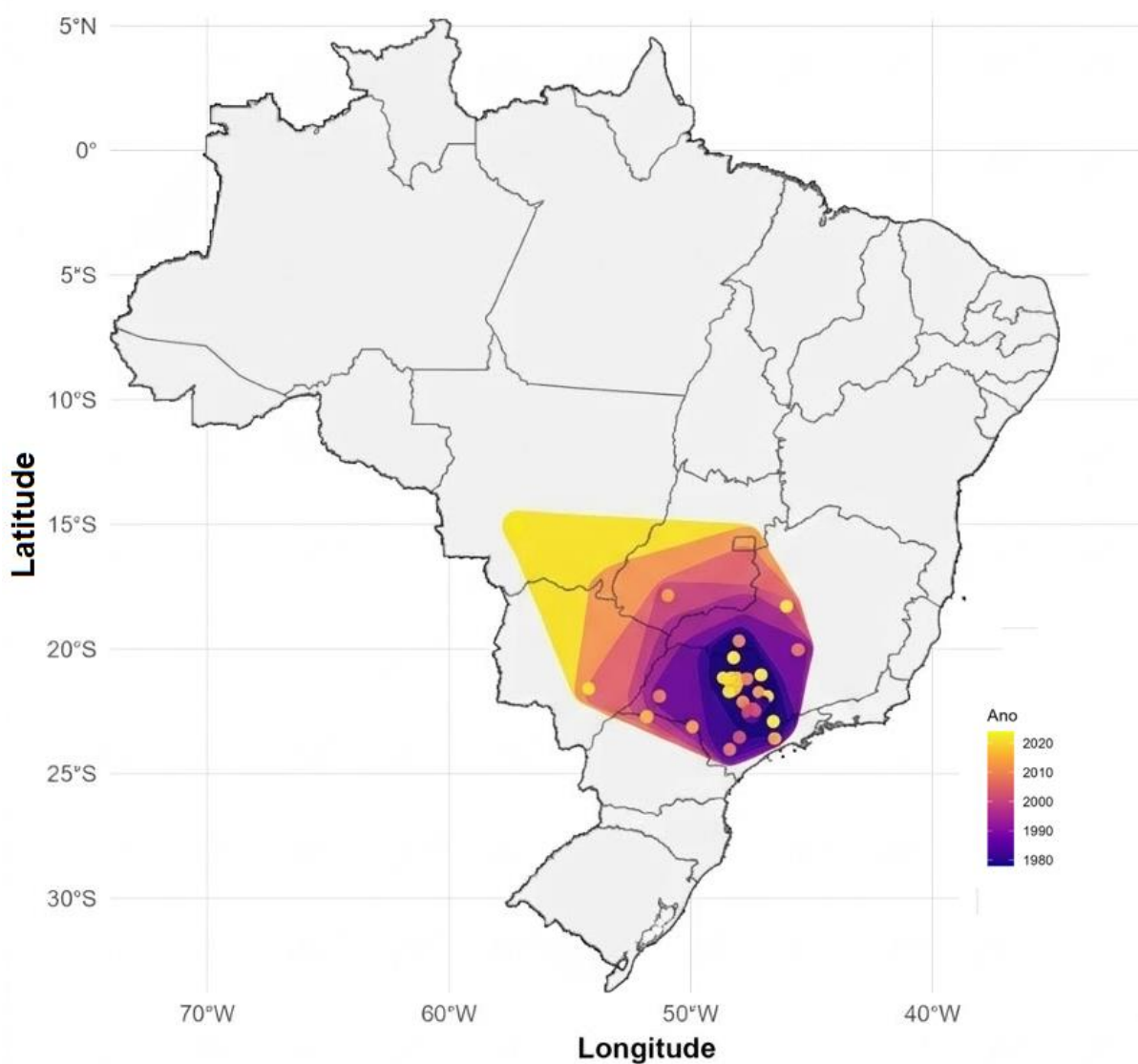


Figura 3. Configuração atual da distribuição geográfica de *Sphenophorus levis* em território brasileiro.

O indivíduo mais antigo tombado foi encontrado em São Paulo, no distrito de Ipiranga em 1918, onde a vegetação nativa e a diversidade de plantas hospedeiras

ajudaram a manter suas populações iniciais. Registros de infestação em bromélias e gramíneas foram observados na Argentina e Paraguai (Zarbin et al., 2003). No Brasil, *S. levis* foi coletada também em bromeliáceas e, em 1977, sua presença em cana-de-açúcar foi alarmantemente relatada em Santa Bárbara D'Oeste, São Paulo (Degaspari et al., 1987).

A expansão de *S. levis* provavelmente começou em áreas vizinhas e rapidamente se difundiu, provavelmente utilizando corredores ecológicos, como as Áreas de Proteção Permanentes (APPs). Embora inicialmente associada a bromélias em ecossistemas úmidos, a pressão agrícola sobre habitats naturais levou a espécie a se estabelecer em áreas cultivadas. Essa transição indica sua adaptabilidade a novos ambientes, refletindo a capacidade de explorar recursos em ecossistemas alterados. Esse fenômeno pode ser analisado através da ecologia evolutiva, onde a seleção natural favorece características que permitem a sobrevivência da espécie em ambientes modificados pela ação humana, evidenciando sua resiliência diante das mudanças ambientais.

Cabe destacar que o controle de diversas pragas da cana-de-açúcar, muito provavelmente, era executado pelas queimadas, que foram proibidas a nível nacional (Brasil, 2012). Com a sua proibição diversos novos desafios foram lançados sobre o setor, o que culminou no aumento de risco de pragas secundárias como *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lepidoptera: Erebidæ) (Seleghim, 2021) e *S. levis* (Degaspari et al., 1987).

Seja como for, desde a sua introdução, ou ocorrência natural, a cana-de-açúcar passou por uma significativa expansão em várias regiões, especialmente no centro canavieiro do estado de São Paulo. Em 2010, a área infestada por *S. levis* só aumentou, uma vez que estudos realizados por Stingel et al. (2012) indicaram a presença em cerca de 40 municípios. Nos últimos anos, sua presença foi registrada em 135 municípios paulistas, além de se espalhar para outros estados do Brasil, incluindo Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. Até o momento, no entanto, não existem informações que indiquem a ocorrência na cana-de-açúcar na região Nordeste do país (Dinardo-Miranda, 2008).

A intensa atividade agrícola na região paulista, com predomínio de monoculturas de gramíneas (milho e cana-de-açúcar), pode ter proporcionado tanto

oportunidades quanto desafios para *S. levis* (CONAB, 2025; CONAB, 2026). A disponibilidade de uma variedade de culturas alimentares e a potencial redução ou inexistência de inimigos naturais poderiam ter favorecido a expansão da espécie. Essa pressão seletiva, em consequência, pode ter sido um fator determinante para a rápida expansão de áreas como Jaboticabal, Piracicaba e Ribeirão Preto ao longo dos últimos anos (2019 em diante) (Fig. 2 e 3).

Observa-se que no Brasil, a expansão foi determinada tardiamente, com prováveis focos mais antigos do que a literatura científica foi capaz de ilustrar. Os dados históricos indicam uma maior incidência de *S. levis* na região de Piracicaba (Degaspari et al., 1987), mas com alto potencial de infestação, estabelecimento e de difícil controle (Dinardo-Miranda, 2008).

Os dados apontam para uma concentração significativa de registros, ou boa vontade de divulgação de dados em comparação, em 2022 e 2024, indicando que a espécie alcançou distribuição mais extensa dentro do estado de São Paulo, somando ocorrências em municípios como Dobrada, Matão e Santa Bárbara d'Oeste. Observou-se também a tendência de migração para o interior e para áreas com práticas agrícolas intensificadas, sugerindo potencial de adaptação a ambientes modificados e a um novo conjunto de pressões ecológicas ao expandirem sua distribuição por diferentes domínios morfoclimático (Figura 4 e 5).

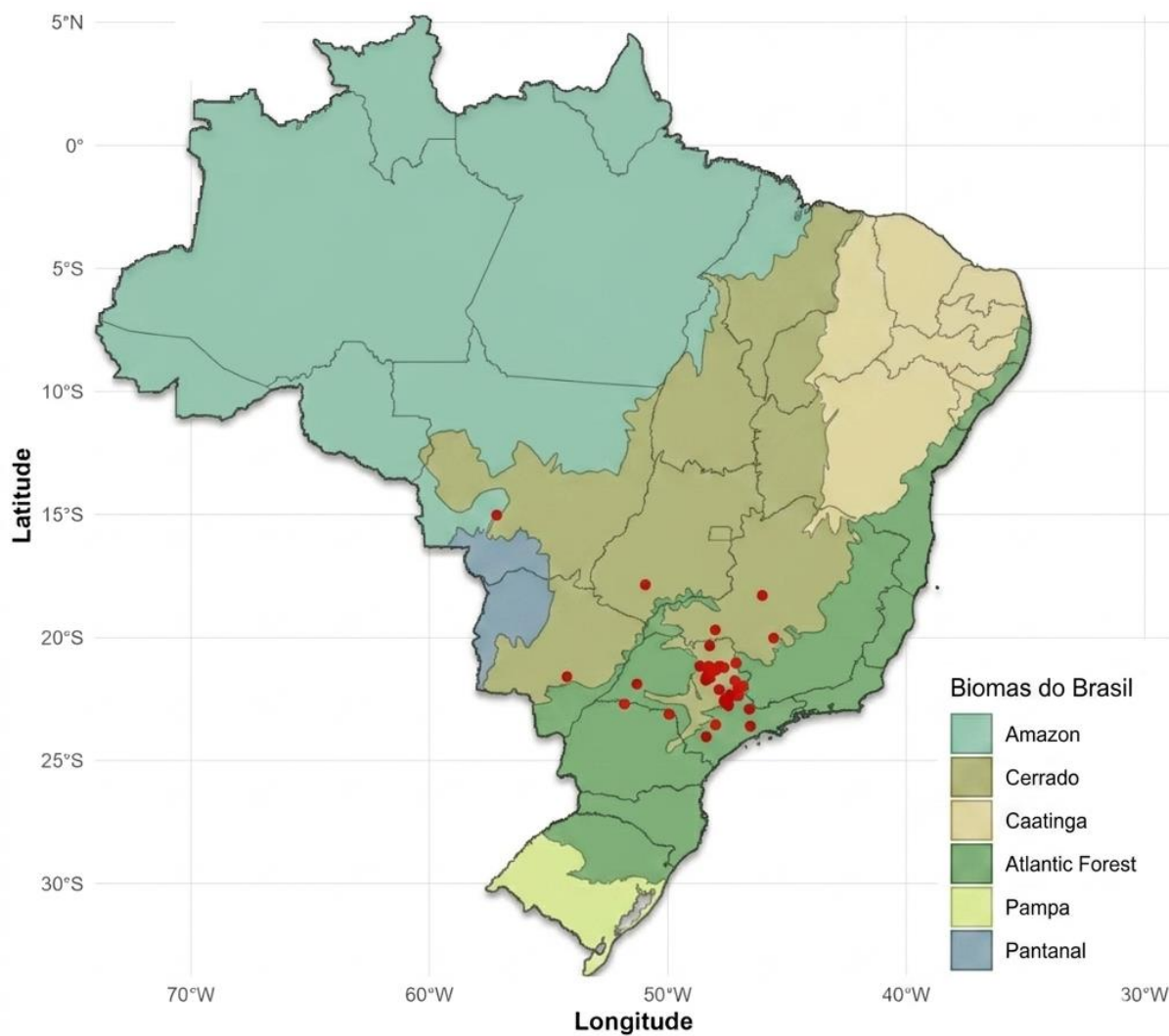


Figura 4. Distribuição da ocorrência de *Sphenophorus levis* sobre diferentes biomas do Brasil.

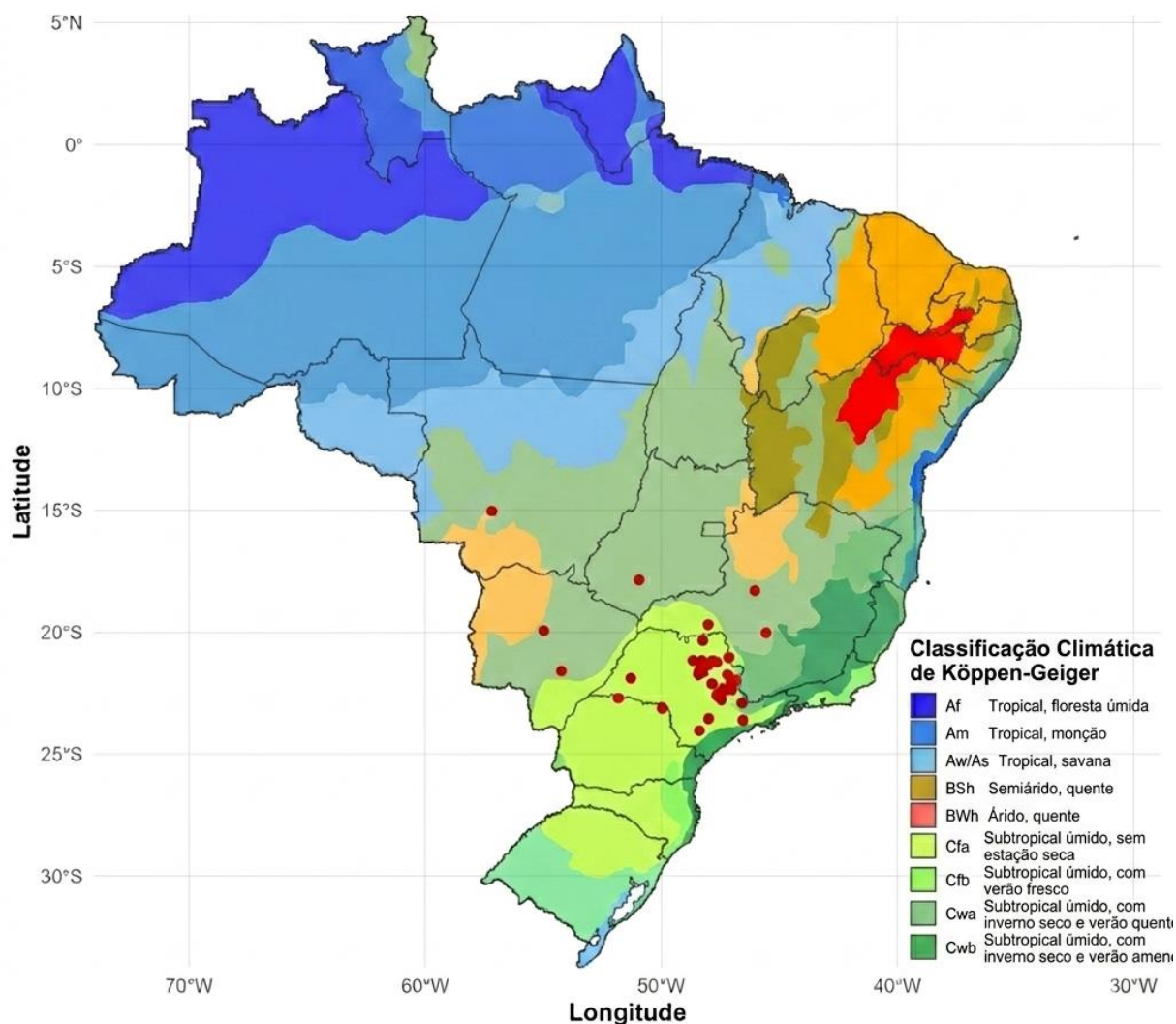


Figura 5. Distribuição e ocorrência de *Sphenophorus levis* em relação às classes climáticas propostas por Köppen-Geiger.

Assim, a disseminação de *S. levis* no Brasil, especialmente no Estado de São Paulo, pode ser interpretada através da lente das interações ecológicas e das adaptações das espécies às pressões ambientais. Essa dinâmica não apenas destaca a capacidade do inseto em se estabelecer em novos habitats, mas também abre espaço para futuras pesquisas que investiguem os mecanismos de dispersão e a interação dessa espécie com seus ecossistemas recepcionistas. A compreensão dessa história é fundamental para a implementação de estratégias de manejo e controle que garantam a sustentabilidade econômica das atividades agrícolas nas regiões afetadas.

Implicações para o manejo

É importante considerar alguns aspectos biológicos de *S. levis* que podem influenciar sua disseminação e impacto nas culturas agrícolas. Essa praga apresenta clara preferência por ambientes úmidos, o que implica que áreas com irrigação excessiva e alta umidade do solo sejam mais suscetíveis a infestações. Além disso, os ataques do inseto são frequentemente observados em gramíneas e bromélias, o que sugere que essas plantas podem servir como hospedeiros intermediários, potencialmente facilitando a dispersão da praga.

Outro fator alarmante é o risco de *S. levis* acessar novas áreas agrícolas através de corredores ecológicos, que são zonas de habitat natural que conectam diferentes ecossistemas. Esses corredores podem permitir que a praga se mova facilmente de uma área infestada para culturas saudáveis, aumentando a probabilidade de novas infestações, como estudado em oliveiras (Moreno et al., 2022). Além disso, a possibilidade de transporte acidental da praga por meio de maquinários, insumos agrícolas ou até mesmo na movimentação de toletes pode acelerar ainda mais sua disseminação.

Um ponto ainda mais preocupante é o potencial de *S. levis* de se alimentar de milho, uma cultura importante na região de São Paulo (2,147 mil hectares plantados) (CONAB, 2026). Isso representa um sério risco para a estratégia de manejo agrícola, pois a presença da praga em milho pode dificultar uma rotação eficiente de culturas, uma prática amplamente utilizada para reduzir a incidência de pragas e doenças, além de manter a saúde do solo. O impacto negativo que essa praga pode ter sobre as práticas de manejo agrícola e a diversidade de culturas pode comprometer não apenas a produtividade, mas também a sustentabilidade econômica dos sistemas agrícolas afetados.

Limitações e estudos futuros

O estudo sobre a distribuição de *S. levis* apresenta algumas limitações importantes que precisam ser levadas em conta, com o acesso a dados sendo um grande limitador de importantes descobertas científicas. Apesar da solicitação, poucos

produtores, usinas e parceiros técnicos responderam ao convite para colaborar, sendo que o acesso a dados atuais e históricos do monitoramento de pragas, poderia aumentar a robustez desse tipo de análise, permitindo a identificação de padrões ocultos até o momento.

A região Sul, embora não tenha dados específicos neste estudo, pode revelar informações sobre o fluxo migratório de *S. levis* e identificar zonas climáticas desfavoráveis, com a cana-de-açúcar já cultivada ali, com produção de 36,2 milhões de toneladas e um aumento de 2,8% na área (CONAB, 2025). A produção no Norte soma 4 milhões de toneladas, enquanto no Nordeste chega a 55,1 milhões de toneladas (CONAB, 2025).

Nesse contexto, estudos de modelagem ecológica estão sendo realizados para entender melhor a distribuição da praga e suas interações com as condições climáticas e práticas agrícolas. A modelagem ecológica também se mostra uma ferramenta útil para prever sua distribuição atual e futura, além identificar áreas em risco devido a mudanças climáticas e práticas agrícolas (Guimapi et al., 2022). Por fim, incentivar a colaboração interdisciplinar entre diferentes especialistas pode proporcionar uma abordagem mais ampla ao problema, considerando não apenas a biologia da praga, mas também suas interações com os sistemas agrícolas e as consequências sociais e econômicas. Essas iniciativas podem expandir e aprofundar o campo de estudo sobre *S. levis*, promovendo um manejo mais eficaz e sustentável.

CONCLUSÃO

O estudo sobre a distribuição atual de *S. levis* no Brasil revela a complexidade e a dinâmica das interações entre essa praga e o agroecossistema da cana-de-açúcar. Com base nos dados coletados e analisados, evidenciou-se uma tendência de expansão da espécie, que, inicialmente identificada no Uruguai, pode ter se estabelecido no Brasil, especialmente em São Paulo, e mais recentemente em estados do Centro-Oeste, como Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Esta migração pode ser atribuída a uma combinação de fatores, incluindo mudanças nos Sistemas de Uso da Terra, a intensificação das práticas agrícolas e até mesmo efeitos da mudança climática, que têm criado condições favoráveis para a praga.

Além disso, o controle inadequado e a falta de atenção à espécie ao longo dos anos devem ter contribuído para o aumento de suas populações, destacando a necessidade urgente de estratégias de manejo mais integradas e eficientes. O reconhecimento de *S. levis* como uma praga com potencial significativo para causar danos econômicos substanciais requer uma reavaliação dos métodos de monitoramento e controle, com ênfase em práticas sustentáveis que considerem as interações ecológicas e a resiliência do inseto ante as mudanças ambientais.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 maio 2012. Seção 1, p. 1.

CSIKI, E. **Curculionidae: Rhynchophorinae, Cossoninae**. In: Junk, W. & Schenkling, S. (Eds.), *Coleopterorum Catalogues*, pt. 149, p. 1-212, 1936.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 13, n. 3, 2025. <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/2o-levantamento-safra-2025-26-1/3o-levantamento-safra-2025-26>

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Mapa Produção 2025/26 5º levantamento (Safr 2025/26). 2026. <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>

DEGASPARI, N.; BOTELHO, P. S. M.; ALMEIDA, L. C.; CASTILHO, H. J. Biologia de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Col.: Curculionidae), em dieta artificial e no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, n. 6, p. 553-558, 1987. <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/14389>

DINARDO-MIRANDA, L. L. Pragas. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 349–404.

DUPUY, M. M.; RAMIREZ, R. A. Biology and management of Billbugs (Coleoptera: Curculionidae) in turfgrass. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 7, n. 1, p. 6, 2016. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmw004>

FARIA, L. V.; TAKAHASHI, T. A.; GARCIA, A. G.; PARRA, J. R. P. Artificial diet for immatures of *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae), based on a multidimensional model. **Insects**, v. 15, n. 12, 944, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects15120944>

FERREIRA, P. H. U.; FERREIRA, M. C.; VIEIRA, E. Improving *Sphenophorus levis* adult mortality through solid insecticide applications and increased insecticide dose. **Neotropical Entomology**, v. 53, p. 1293-1308, 2024. <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01204-y>

GBIF – Global Biodiversity Information Facility. *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 in GBIF Secretariat (2026). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2026-03-13.

GÍRON-PÉREZ, K.; Nakano, O.; Silva, A. C.; ODA-SOUZA, M. Atração de Adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) a Fragmentos Vegetais em Diferentes Estados de Conservação. **Neotropical Entomology** 38 6 842-846 2009.

GUIMAPI, R.; NIASY, S.; MUDERERI, B.; ABDEL-RAHMAN, E.; TEPA-YOTTO, G.; SUBRAMANIAN, S.; MOHAMED, S.; THUNES, K.; KIMATHI, E.; AGBOKA, K.; TAMÒ, M.; RWABURINDI, J.; HADI, B.; ELKAHKY, M.; SÆTHRE, M.; BELAYNEH, Y.; EKESI, S.; KELEMU, S.; TONNANG, H. (2022). Harnessing data science to improve integrated management of invasive pest species across Africa: an application to fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). **Global Ecology and Conservation**, v. 35, e02056, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02056>

MORENO, A.; RESCIA, A.; PASCUAL, S.; ORTEGA, M. Methodological approach to spatial analysis of agricultural pest dispersal in olive landscapes. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, 411, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10068-x>.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R 3.0.2. Vienna, 2026. Disponível em:<<http://www.Rproject.org/>>. Acesso em: 20 mar. 2026.

RSTUDIO - 2025.09.2 Build 418. 2009-2025 Posit Software, PBC.

SAVARY, S.; WILLOCQUET, L.; PETHYBRIDGE, S.; ESKER, P.; MCROBERTS, N.; NELSON, A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, p. 430 – 439, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>

SCHNEIDER, V. K.; SOARES-COSTA, A.; CHAKRAVARTHI, M.; RIBEIRO, C.; CHABREGAS, S. M.; FALCO, M. C.; SILVA, F. H. Transgenic sugarcane overexpressing CaneCPI-1 negatively affects the growth and development of the sugarcane weevil *Sphenophorus levis*. **Plant Cell Reports**, v. 36, p. 193-201, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2071-2>

SELEGHIM, A. R. **Estratégias para o controle da broca peluda, *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lepidoptera, Erebidae), em cana-de-açúcar.** 58 p. Dissertação (Pós-graduação em Agronomia-Entomologia Agrícola), Universidade Estadual Paulista. 2020. <http://hdl.handle.net/11449/202671>

STINGEL, E.; ALMEIDA, L. C.; ARRIGONI, E. B.; BONANI, J. P. Distribuição geográfica de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar, evolução dos registros de ocorrência e estimativa de área infestada, por município, em 2009. In.: Congresso Brasileiro de Entomologia (CBE), 23 ed., 2010. Natal. 2012.

VAURIE, P. Revision of the genus *Sphenophorus* in South America. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 10024, n. 2656, p. 1–30, 1978. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/330448#page/2/mode/1up>

XAVIER, G. G.; FARIAS, E. S.; CARMO, D. G.; GUEDES, A. G.; SAMUELS, R. I.; FREITAS, D. R.; PEREIRA, E. J. G.; LIMA, L.; PICANÇO, M. C. Determining factors and economic injury levels for *Sphenophorus levis* for chemical and biological control in irrigated and non-irrigated sugarcane crops. **Neotropical Entomology**, v. 53, p. 955-963, 2024. <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01175-0>

ZARBIN, P. H. G.; ARRIGONI, E. D. B.; RECKZIEGEL, A.; MOREIRA, J.; BARALDI, P.T.; VIEIRA, P. C. Identification of male-specific chiral compound from the sugarcane weevil *Sphenophorus levis*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 29, n. 2, p. 377-386, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1022634012212>

CAPÍTULO 2. AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE DE *Sphenophorus levis* VAURIE, 1978 (COL.: CURCULIONIDAE) EM RESPOSTA A DIFERENTES TIPOS DE ISCAS E ARMADILHAS²

EVALUATION OF THE ATTRACTIVENESS OF *Sphenophorus levis* VAURIE, 1978 (COL.: CURCULIONIDAE) IN RESPONSE TO DIFFERENT TYPES OF BAITS AND TRAPS

RESUMO - *Sphenophorus levis* Vaurie (Col.: Curculionidae) é um inseto-praga que causa danos significativos à cultura da cana-de-açúcar, exigindo estratégias de manejo eficazes. Este estudo teve como objetivo avaliar a atratividade de diferentes iscas para *S. levis*, analisando variações temporais e espaciais em uma plantação de cana-de-açúcar durante a estação chuvosa. Utilizando 11 tratamentos distintos, incluindo variações de iscas e tipos de armadilhas, a pesquisa não revelou variações significativas na atratividade das iscas ao longo do tempo, nem efeito da posição das armadilhas na captura. A distribuição espacial dos insetos também não apresentou padrões distintos. Esses resultados sugerem que o uso de iscas tradicionais, como iscas de colmos cortados longitudinalmente, pode ser uma abordagem simples e eficaz para monitorar e controlar *S. levis*, facilitando o trabalho das equipes de levantamento sem a necessidade de métodos mais complexos.

Palavras-chave: Gorgulho da cana-de-açúcar, Bicudo-da-cana-de-açúcar, Danos na cultura da cana-de-açúcar, Pragas de solo, MIP, Levantamento de pragas.

ABSTRACT - *Sphenophorus levis* Vaurie (Col.: Curculionidae) is a pest insect that causes significant damage to sugarcane crop, requiring effective management strategies. This study aimed to evaluate the attractiveness of different baits for *S. levis*, analyzing temporal and spatial variations in sugarcane crop during the wet season. Using 11 distinct treatments, including variations of baits and types of traps, the research revealed no significant variations in bait attractiveness over time nor any effects of trap positioning on capture. The spatial distribution of the insects also showed no distinct patterns. These results suggest that the use of traditional baits, such as longitudinally stalk cutted bait, can be a simple and effective approach for monitoring and controlling *S. levis*, facilitating the work of survey teams without the need for more complex methods.

Key-words: Sugarcane weevil, Damage in sugarcane crop, Soil pest, IPM, Pest survey

² 1 Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista Pest Management Science e encontra-se em avaliação para publicação.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. L.) desempenha um papel importante tanto na economia global (Solomon et al., 2024) quanto na brasileira (CONAB, 2026), sendo fundamental para a produção de açúcar, etanol e bioenergia. Globalmente, a cana-de-açúcar é cultivada em mais de 100 países e abrange aproximadamente 26 a 27 milhões de hectares, resultando em uma produção anual de cerca 1,9 bilhões de toneladas, fornecendo aproximadamente 85% do açúcar mundial (Figueroa-Rodríguez et al., 2019; Solomon et al., 2024).

No Brasil, responsável por cerca de 41% da produção mundial, a cultura é um pilar econômico vital, cultivada em uma área total de aproximadamente 10 milhões de hectares (Heinrichs et al., 2017; Cursi et al., 2021). A expansão da cana-de-açúcar no país desde os anos 1980, aliada a melhorias tecnológicas, permitiu um aumento significativo na produtividade, embora desafios permaneçam, como a necessidade de um melhor manejo da cultura e a mitigação de problemas fitossanitários, como pragas, doenças e plantas daninhas (Dias & Sentelhas, 2018; Cursi et al., 2021).

Porém, dentre os inúmeros desafios fitossanitários os insetos-pragas causam os impactos mais significativos, sendo o *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae), a broca-da-cana, *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) e a cigarrinha, *Mahanarva fimbriolata* (Stål., 1854) (Hemiptera: Cercopidae), as principais pragas hoje a serem controladas, sendo estes insetos responsáveis por danos diretos e indiretos à cultura. O bicudo-da-cana, *S. levis*, é uma praga de solo com alta incidência no estado de São Paulo, Brasil, e em regiões vizinhas (Casteliani et al., 2020). As larvas se alimentam principalmente das raízes da cana-de-açúcar e, em alguns casos, dos primeiros internódios basais acima do solo, causando danos diretos, como a morte das brotações, redução do crescimento, perdas de produção e diminuição da longevidade dos canaviais (Precetti & Arrigoni, 1990; Girón-Pérez et al., 2009; Leite et al., 2012; Schneider et al., 2017). Esses danos podem resultar em perdas de produtividade de até 30 toneladas por hectare (Girón-Pérez et al., 2009).

O Nível de Dano Econômico (NDE) para *S. levis*, recentemente estabelecido, é de 4,85% de tocos atacados para cana-de-açúcar não irrigada, e de 5,93% para

cultura irrigada, quando se utiliza o controle químico. Já, para o emprego do controle biológico foram estabelecidos os valores de 3,40% para cana-de-açúcar irrigada e 4,15% para cultura não irrigada (Xavier et al., 2024). Esses valores sugerem que se a infestação de *S. levis* ultrapassar essas porcentagens de ataque na cana-de-açúcar, o controle é considerado economicamente necessário para evitar danos significativos à produção. Dessa forma, o manejo adequado deve ser implementado quando as infestações atingirem esses níveis para mitigar os impactos econômicos.

A compreensão limitada do comportamento de *S. levis* e a ineficácia das ferramentas de manejo de pragas atualmente impulsionam a expansão das infestações para diversas regiões de cultivo de cana-de-açúcar (Ferreira & Ferreira, 2023). Um dos principais desafios refere-se às interações ecológicas entre *S. levis* e seu ambiente, especialmente após a adoção da colheita de cana crua, que alterou significativamente o ecossistema da cana-de-açúcar. A presença de palhada no solo tem favorecido a movimentação e a sobrevivência de *S. levis*, permitindo que o inseto percorra maiores distâncias e, conseqüentemente, amplie sua dispersão (Franchinni, 2024). Além disso, a ecologia comportamental de *S. levis* ainda é pouco explorada. Estudos demonstraram que o inseto apresenta atração específica por certos voláteis vegetais, críticos para seu comportamento de acasalamento e forrageamento (Zarbin et al., 2003; Martins et al., 2020; Ferreira & Ferreira, 2023). No entanto, o espectro completo de estímulos olfativos que influenciam seu comportamento em condições naturais ainda não é bem compreendido.

A implementação de tecnologias de precisão e práticas de manejo sustentável pode ajudar a reduzir as perdas de produtividade. O uso de sistemas de monitoramento e controle de pragas, como armadilhas e sensores, pode permitir uma resposta mais rápida e eficaz às infestações, minimizando os danos antes que se tornem severos (Stahl, 2023). E considerando os impactos negativos do bicudo-da-cana na produtividade e na viabilidade econômica da cultura da cana-de-açúcar, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre seu comportamento e sua interação com o ambiente. A falta de estudos detalhados sobre a resposta da praga a diferentes fatores ambientais e atrativos limita a eficiência dos métodos de monitoramento e controle. Além disso, a compreensão dos impactos das condições climáticas e das interações ecológicas sobre *S. levis* é importante para o

desenvolvimento de estratégias eficazes e sustentáveis de manejo integrado. Diante desse complexo contexto, este estudo tem como objetivo avaliar como diferentes atrativos em armadilhas do tipo “pitfall” influenciam a eficiência de captura de *S. levis* no agroecossistema cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo

A área de estudo corresponde a três talhões disponibilizado por uma Usina parceira, sendo o estudo conduzido nestas três localidades, na mesma região. Dados da localidade foram formalmente solicitados para serem omitidos segundo acordo de confidencialidade, porém a área de estudo concentra-se na região do Município de (Pradópolis, Barrinha e Jaboticabal), ambas no Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1).

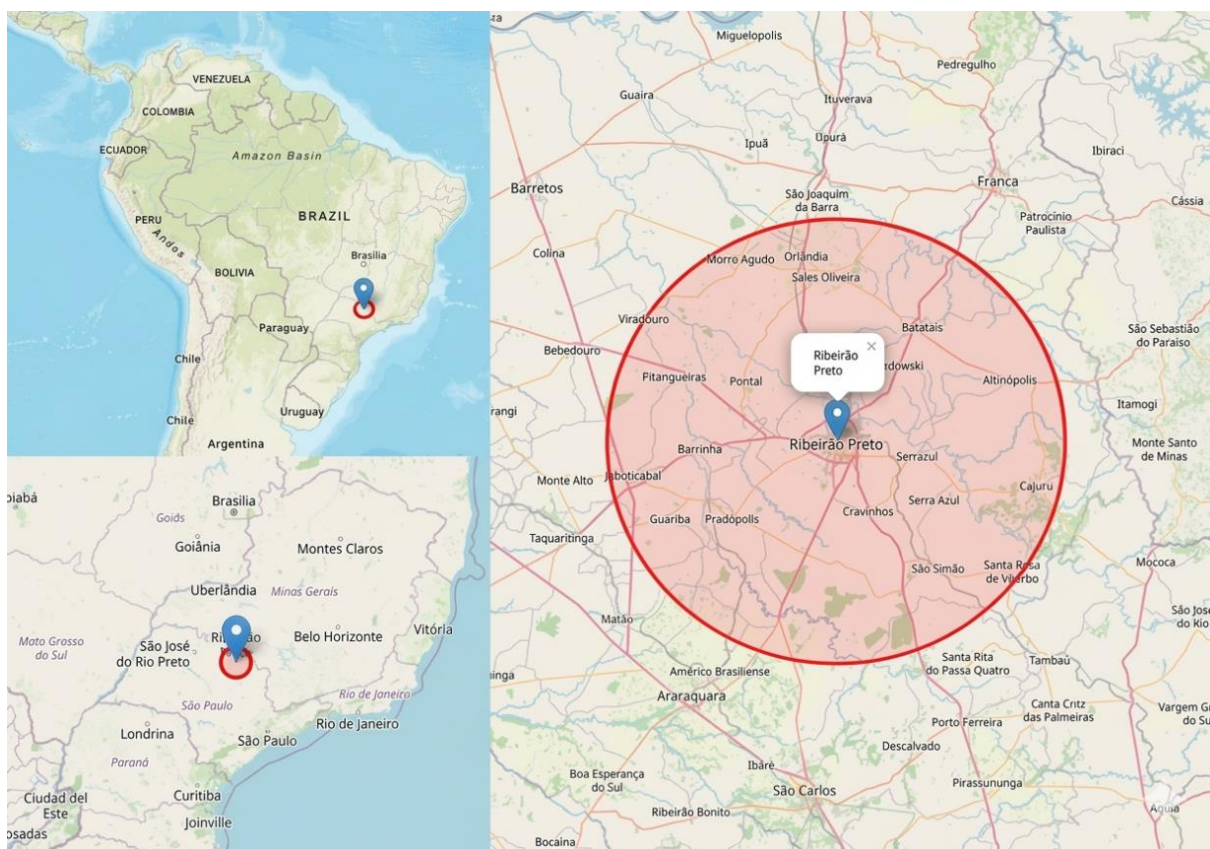


Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudo.

Métodos de coleta de *Sphenophorus levis*

Para determinar a melhor forma de coleta de *S. levis* foram utilizadas armadilhas tipo “*pitfall*” (armadilhas de queda/interceptação), elaboradas com potes plásticos (10 cm de largura e 6 cm de altura) enterrados a nível do solo (6 cm de profundidade), protegidos na parte superior pela tampa e fixadas ao solo com varas de madeira. No fundo há uma solução que preserva os organismos coletados composta por água e detergente neutro 10:1 (v/v) (Figura 2).

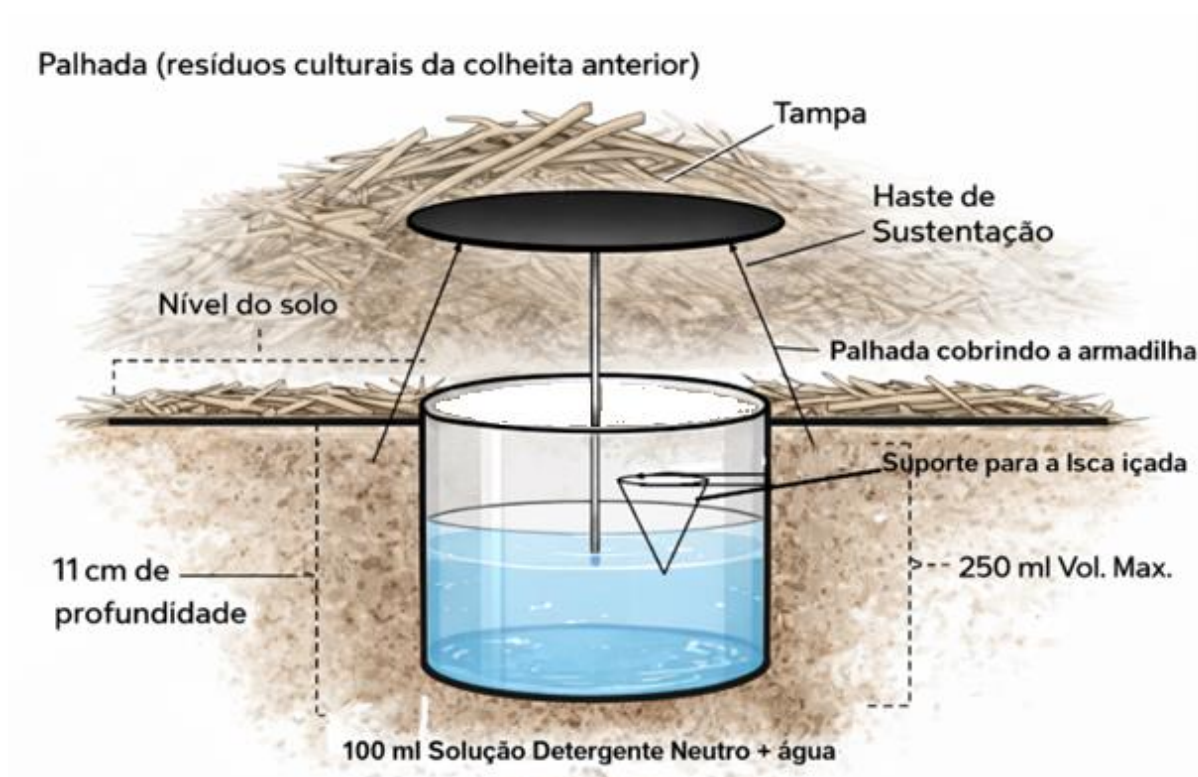


Figura 2. Esquema geral da armadilha “pitfall” utilizada nas coletas.

As armadilhas permitem a utilização de diferentes iscas, e estas definiram 11 tratamentos, dispostos em cada um dos talhões avaliados, com 11 repetições e bordadura 25 m e espaçados de 20 m um do outro (Tabela 1)

Tabela 1. Tratamentos elaborados segundo as diferentes iscas.

Tratamento	Descrição
A	Tradicional = Controle tolete de cana-de-açúcar (sem “pitfall”)
B*	Tolete de cana pré-fermentado
C	Tolete de cana embebido em vinhaça por 24h
D	“pitfall” com toletes de cana
E	“pitfall” com iscas pré-fermentadas
F	“pitfall” com vinhaça
G	“pitfall” com cana embebida em vinhaça
H	“pitfall” com canas pré-fermentadas embebidas em vinhaça
I	“pitfall” com toletes de cana com 8 machos de <i>S. levis</i>
J	“pitfall” com toletes de cana e 4 casais de <i>S. levis</i>
K	“pitfall” (controle negativo) apenas água

*24h submergidos em solução de água, açúcar e fermento em pó comercial (*Saccharomyces cerevisiae*)

As armadilhas foram instaladas nas datas: 22 de março de 2023 perfazendo três eventos de coleta subsequentes em 24, 28 e 30 de março 2024. Uma segunda época de levantamento ocorreu a partir de 03 de fevereiro de 2024, com 3 outras coletas subsequentes em 19, 21 e 23 de fevereiro de 2024. Em cada momento de coleta, foram realizadas a realimentação de iscas para manter o padrão de possível atratividade uma vez que diversas das iscas podem apresentar ressecamento e evaporação, modificando seu potencial.

Para o mesmo período foram obtidos dados climatológicos junto a estações meteorológicas locais [A747] Pradópolis – SP e [V0495] Sertãozinho – SP dados foram interpolados linearmente (INMET, 2026).

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2026), com suporte dos pacotes *ggplot2*, *dplyr*, *tidyr*, *car*, *nortest*, *PMCMRplus*, *lmtest* e *MASS*, com o objetivo de investigar a relação entre diversas variáveis e a abundância populacional de *S. levis*. O nível de significância foi estabelecido em 5% ($\alpha = 0,05$), garantindo robustez na interpretação dos resultados.

A variável resposta selecionada para a análise foi a abundância de indivíduos coletados de *S. levis*, expressa como contagem por unidade amostral. As variáveis explicativas incluíram tratamentos, categorizados como fatores, e a data de coleta, que foi analisada tanto como um fato, quanto como uma variável numérica,

possibilitando a análise de tendência temporal. Para isso, as datas foram convertidas para o formato “Date” (dia/mês/ano) e, quando necessário, organizadas em ordem numérica para facilitar a modelagem de regressão.

Antes da aplicação de testes paramétricos, foi realizada rigorosa verificação da adequação aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias. A normalidade dos resíduos foi avaliada através do teste de Shapiro–Wilk em modelo linear simples, considerando a formulação da abundância como função do tratamento. Por sua vez, a homogeneidade das variâncias entre os tratamentos foi verificada pelo teste de Levene. Apenas quando ambos os pressupostos foram confirmados ($p \geq 0,05$), utilizou-se método paramétrico; caso contrário, métodos não paramétricos equivalentes foram empregados. A natureza dos dados, que geralmente apresenta contagens assimétricas e a possibilidade de superdispersão, levou à condução de análises complementares utilizando modelos lineares generalizados.

Para examinar as diferenças nas médias de abundância entre os tratamentos, utilizou-se o Teste de Kruskal–Wallis, seguido pelo Teste de Dunn com ajuste de Benjamini–Hochberg (BH) para controle da taxa de falsas descobertas. Além disso, as medidas descritivas, como médias, desvios padrão e erro padrão da média, foram calculadas para cada tratamento, proporcionando base para comparação.

A análise da variação na abundância ao longo do tempo foi realizada com o mesmo teste de Kruskal–Wallis (K-W), ao qual foram aplicados testes pós hoc, como Tukey ou Dunn, dependendo da adequação. Isso permitiu a identificação de diferenças estatisticamente significativas entre as datas de coleta.

Para comparar a abundância entre os anos de 2023 e 2024, utilizou-se o Teste t para amostras independentes, considerando as variâncias desiguais, e o Teste de Wilcoxon–Mann–Whitney como alternativa não paramétrica. Ambos os testes foram reportados com médias, desvios padrão, tamanhos amostrais e valores de p, assegurando análise rigorosa e sistemática.

A tendência temporal da abundância foi avaliada através de regressão linear simples, na qual o tempo foi representado pela sequência cronológica das coletas. Para robustez, a correlação de Spearman entre a ordem temporal e a abundância foi estimada, uma vez que essa abordagem é menos sensível a desvios de normalidade.

Quando surgiram diferenças de tendência entre tratamentos, um modelo de interação foi ajustado.

Dada a natureza discreta e a possível superdispersão dos dados, foram ajustados modelos lineares generalizados com distribuição binomial negativa. O ajuste foi feito utilizando a função `glm.nb` do pacote MASS. Três modelos foram comparados: (i) considerando apenas o efeito do tratamento; (ii) focado apenas no efeito do tempo; e (iii) explorando a interação entre tempo e tratamento. A seleção do modelo mais apropriado foi realizada com base no Critério de Informação de Akaike (AIC), permitindo identificar aquele que melhor se ajusta aos dados observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram coletados 423 indivíduos destes 169 em 2023 e 254 em 2024. Ao compararmos os tratamentos a normalidade dos resíduos foi determinada utilizando o teste de Shapiro-Wilk, resultando em $W = 0,90789$ e $p = 3,695e-05$. O teste de homogeneidade de variâncias de Levene apresentou os resultados ($df = 10$, $F \text{ value} = 1,1884$ e $Pr(>F) = 0,3148$). Ambos os testes indicaram valores de $p < 0,05$, sugerindo a rejeição da hipótese de normalidade e homogeneidade de variâncias, o que levou à escolha de métodos de análise não paramétrica para as investigações subsequentes.

Não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto à abundância de *S. levis* (Kruskal–Wallis, $p > 0,05$). As comparações múltiplas pelo teste de Dunn, com ajuste de Benjamini–Hochberg, confirmaram a ausência de diferenças significativas entre todos os pares avaliados ($p\text{-ajustado} \geq 0,15$) (Tabela 2). A sobreposição das distribuições pode ser observada na Figura 3.

Tabela 2. Comparação do número de *Sphenophorus levis* coletados entre os tratamentos avaliados.

Tratamento	Média ± Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
A	10,00 ± 8,52 a	8	2	27
B	7,28 ± 4,71 a	7	0	14
C	10,28 ± 8,07 a	8	1	25
D	5,57 ± 4,89 a	4	0	14
E	4,85 ± 3,18 a	6	0	10
F	4,00 ± 4,43 a	3	0	12
G	3,85 ± 1,46 a	4	2	6
H	2,28 ± 1,97 a	3	0	5
I	4,28 ± 6,04 a	2	0	17
J	6,00 ± 6,45 a	4	0	19
K	2,00 ± 2,38 a	1	0	7

Teste - KW

P-value: 0,057

P-value adj: 0,054

Letras minúsculas diferentes indicam diferença a nível de 5% pelo teste de K-W seguido por Dunn.

Legenda: A: tolete de cana-de-açúcar; B: tolete de cana pré-fermentado; C: tolete de cana embebido em vinhaça por 24h; D: "pitfall" com tolete de cana; E: "pitfall" com iscas pré-fermentadas; F: "pitfall" com vinhaça; G: "pitfall" com cana embebida em vinhaça; H: "pitfall" com cana pré-fermentada embebida em vinhaça; I: "pitfall" com tolete de cana com 8 machos de *S. levis*; J: "pitfall" com tolete de cana e 4 casais de *S. levis*; e K: "pitfall" apenas água (controle negativo).

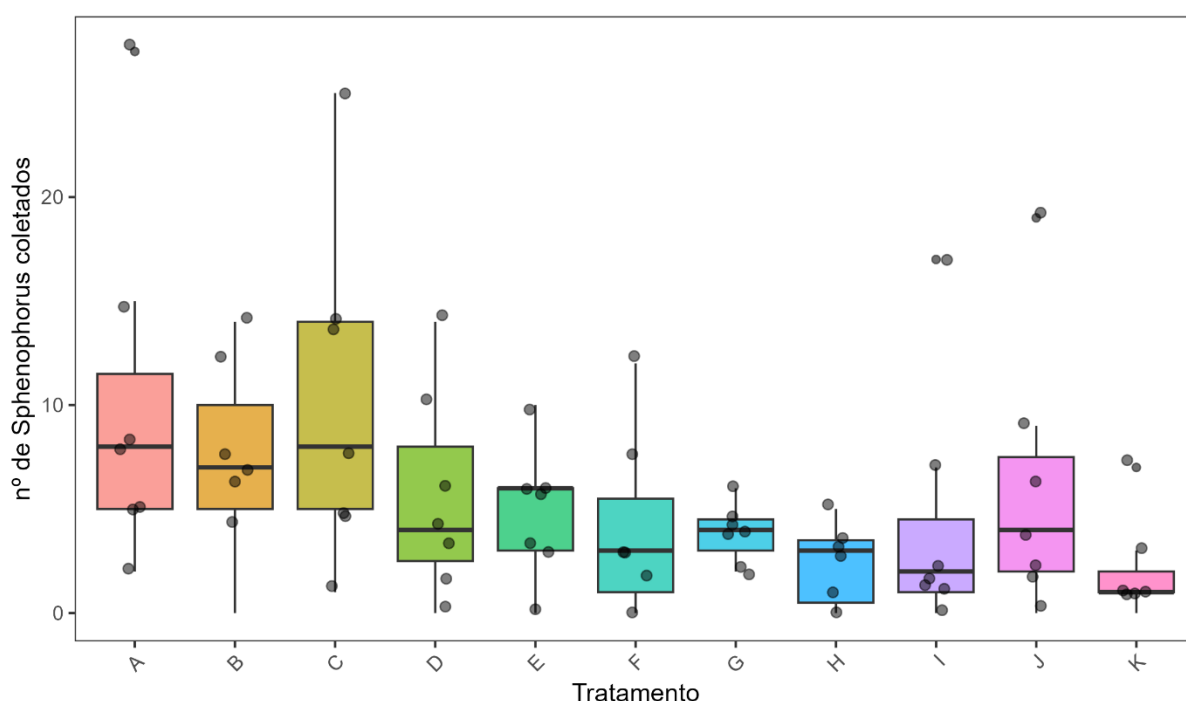


Figura 3. Distribuição da abundância de *Sphenophorus levis* por tratamento com representação dos valores individuais e da mediana e dispersão (quartis).

Legenda: A: tolete de cana-de-açúcar; B: tolete de cana pré-fermentado; C: tolete de cana embebido em vinhaça por 24h; D: "pitfall" com tolete de cana; E: "pitfall" com iscas pré-fermentadas; F: "pitfall" com vinhaça; G: "pitfall" com cana embebida em vinhaça; H: "pitfall" com cana pré-fermentada embebida em vinhaça; I: "pitfall" com tolete de cana com 8 machos de *S. levis*; J: "pitfall" com tolete de cana e 4 casais de *S. levis*; e K: "pitfall" apenas água (controle negativo).

Ao observar os tratamentos como um todo, é possível verificar que alguns ficaram abaixo da média geral de coleta (E, F, G, I, H e K), sendo os tratamentos A, B, C, D e J aqueles com maior poder de coleta (Figura 4).

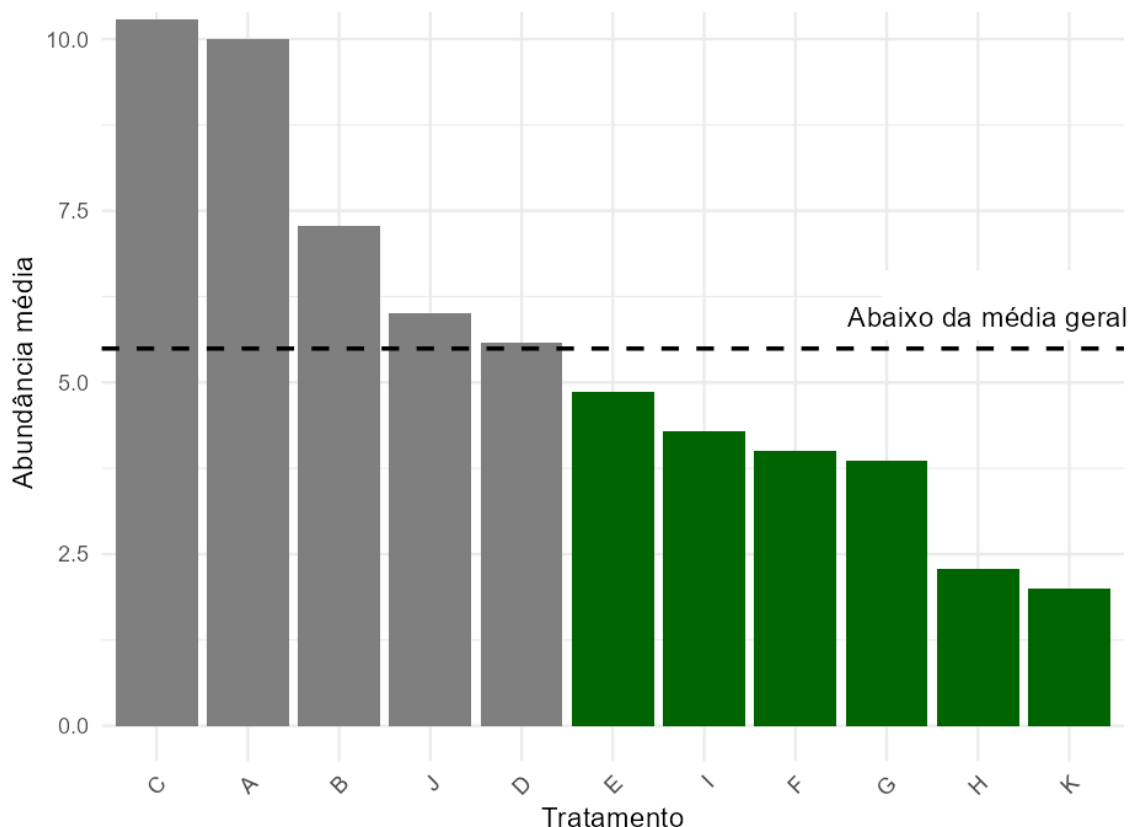


Figura 4. Relação de tratamentos com efeito acima ou abaixo da média geral de coleta total.

Legenda: A: tolete de cana-de-açúcar; B: tolete de cana pré-fermentado; C: tolete de cana embebido em vinhaça por 24h; D: “pitfall” com tolete de cana; E: “pitfall” com iscas pré-fermentadas; F: “pitfall” com vinhaça; G: “pitfall” com cana embebida em vinhaça; H: “pitfall” com cana pré-fermentada embebida em vinhaça; I: “pitfall” com tolete de cana com 8 machos de *S. levis*; J: “pitfall” com tolete de cana e 4 casais de *S. levis*; e K: “pitfall” apenas água (controle negativo).

Os tratamentos que apresentaram os maiores valores absolutos de coleta foram, respectivamente, A (tradicional: tolete de cana-de-açúcar sem “pitfall”), B (tolete de cana pré-fermentada), C (tolete de cana embebido em vinhaça por 24 h), D (“pitfall” com tolete de cana) e J (“pitfall” com tolete de cana e quatro casais de *S. levis*). Embora não tenha sido observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, o que indica equivalência dos tratamentos do ponto de vista inferencial, os maiores valores absolutos observados nesses tratamentos sugerem maior potencial de captura e, portanto, maior aplicabilidade prática. Essa interpretação é especialmente relevante em escala industrial, uma vez que pequenas diferenças

numéricas podem representar ganhos operacionais expressivos em usinas, quando extrapoladas para grandes áreas e volumes de monitoramento.

Além disso, deve-se considerar que a metodologia de toco atacado pode apresentar defasagem na contagem, por se basear em amostragens relacionadas às formas de vida e ao nível de dano, o que pode subestimar ou retardar a detecção real da infestação. Nesse contexto, os tratamentos com maiores valores absolutos podem refletir melhor desempenho amostral e maior atratividade para os insetos, mesmo na ausência de significância estatística.

O método tradicional de coleta mostrou-se eficaz para a captura de adultos de *S. levis*, sendo amplamente reconhecido pelas equipes de levantamento devido à sua confiabilidade e facilidade de aplicação. Ainda assim, os tratamentos B, C, D e J também se mostraram promissores, destacando-se especialmente o tolete de cana pré-fermentada (B), possivelmente em razão da liberação de compostos voláteis produzidos durante a fermentação, os quais atuam como atrativos para os insetos (Landolt & Mitchell, 1997; Patel & Shibamoto, 2002; El-Sayed et al., 2005). Além disso, os compostos liberados podem ser alterados mediante o uso de outros microrganismos fermentadores (e.g. autóctones), tanto em quantidade quanto em qualidade (El-Sayed e Heppelthwaite, 2005), o que permite ajustes para modular componentes específicos atrativos. Nesse sentido, estudos adicionais estão sendo conduzidos a fim de analisar essa hipótese, pois conforme El-sayed et al. (2005) utilizando *S. cerevisae* demonstram que condições ambientais diferentes causam alterações no perfil químico de compostos voláteis atrativos.

O tratamento com tolete de cana embebido em vinhaça por 24h (C), também apresentou desempenho equivalentes. A vinhaça pode fornecer nutrientes adicionais, umidade e estímulos olfativos que favorecem a captura, levantando-se alerta sobre o uso e aplicação da vinhaça nos canaviais, uma antiga preocupação e suspeita sobre o que tem atraído *S. levis* para os canaviais, haja visto que há suspeita de que com essa prática aumentou os índices de infestação desta praga (Martins et al., 2020).

Foco especial deve ser dado aos tratamentos A, B e C, uma vez que esses conjuntos de dados podem indicar que a cana-de-açúcar residual, aquela que permanece no campo após a colheita, desempenharia papel significativo na dinâmica populacional de *S. levis*, conforme observado em outros aspectos por estudos como

Franchini et al. (2026), Rosa et al. (2023), Xavier et al. (2024). Trata-se de uma suspeita do setor e dos responsáveis desta parte técnica que o acúmulo desses toletes de cana cria um ambiente propício para a atração dos insetos, pois libera compostos voláteis que podem persistir por um período considerável.

A permanência de atrativos no ambiente pode aumentar a probabilidade de captura dos adultos, mesmo após a colheita, contribuindo para a continuidade da pressão populacional sobre os canaviais. Assim, é essencial considerar a gestão adequada desses resíduos, não apenas para minimizar os danos causados por insetos-pragas, mas também para otimizar as estratégias de monitoramento e controle. Além disso, a compreensão do impacto residual da cana no campo é importante para o desenvolvimento de métodos eficazes de manejo integrado, uma vez que esses efeitos de atração podem perdurar, afetando as populações de pragas por várias safras subsequentes.

Já, a pitfall com tolete de cana e 4 casais de *S. levis* apresenta uma inovação ao incluir quatro casais de *S. levis*, espécie com reconhecido comportamento de atração (Zarbin et al., 2003; Martins et al., 2020; Ferreira & Ferreira, 2023). A adição desses casais não só contribui com os compostos voláteis da cana, mas também cria um ambiente estimulante e social, facilitando maior interação entre os insetos, o que potencializa a atração dos adultos para as armadilhas, resultando em taxa de captura ainda mais alta. Considerando que o método empregado com casais pode ser melhorado, criando condições de melhor socialização e liberação de compostos voláteis, fica evidente que têm potencial de melhoria. Conforme observado para *Tribolium castaneum* (caruncho-do-farinha): o feromônio de agregação DMD atrai ambos os sexos e é amplamente empregado em armadilhas; exposição prolongada pode ainda reduzir “fitness” ao alterar o relógio circadiano, o que pode reforçar o controle (Rath et al., 2021).

Esses resultados positivos sugerem que, além dos métodos tradicionais de captura, que já são amplamente conhecidos e utilizados, os métodos D e J apresentam abordagens alternativas viáveis e potencialmente eficientes. Essa diversidade de métodos de coleta não só amplia as opções disponíveis para pesquisadores e profissionais de manejo, mas também pode aprimorar as estratégias de monitoramento populacional. Com métodos mais eficazes é possível obter dados

mais precisos sobre a dinâmica populacional da espécie, o que é importante para o desenvolvimento de práticas de controle e de manejo sustentável.

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 1), especialmente em relação ao tratamento “K” (água + detergente), indica que os atrativos avaliados não aumentaram a eficiência de captura quando comparados à armadilha sem isca. Assim, nas condições deste estudo, não foi possível demonstrar efeito atrativo adicional dos compostos testados sobre *S. levis*. De forma mais ampla, a dinâmica do corte da cana-de-açúcar pode alterar as condições ambientais do talhão, como umidade e disponibilidade de abrigo, o que potencialmente influencia a presença de insetos na área. No entanto, essa relação não pode ser inferida diretamente a partir dos resultados deste experimento, sendo necessária investigação específica para avaliar esse efeito. O corte da cana-de-açúcar causa um aumento súbito de umidade local, seguido por uma seca, esse impacto local pode alterar a dinâmica da praga.

Esta observação é reforçada, por um possível efeito de atração, conforme constatado em estudo, há maior probabilidade de ocorrência de danos dentro de um raio de 740 m a partir do local de transferência de carga da colheita, indicando que esses pontos podem contribuir para a disseminação (Rosa, 2023) ou concentração da praga. Essa observação também pode ser interpretada sob outra perspectiva, pouco discutida por Rosa (2023): além da possível atração, há a hipótese de que a disseminação da praga ocorra pela transferência direta de espécimes aderidos às plantas colhidas e/ou transportados junto à palhada. Nesse caso, ao serem descarregados ou quando o caminhão/máquina para esses indivíduos pode escapar e se dispersar no entorno. Isso ajudaria a explicar a maior probabilidade de ocorrência de danos observada em um raio de até 740 m a partir do local de transferência da carga, indicando que esses pontos também podem atuar como focos de dispersão da praga.

A pesquisa de Rosa et al. (2023) também mostrou que as áreas afetadas tendem a se expandir em 11,96% a cada safra, destacando a importância do monitoramento e do manejo das infestações locais, funcionando como ponto de atração e manutenção da praga em sítios de transferência. Além disso, o adensamento dos talhões durante o desenvolvimento vegetativo e crescimento da

planta, especialmente após o aumento do número de folhas, contribui para o incremento da umidade relativa (Carvalho et al., 2023) no local onde a praga habita e se desenvolve (Nobel & Long, 1985).

Outra questão é aquela relativa às práticas agrícolas empregadas no cultivo da cana-de-açúcar, as quais parecem impactar significativamente na prevalência de *S. levis*. Por exemplo, a adoção da colheita da cana verde, que deixa palha no solo e restos culturais, demonstrou afetar as populações de pragas, por exemplo. *H. taltula* (Seleglim, 2020) e *Elaphria agrotina* (Guenée, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae) (Nascimento et al., 2024). Essas práticas alteram o microambiente local, potencialmente beneficiando pragas como *S. levis*, proporcionando-lhes um habitat mais propício para sobrevivência e reprodução (Dinardo-Miranda & Fracasso, 2013).

Além disso, de acordo com Girón-Perez et al. (2009), alguns aspectos relacionados à umidade já eram conhecidos, com Rosa et al. (2023) e Xavier et al. (2024) citando que a umidade eleva intensidade de ataque de *S. levis* na cultura da cana-de-açúcar. Além disso, aparentemente a praga possui preferência por ambientes úmidos, que facilita o desenvolvimento dos ovos e das larvas, devendo ser salientado que durante época chuvosa o controle químico pode ser menos eficaz, pois os inseticidas podem ter sua ação limitada mais rapidamente (Sanchez et al., 2003). Ao mesmo tempo, o controle biológico pode ser potencializado especialmente com o uso de *B. bassiana* reconhecido agente de controle de *S. levis* em canaviais e com nematoides entomopatogênicos (Leite et al., 2012; Smaniotto, 2019). Além disso, evidências empíricas indicam que *S. levis* iniciou a colonização dos canaviais em áreas nativas próximas a corpos hídricos, sendo no Brasil estas áreas as APPs (Áreas de Proteção Permanente) (dados ainda não publicados).

A partir dessas informações buscou-se ainda entender se a abundância dos espécimes coletados varia significativamente entre as diferentes datas de coleta, utilizando-se o teste de Kruskal-Wallis. Os resultados revelaram o valor de 20,354 para o Chi-quadrado com 6 graus de liberdade, resultando num valor de p (0,002395), valor significativamente menor que o nível de significância assumido de 0,05, indicando que há diferenças estatisticamente significativas na coleta de *S. levis* entre as diferentes datas analisadas.

Portanto, com base nos resultados do teste de Kruskal-Wallis, seguiu-se o pós-teste de Dunn que indicou diferença significativa apenas em 19/02/2024, em relação à 03/02/2024, 21/02/2024, 23/02/2024 e 28/03/2023 ($p < 0,05$) (Tabela 3 e Figura 5).

Tabela 3. Médias e desvios padrões da abundância dos espécimes por data de coleta.

Data avaliada	Média $\pm$ desvio padrão	Teste*
24/03/2023	6,63 $\pm$ 4,08	B
28/03/2023	2,81 $\pm$ 1,72	B
30/03/2023	5,90 $\pm$ 5,06	B
03/02/2024	2,90 $\pm$ 2,66	B
19/02/2024	12,90 $\pm$ 8,32	A
21/02/2024	3,72 $\pm$ 4,54	B
23/02/2024	3,54 $\pm$ 2,87	B

*Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste de K-W e pós teste de Dunn a 5% de confiança ($p < 0,05$).

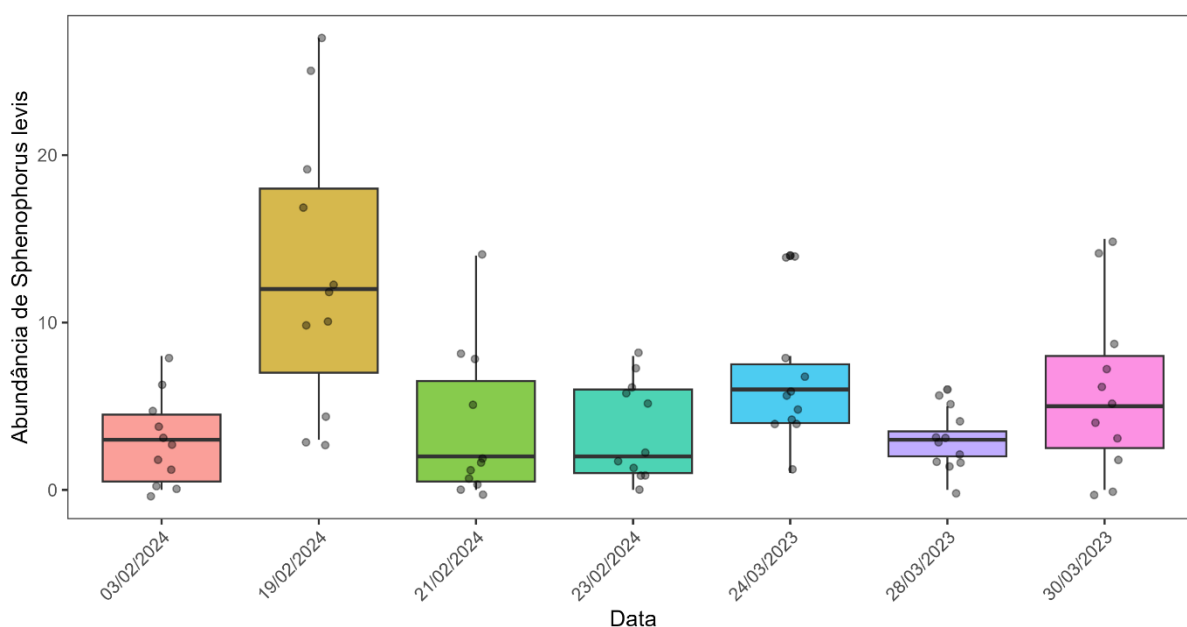
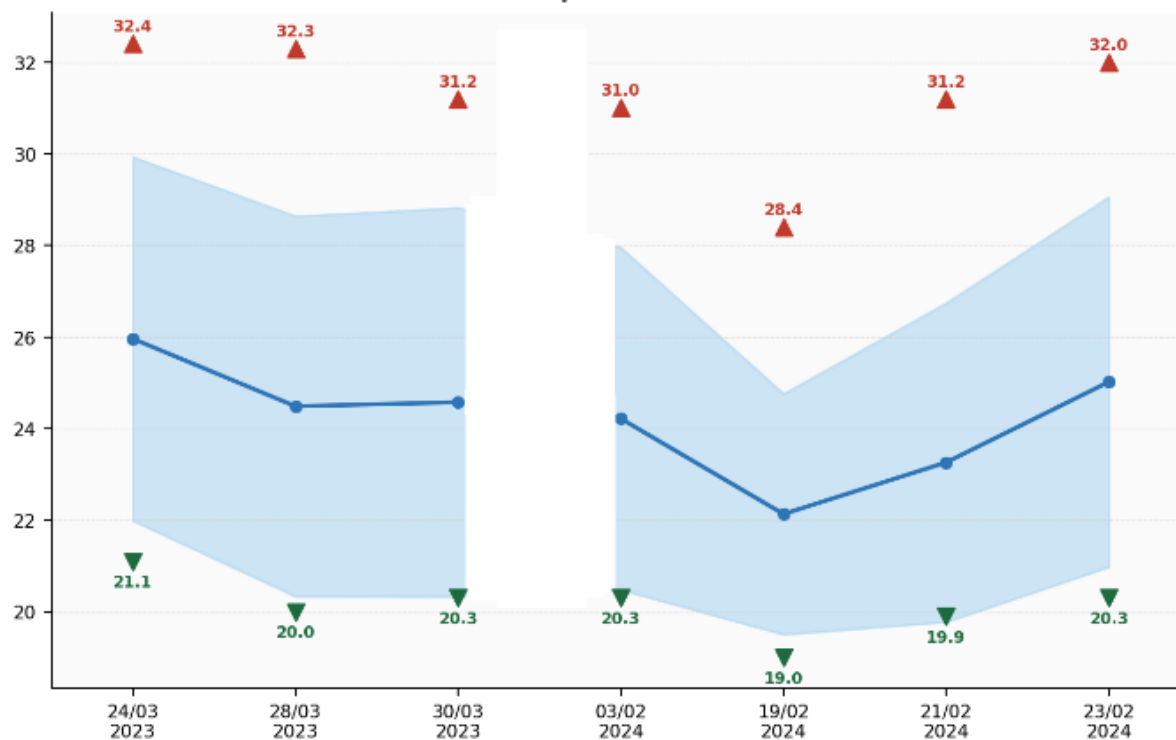


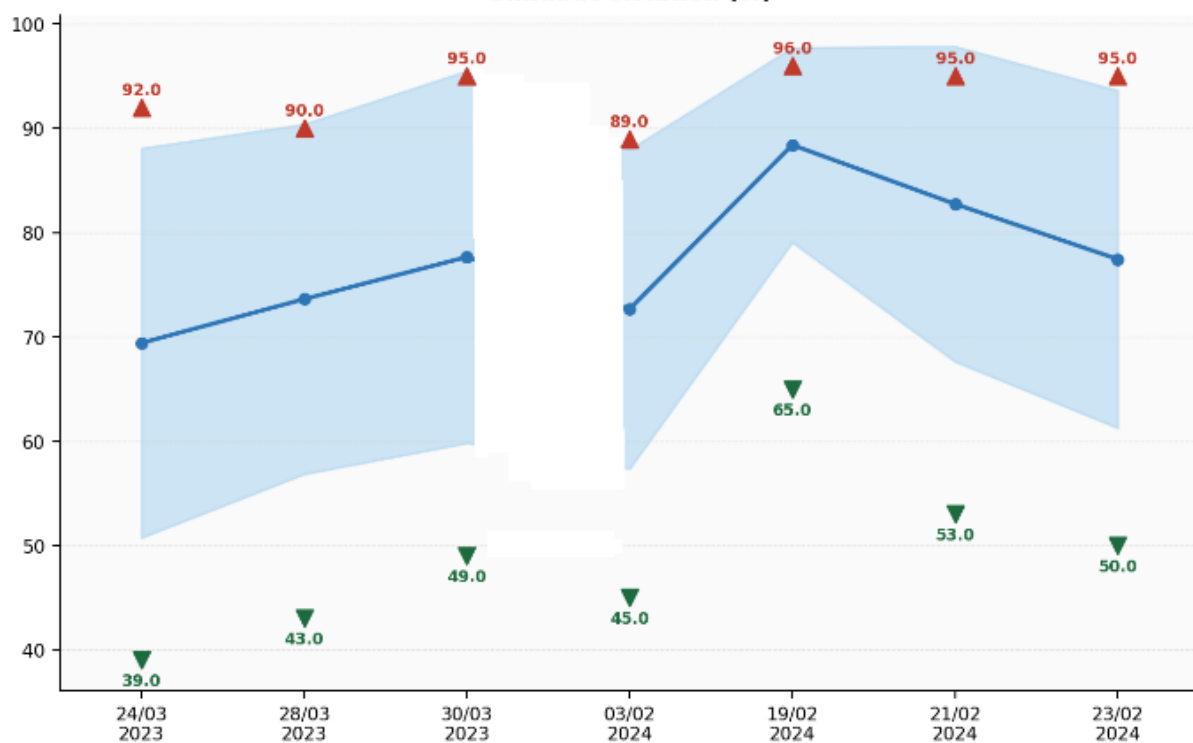
Figura 5. Distribuição do número de *Sphenophorus levis* por evento de coleta (data).

Deste modo verifica-se que a abundância dos espécimes varia de forma significativa apenas em uma data de coleta (19/02/2024), com essa variação sujeita a diversos fatores ecológicos ou sazonais, que influenciam a dinâmica populacional. Com observado nos dados climatológicos obtidos, parte da variação pode ser explicada pela variação ambiental. Deste modo ao observarmos as condições ambientais no dia da avaliação, variações podem ser notadas (Figura 6).

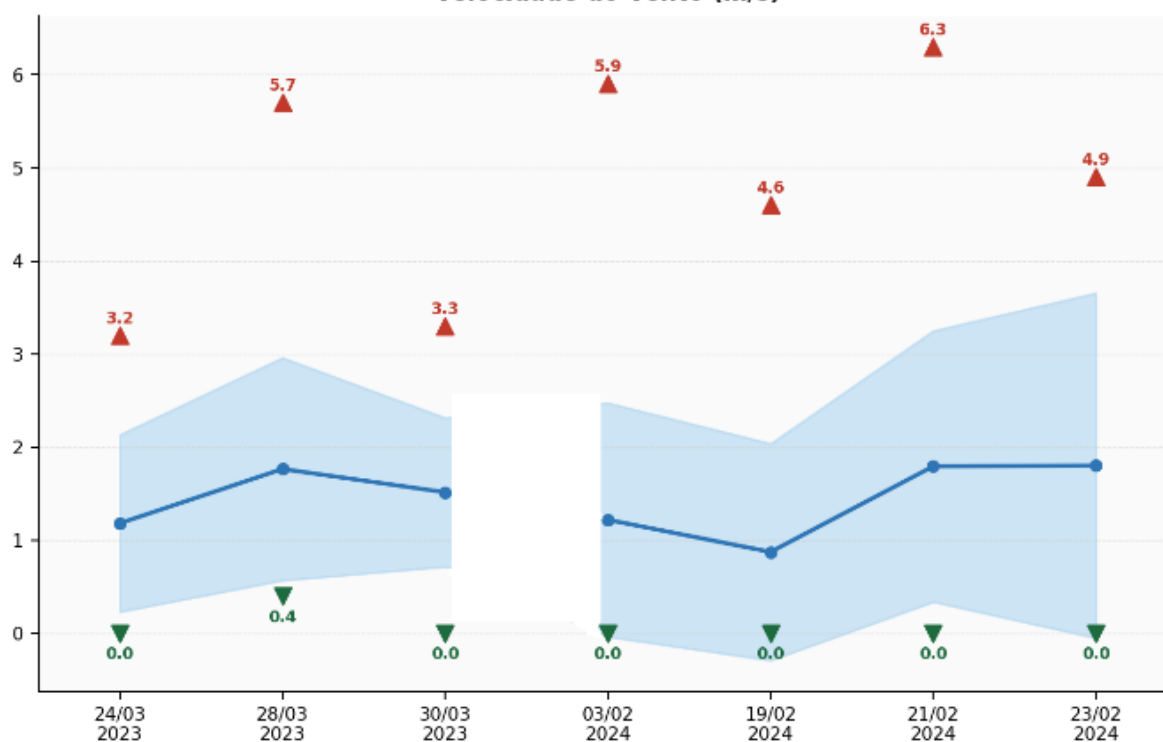
Temperatura (°C)



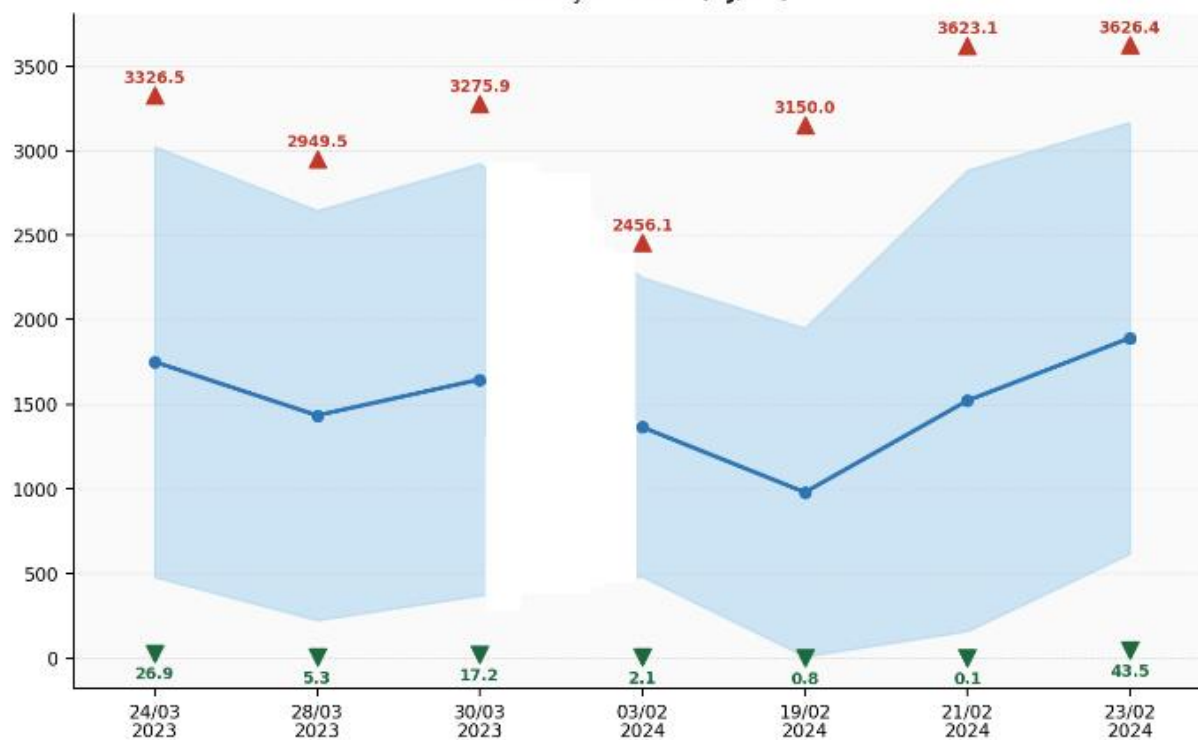
Umidade Relativa (%)



Velocidade do Vento (m/s)



Radiação Solar (KJ/m²)



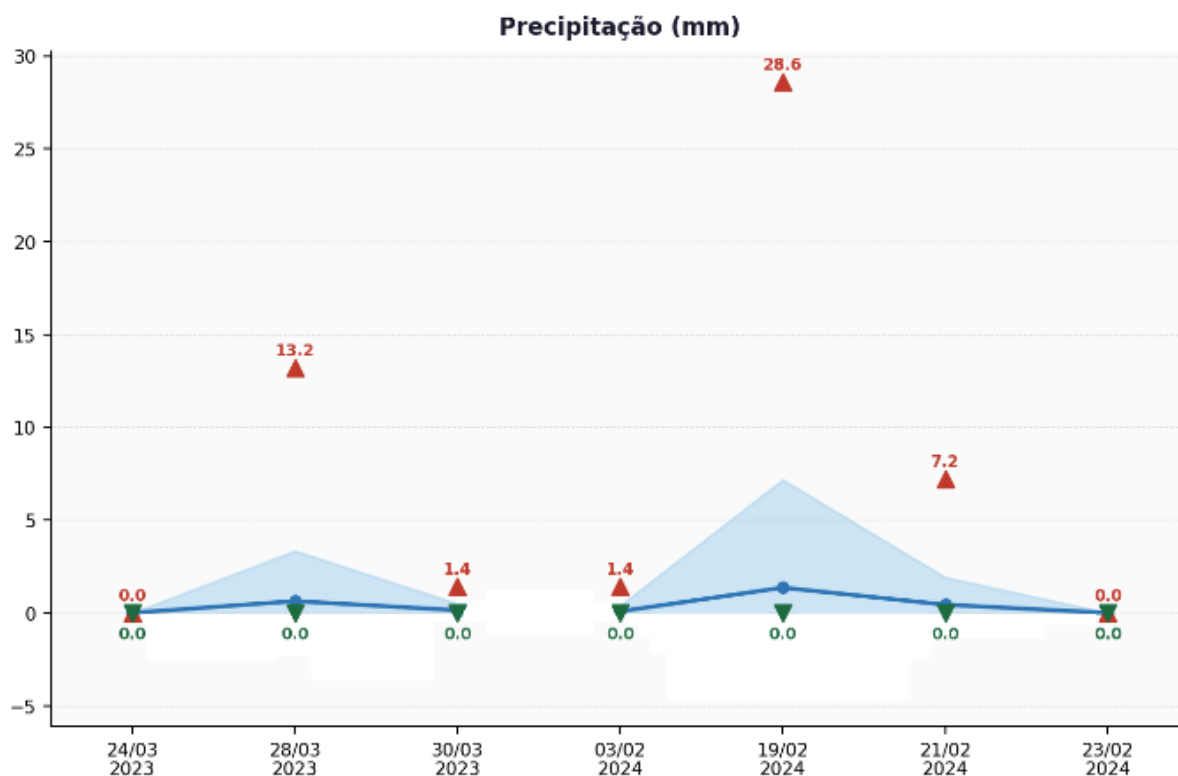


Figura 6. Dados climatológicos nas datas de coleta. Legenda: Setas vermelhas indicam valores máximos diários, Setas verdes valores mínimos diários, Círculo azul: média diária e Sombra azul claro o desvio padrão diário.

Ao se comparar a análise em uma série temporal, é possível observar picos de coleta, e/ou mudanças no comportamento das armadilhas, algumas iniciando com baixa efetividade, porém, começando a atrair mais insetos com o passar do tempo. Outras, no entanto, se comportam de modo contrário, com maior efetividade inicial seguida por decréscimos ao longo do tempo (Figura 6).

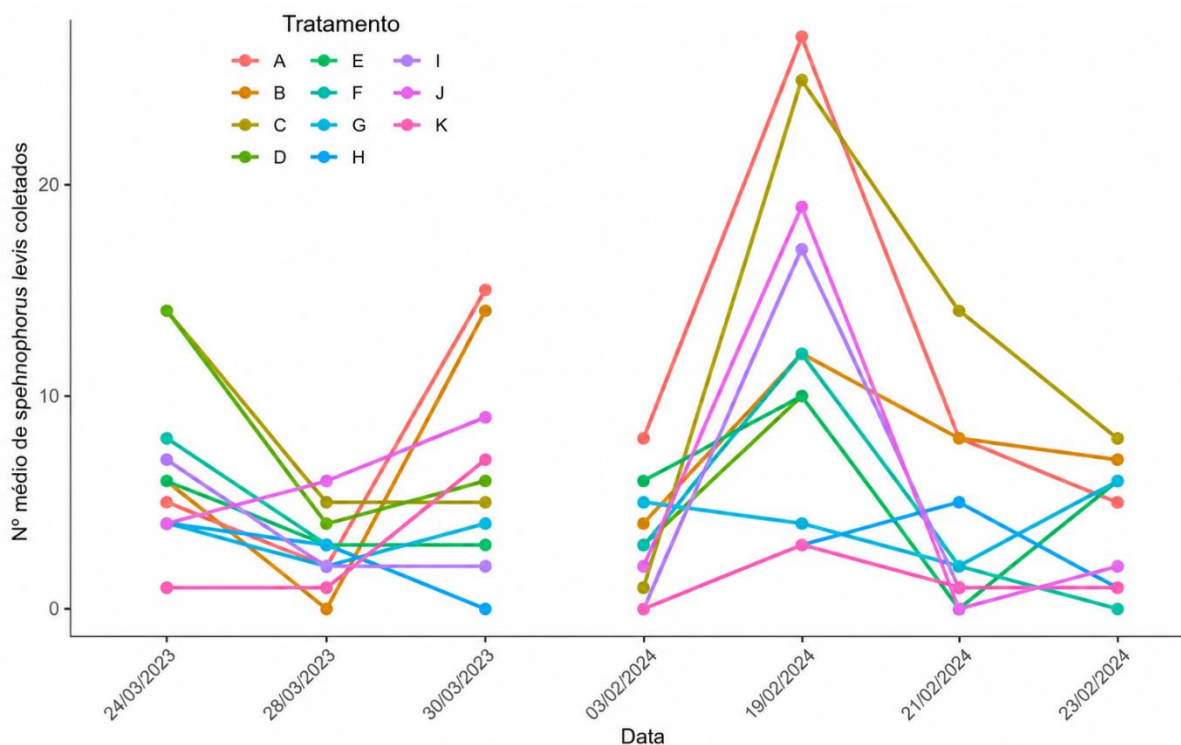


Figura 6. Distribuição das coletas de *Sphenophorus levis* por tratamento.

Legenda: A: tolete de cana-de-açúcar; B: tolete de cana pré-fermentado; C: tolete de cana embebido em vinhaça por 24h; D: "pitfall" com tolete de cana; E: "pitfall" com iscas pré-fermentadas; F: "pitfall" com vinhaça; G: "pitfall" com cana embebida em vinhaça; H: "pitfall" com cana pré-fermentada embebida em vinhaça; I: "pitfall" com tolete de cana com 8 machos de *S. levis*; J: "pitfall" com tolete de cana e 4 casais de *S. levis*; e K: "pitfall" apenas água (controle negativo).

Observa-se um pico de coletas na segunda data (19/02/2023), indicando um evento de aumento sincronizado na maioria dos tratamentos, seguido por uma queda generalizada na terceira amostragem (21/02/2023). A partir desse ponto, os valores oscilam em níveis mais baixos e relativamente estáveis, com alguns tratamentos apresentando um leve aumento na última data (14/03/2023). Esse padrão sugere a influência de fator ambiental que impactou todos os tratamentos de forma semelhante.

Embora o pico de coleta seja comum para todos os tratamentos, a magnitude da resposta varia consideravelmente (Ferreira et al., 2024), com alguns tratamentos alcançando valores superiores a 25 indivíduos, enquanto outros mostrando aumentos mais moderados ou níveis consistentemente baixos. Visualmente não se identifica uma tendência clara de aumento ou declínio contínuo na dinâmica populacional, caracterizada por um pico inicial seguido por flutuações (Bjørnstad & Grenfell, 2001), corroborando a ausência de efeitos significativos do tempo ou interações entre tempo e tratamento (Bolker et al., 2009). Essa variabilidade sugere que, embora os tratamentos possam influenciar a taxa de coleta, não afetam a trajetória temporal

global, indicando uma forte resposta da população a um fator externo comum (Bjørnstad & Grenfell, 2001).

Esse fato pode reforçar o provável papel da umidade, este fator pode ter impacto significativo no comportamento e na dinâmica populacional de diversas espécies (Enjin, 2017), incluindo *S. levis* (Xavier et al., 2024). A presença de umidade no ambiente pode influenciar a atividade dos insetos de várias maneiras, como por exemplo na atração natural, sendo a umidade um sinal de condições favoráveis para a sobrevivência e reprodução. Insetos são frequentemente atraídos para áreas úmidas porque elas oferecem um microclima mais ameno e condições favoráveis para a alimentação e acasalamento (Enjin, 2017).

Isso pode explicar picos populacionais, especialmente após eventos de chuva, irrigação ou fertirrigação (vinhaça) que aumentam temporariamente a umidade do solo e do ambiente, mas não necessariamente há uma atração específica pela vinhaça e seus compostos, pelo menos, não a vinhaça utilizada neste estudo, proveniente da própria usina parceira do estudo.

O aumento da umidade pode desencadear respostas comportamentais que favorecem a reprodução, hipótese reforçada pelos estudos de Xavier et al., (2024) ao verificarem o NDE para cana-de-açúcar nas condições de sequeiro e irrigada, notaram efeito de aumento de infestação para as áreas irrigadas. Para algumas espécies, condições úmidas são essenciais para a oviposição e desenvolvimento de larvas. Assim, um aumento na umidade poderia coincidir com um aumento na taxa de reprodução, levando a flutuações significativas na população (Enjin, 2017).

Após um período de alta umidade, a subsequente secagem do ambiente pode causar estresse nos insetos. Esse estresse pode levar a uma dispersão em busca de locais mais favoráveis ou pode até resultar em mortalidade, influenciando a dinâmica populacional. Este fenômeno pode explicar a variabilidade observada nos dados, já que a população responde não apenas a fatores de atração, mas também a estressores ambientais (Enjin, 2017).

Em ambiente mais úmido pode ocorrer aumento na atividade de outros organismos, como inimigos naturais ou competidores, que também se beneficiam dessas condições. Para cochonilha-da-cana, vários inimigos naturais (vespas

parasíticas, joaninhas, sirfídeos, crisopídeos, aranhas) foram mais abundantes de junho a agosto, período chuvoso com maior umidade (Miah et al., 2019)

Isso pode resultar em uma dinâmica de predação ou competição que influencia a abundância de *S. levis* nas armadilhas, mudando a eficácia dos tratamentos. Essa afirmação é possível, porém indireta, uma vez que em estudo semelhante de atração e uso de armadilhas foi detectada a presença de *Liogonyleptoides inermis* (Mello-Leitão, 1922) (Opiliones: Gonyleptidae), possivelmente um predador oportunista em canaviais na mesma região desta pesquisa (Peixoto et al., 2024). Ao estudar como as condições ambientais, incluindo a umidade, podem afetar a ocorrência e a atividade de organismos do solo aqueles autores destacam que fatores como temperatura, insolação e umidade impactam a distribuição e a ocorrência de opiliões, incluindo *L. inermis*, sugerindo que ambientes com maior insolação, temperaturas elevadas e umidade reduzida podem limitar a presença desses organismos devido a essas condições serem desfavoráveis.

Caso os atrativos tenham uma composição volátil que se degrade ou se dilua (hidrosolubilidade) com o aumento da umidade, sua eficácia pode ser comprometida, uma vez que a umidade interfere na volatilidade e na dispersão dos compostos utilizados como iscas (Xu et al., 2019). Isso pode fazer com que o efeito atraente se torne menos pronunciado em comparação a períodos secos. Nesse sentido, a umidade desempenha papel multifacetado, afetando tanto a distribuição e a abundância das populações, quanto a eficiência das armadilhas. Essa interação complexa pode dificultar a identificação de um padrão claro e trivial em relação à eficácia dos tratamentos, pois a resposta populacional parece ser mais influenciada por contextos ambientais amplos do que por intervenções específicas nos tratamentos experimentais.

A chuva realmente “lava” o ar, mas também pode liberar e espalhar odores localmente. Embora isso pareça contraintuitivo, “lavar o ar” é correto em escala maior, pois a chuva remove partículas e gases hidrossolúveis da atmosfera, reduzindo concentrações a certa distância da fonte de emissão (Xu et al., 2019; Yeo et al., 2020). Em modelos de dispersão de odores, fatores dominantes como vento e turbulência superam a umidade isoladamente (Yeo et al., 2020).

Entretanto, a umidade e a água líquida têm um papel importante na liberação de compostos odoríferos. Com o aumento da umidade, ocorre a solubilização e mobilização de moléculas odoríferas encontradas em fezes, lixo, carcaças e vegetação úmida, intensificando as emissões de odor nas proximidades (Xu et al., 2019; Kamran et al., 2024). Em sistemas de compostagem, regiões mais úmidas mostram maior emissão de sulfetos e odores em determinados arranjos, apesar de variações no desempenho do processo (Xu et al., 2019).

A mudança da forma física do odor também é relevante. Substâncias fétidas em água ("skunk water") podem secar em superfícies, mas com a chuva ou alta umidade, o odor pode ser reativado, tornando-se mais intenso ao redor de corpos ou objetos contaminados (Joronen & Ghantous, 2024). Além disso, no ar úmido, tanto a convecção quanto a difusão molecular contribuem para a dispersão de odores, com um maior teor de vapor de água alterando o padrão de mistura e podendo formar plumas de odor mais amplas e persistentes, especialmente perto do solo (Finelli et al., 1999; Kamran et al., 2024). Enquanto, a longo alcance, a chuva e a umidade tendem a reduzir a concentração de odores (efeito de "lavagem") nas proximidades da fonte e do solo, com a umidade podendo solubilizar e reativar moléculas odoríferas, aumentando a percepção de odor, especialmente logo após a chuva associado a vento fraco.

Este fenômeno pode ser refletido na análise da população de *S. levis*. Por exemplo, ao se comparar os valores médios anuais de abundância, não foi observada diferença significativa entre os anos de 2023 ($5,12 \pm 4,12$) e 2024 ($5,77 \pm 6,47$), tanto pelo teste t de Welch ($t = -0,54$; $p = 0,59$), quanto pelo teste de Wilcoxon ($W = 765,5$; $p = 0,69$). Isso sugere que, apesar das variáveis ambientais que influenciam o comportamento dos odores, como a umidade, a população de *S. levis* manteve certa estabilidade em sua abundância ao longo desses anos (Figura 7).

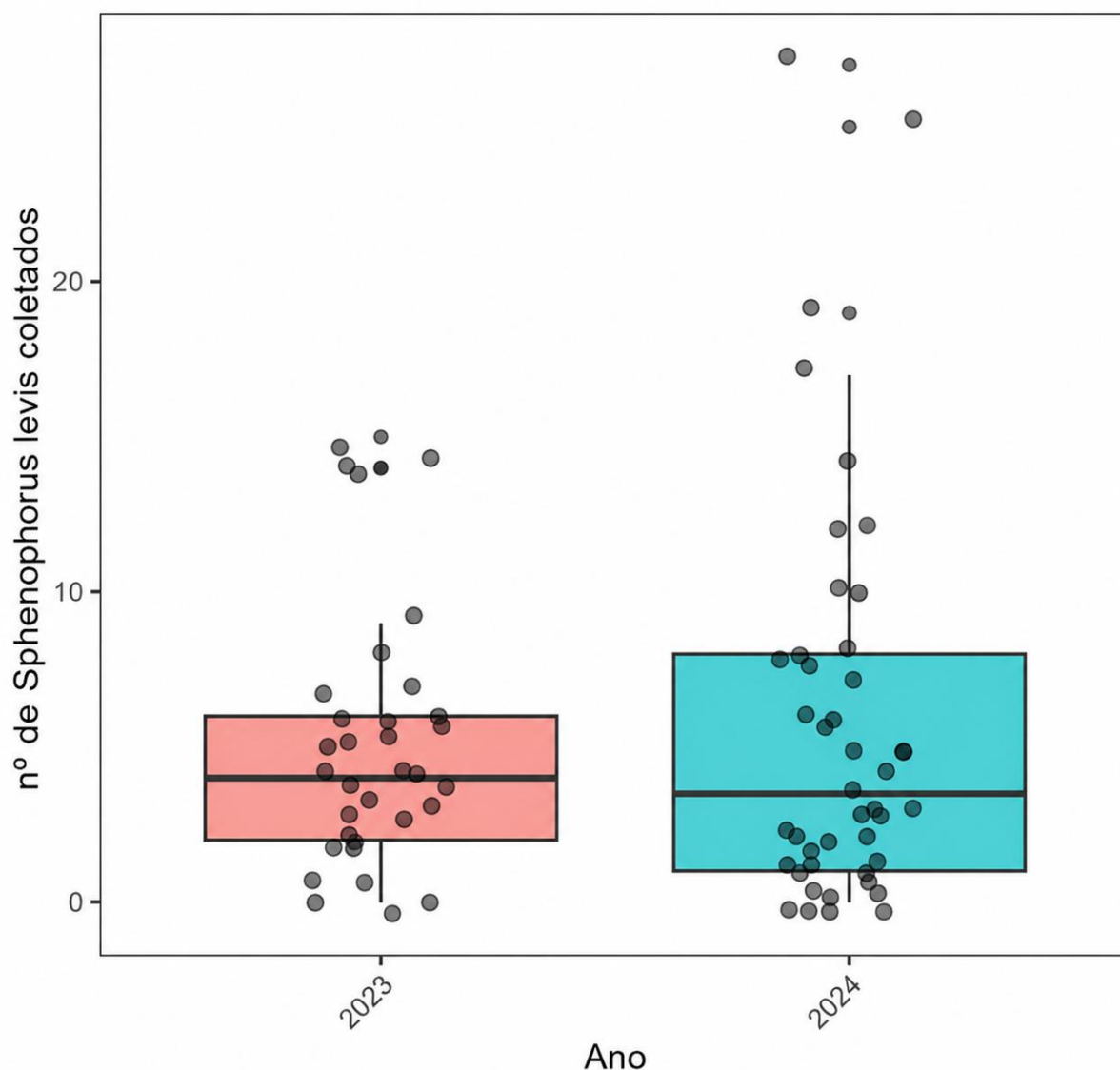


Figura 7. Abundância anual de *Sphenophorus levis* na área de coleta e por ano de coleta 2023-2024.

Assim, mesmo com os efeitos dinâmicos da umidade nas emissões de odor, outros fatores podem estar sustentando essa estabilidade populacional, indicando um equilíbrio complexo na interação entre as variáveis ambientais e a presença de *S. levis*. Apesar da média de 2024 ser ligeiramente maior que a do ano anterior, com aumento médio de apenas 0,5 indivíduo, a variação observada dentro dos anos é bastante grande. Isso indica que, embora a média tenha apresentado um pequeno incremento, a oscilação nos dados pode esconder um comportamento populacional mais complexo.

Além disso, a diferença média entre os anos não é substancial, sugerindo que na prática essa variação pode não ter um impacto considerável sobre a população estudada. Por fim, ao considerar os dados disponíveis, não há evidência estatística suficiente para afirmar que houve uma mudança populacional significativa ao longo dos anos analisados. Essa conclusão ressalta a importância de interpretar os dados com cautela, levando em conta tanto as médias, quanto as variações observadas.

Ao aplicar a regressão linear para analisar possível tendência no incremento populacional na área avaliada, não ocorreu indicativo de tendência temporal significativa na abundância de *S. levis* ($\beta = -0,016$; $p = 0,96$; $R^2 \approx 0$) (Figura 8).

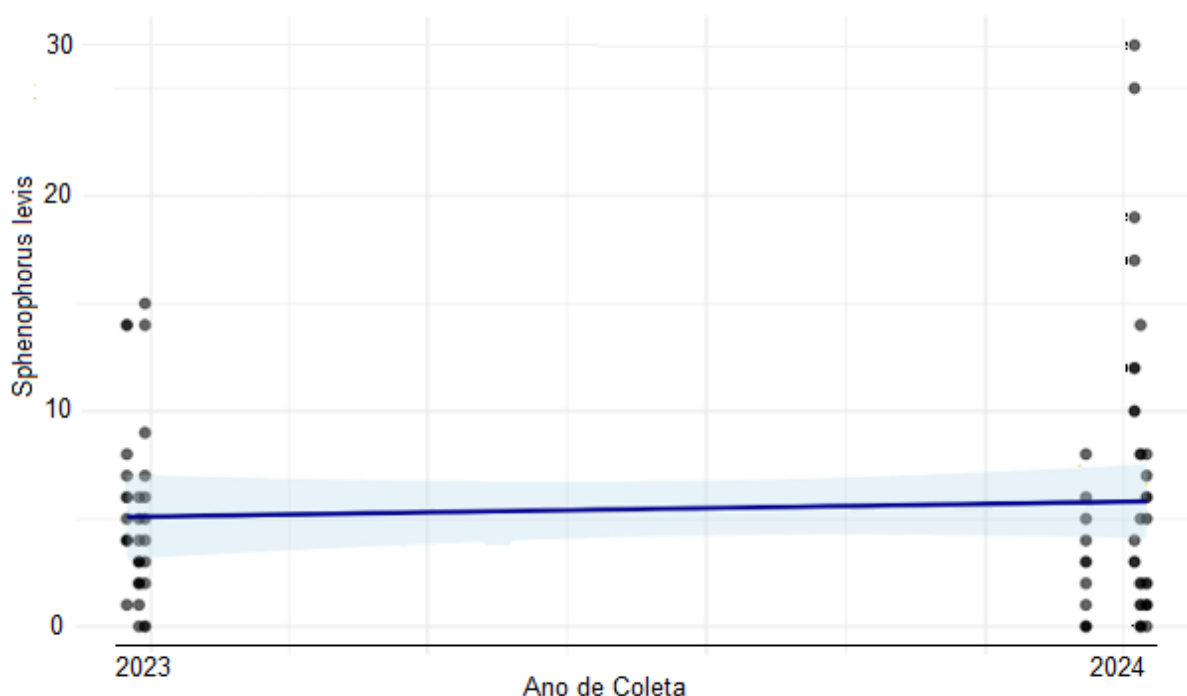


Figura 8. Tendência temporal (linha azul escura) e intervalo de confiança (95%) (sombra azulada) da abundância de *Sphenophorus levis* ao longo dos anos de coleta.

A regressão linear com interação entre tempo e tratamento não indicou efeito significativo da dinâmica temporal sobre a abundância de *S. levis* ($F = 0,996$; $p = 0,48$). Nenhuma interação tempo $\times$ tratamento foi significativa, indicando ausência de diferenças nas tendências populacionais entre tratamentos.

A abundância de *S. levis* foi analisada por meio GLM com distribuição binomial negativa, considerando os efeitos de tempo, tratamento e sua interação. O modelo completo (tempo $\times$ tratamento) não indicou efeito significativo da tendência temporal

sobre a abundância ($\beta = 0,0015$; $z = 0,836$; $p = 0,403$), demonstrando ausência de aumento ou redução populacional ao longo do período avaliado.

Também não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos quando comparados ao tratamento de referência (A), uma vez que todos os coeficientes associados aos tratamentos apresentaram valores de p superiores a 0,05. Embora alguns tratamentos tenham apresentado estimativas negativas (por exemplo, tratamento H: $\beta = -1,144$; $p = 0,119$), esses efeitos não foram estatisticamente significativos.

Da mesma forma, as interações entre tempo e tratamento não foram significativas ($p > 0,05$ para todas as interações), indicando que a inclinação temporal da abundância não diferiu entre eles. Assim, nenhum tratamento alterou significativamente a dinâmica populacional ao longo do tempo, com o modelo completo apresentando deviance residual de 88,12 ($gl = 55$), comparado à deviance nula de 118,44 ($gl = 76$), com AIC = 449,46 (Figura 7).

Porém ao observarmos a interação coleta com condições ambientais (climatológicas), a correlação de spearman indicou que as variáveis umidade (%) e chuva total (mm) foram determinantes para a coleta. Enquanto o vento (m/s) apresentou forte correlação negativa enquanto a radiação não apresenta correlação com *S. levis*. Assim, o heatmap da correlação de Spearman entre a abundância (n_{total}) e variáveis climáticas, incluindo seus efeitos com defasagem temporal (lags), evidencia padrões importantes na relação entre clima e dinâmica populacional.

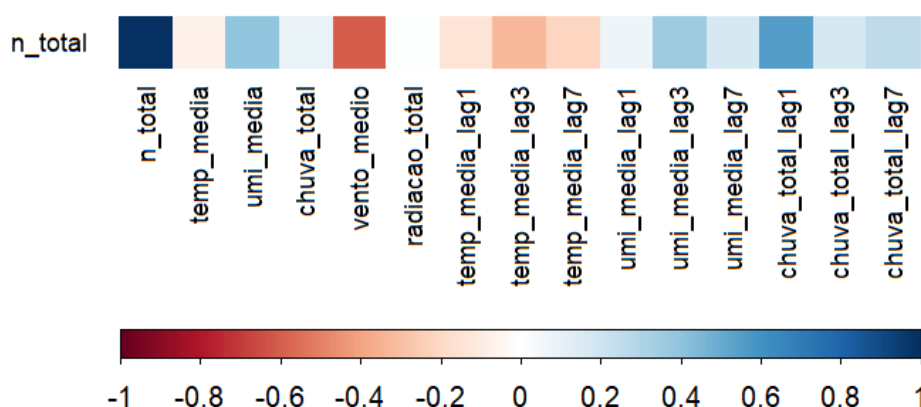


Figura 9. Correlação entre variáveis ambientais e a coleta de *Sphenophorus levis*.

* n_{total} : Número de *S. levis* coletados; temp: Temperatura (°C); umi: Umidade(%); vento: Velocidade do vento (m/s); lag: Análise de defasagem de tempo; lag1: parâmetros climáticos do dia; Lag3: condições climáticas com defasagem de 3 dias; Lag7: condições climáticas com defasagem de 7 dias

De modo geral, observa-se que a umidade relativa apresenta correlação positiva com a abundância, tanto no dia quanto nos lags (1, 3 e 7), indicando que condições mais úmidas favorecem o aumento populacional ao longo do tempo. A precipitação, por sua vez, mostra correlação forte no efeito imediato, mas passa a apresentar associação positiva fraca ao longo de lags de 3 e 7 dias, sugerindo um efeito direto estimulante da chuva. Ao analisarmos essa informação em conjunto com a velocidade do vento que acaba por dispersar a umidade e feromônios parece lógico sua correlação negativa.

Em contraste, a temperatura apresenta correlação fraca no mesmo dia (lag 1), mas tende a se tornar negativa nos lags subsequentes (3 e 7), indicando que temperaturas mais elevadas em dias anteriores podem impactar negativamente a abundância atual, possivelmente devido a estresse térmico. Em conjunto, os resultados demonstram que a abundância não responde apenas às condições climáticas instantâneas, mas é fortemente influenciada por condições ambientais acumuladas ao longo dos dias, destacando a importância da inclusão de variáveis com defasagem em análises ecológicas e modelos preditivos como este.

Limitações e perspectivas futuras

Embora os resultados forneçam dados valiosos, algumas limitações devem ser reconhecidas. A amostragem em diferentes épocas do ano e em diversas condições climáticas poderia enriquecer a compreensão das dinâmicas populacionais do *S. levis*. Além disso, a exploração de diferentes arranjos espaciais e temporais das armadilhas pode revelar informações adicionais sobre a eficácia dos atrativos.

Estudos futuros deverão ser executados para testar outras hipóteses levantadas por este estudo, tais como: (1) Hipótese *Sphenophorus*: a liberação de hormônio de agregação é dependente de condições ou situações ideais? Ao se utilizar adultos fêmeas e machos como iscas era esperado alguma forma de atração de outros indivíduos, não sendo observada no estudo sob nenhuma circunstância (mais ou menos machos, mais ou menos fêmeas); (2) Hipótese da interação ambiental: a eficácia das armadilhas pode ser influenciada por interações complexas entre

variáveis climáticas, como temperatura e umidade (e.g. pressão atmosférica, luminosidade, etc.), que podem afetar o comportamento do *S. levis*.; (3) Hipótese da atratividade das armadilhas: a atratividade das armadilhas pode não depender apenas do tipo de isca, mas também da configuração das armadilhas e da sua localização em relação a fontes de alimento ou abrigo para a praga.

Assim, a falta de possibilidade de uso de outros indivíduos para atratividade, levanta dúvidas sobre métodos como armadilhas de fêmea virgem, ou congregação de machos; estudos futuros poderiam investigar como essas variáveis interagem em diferentes épocas do ano e em diferentes condições de cultivo e manejo; pesquisas adicionais poderiam explorar diferentes arranjos espaciais e temporais das armadilhas para maximizar a captura.

CONCLUSÃO

Sphenophorus levis não apresenta preferência por armadilhas e/ou pelas iscas elaboradas com cana-de-açúcar e seus subprodutos, indicando que possivelmente fatores para além da ecologia química como determinantes para ocorrência, atração e manutenção de populações da praga nos canaviais, com evidências sutis de que a umidade pode ser um desses fatores.

Além disso, a evidência obtida aponta para a importância de considerar a interação entre a umidade e outros fatores climáticos na dinâmica populacional de *S. levis*. A análise de correlação entre variáveis climáticas e a abundância de insetos sugere que a umidade, em conjunto com a precipitação e a temperatura, é um determinante significativo da população. Essa percepção destaca a necessidade de monitoramento contínuo e de estratégias de controle adaptativas que respondam às variações climáticas ao longo do ciclo da cana-de-açúcar.

A ausência de tendência temporal significativa na abundância de *S. levis*, bem como a ausência de efeitos significativos da interação tempo × tratamento, indicam que a população não apresenta resposta clara a intervenções específicas ao longo do tempo. Isso sugere que a gestão integrada da praga deve se concentrar em estratégias que considerem tanto os fatores ambientais quanto as características

biológicas da espécie, buscando otimizar a eficácia do controle em diferentes condições.

Com isso temos que a gestão eficaz da *S. levis* na cultura da cana-de-açúcar requer uma abordagem multifacetada que integre métodos de captura, compreensão das condições ambientais e estratégias de manejo integrado. A pesquisa futura deve se concentrar em explorar ainda mais as interações entre variáveis ambientais e comportamentos de praga, bem como em testar novas abordagens de controle que possam levar a práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes.

REFERÊNCIAS

Bolker, B. M.; Brooks, M. E.; Clark, C. J.; et al. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 24, n. 3, p. 127–135, 2009. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>

Carvalho HFDS, Silva TG, Santos CV, Silva MJD, Leitão MDM, Moura MS (2023) Microclimate and irrigation affect the growth dynamics of sugarcane in a semiarid environment. *Engenharia Agrícola* v. 43, e20230145, 2023. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43n6e20230145/2023>

Casteliani A, Martins L, Cardoso J, Silva M, Silva R, Chacon-Orozco J, Casteliani A, Půža V, Harakava R, Leite L (2020). Behavioral aspects of *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae), damage to sugarcane and its natural infection by *Steinernema carpocapsae* (Nematoda: Rhabditidae). *Crop Protection* 137:105262. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105262>

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira (2025). Cana-de-açúcar. 2025/26. 3º Levantamento. 13(3). 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/2o-levantamento-safra-2025-26-1/e-book_boletim-de-safras-cana_3o-lev-2025.pdf> Acesso em: 09 mar. 2026.

Cursi, D., Hoffmann, H., Barbosa, G., Bressiani, J., Gazaffi, R., Chapola, R., F., A., Balsalobre, T., Diniz, C., Santos, J., & Carneiro, M. (2021). History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. *Sugar Tech*, 24, 112 - 133. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00951-1>

Dias, H., Sentelhas, P. (2018). Sugarcane yield gap analysis in Brazil - A multi-model approach for determining magnitudes and causes. *The Science of the total environment*, 637-638, 1127-1136. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.017>

Dinardo-Miranda, L. L., Fracasso, J. V. (2013). Sugarcane straw and the populations of pests and nematodes. *Scientia Agricola*, 70(5), 305-310. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162013000500012>

El-Sayed, A. M., Heppelthwaite, V. J. Manning, L. M., Gibb, A. R., Suckling, D. M. (2005). Volatile constituents of fermented sugar baits and their attraction to lepidopteran species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 953-958. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf048521j>

Ferreira, P., Ferreira, M. (2023). *Sphenophorus levis* behavior studies: evaluating insect attractiveness or repellency to one insecticide treatment and assessing nocturnal insect activity and location pattern. *Insects* 14(2), 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2057142/v1>

Ferreira, P. H. U., Ferreira, M. C., Vieira, E. (2024). Improving *Sphenophorus levis* adult mortality with solid insecticide applications and increased insecticide dose. *Neotropical Entomology*, 53(6):1293-1308. <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01204-y>

Figuerola-Rodríguez, K., Hernández-Rosas, F., Figuerola-Sandoval, B., Velasco-Velasco, J., & Rivera, N. (2019). What has been the focus of sugarcane research? A bibliometric overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18), 1-15. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183326>

Finelli, C., Pentcheff, N., Zimmer-Faust, R., & Wetthey, D. (1999). Odor transport in turbulent flows: Constraints on animal navigation. *Limnology and Oceanography*, 44. <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.4.1056>

Franchini, G., Soares, J. R. S., Fernandes, O. A. (2026). Straw management in sugarcane affects sugarcane billbug (Coleoptera: Curculionidae) dispersal. *Journal of Economic Entomology*, toag062. <https://doi.org/10.1093/jee/toag062>

Girón-Pérez, K., Nakano, O., Silva, A. C., Oda-Souza, M. (2009). Atração de adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) a fragmentos vegetais em diferentes estados de conservação. *Neotropical Entomology*, 38(6), 842–846. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000600019>

Heinrichs, R., Otto, R., Magalhães, A., Meirelles, G. (2017). Importance of Sugarcane in Brazilian and World Bioeconomy. In: Dabbert, S., Lewandowski, I., Weiss, J., Pyka, A. (eds) Knowledge-driven developments in the bioeconomy. *Economic Complexity and Evolution*. Springer, Cham. p. 205-217. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58374-7_11

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) 2023 e 2024. Brasília, DF: [S.n.], 2026. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 14 de abril de 2026.

Joronen, M., Ghantous, W. (2024). Weathering violence: atmospheric materialities and olfactory durations of 'skunk water' in Palestine. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 7, 1122-1141. <https://doi.org/10.1177/25148486241226923>

Kamran, M., Fardi, A., Li, C., Khalid, M. (2024). How does vortex dynamics help undulating bodies spread odor? *Physics of Fluids* 36, 111916. <https://doi.org/10.1063/5.0235768>

Landolt, P. J., Mitchell, E. R. (1997). Attraction of tobacco budworm moths to palm sugar extracts. *Florida Entomologist*, 80, 402-407.

Leite, L., Tavares, F., Botelho, P., Filho, A., Polanczyk, R., Schmidt, F. (2012). Eficiência de nematoides entomopatogênicos e inseticidas químicos contra *Sphenophorus levis* e *Leucothyreus* sp. em cana-de-açúcar. *Tropical Agricultural Research*, 42, 40-48. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000100006>

Martins, L. F.; Tonelli, M.; Bento, J. M. S.; Bueno, C. J.; Leite, L. G. (2020). Attraction of the sugarcane billbug, *Sphenophorus levis*, to vinasse and its volatile composition. *Chemoecology*, p. 1–10. DOI: 10.1007/s00049-020-00310-8.

Miah, N.A., Miah, R.U., Alam, Z., Hossain, M. (2019). Influence of Weather on Sugarcane Mealybugs and Their Natural Enemies. *Asian Research Journal of Agriculture*, 11(1):1-9. <https://doi.org/10.9734/arja/2019/v11i130045>

Nascimento, V. F., Lacerda, L. B., Peixoto, P. G., Ramalho, D. G., Souza, J. M., Silva, S. C., Matos, G. F.; De Bortoli, S. A. (2024). Confirmation of *Elaphria agrotina* (Guenée, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae) feeding on sugarcane. *Entomological Communications*, 6, ec06017. <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec06017>

Nobel PS, Long SP (1985). Canopy structure and light interception. In: (colocar os autores!!!) *Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. Cidade: Pergamon Press. p.41-49. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-031999-5.50014-5>

Pannuti, L. E. D. R., Baldin, E. L. L., Gava, G. J. D. C., Kölln, O. T. (2015). Efeitos da fertirrigação sobre a ocorrência e danos de *Mahanarva fimbriolata* (stål) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. *Arquivos do Instituto Biológico*, 82(0). <https://doi.org/10.1590/1808-1657000332013>

Patel, S., Shibamoto, T. (2002). Effect of different strains of *Saccharomyces cerevisiae* on production of volatiles in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5649-5653.

Precetti, A.A.C.M.; Arrigoni, E.B. (1990). Aspectos bioecológicos e controle do besouro *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera, Curculionidae) em cana-de-açúcar. *Boletim Técnico Copersucar*. p. 1–15.

Rath, A., Benita, M., Doron, J., Scharf, I., Gottlieb, D. (2021). Social communication activates the circadian gene *Tctimeless* in *Tribolium castaneum*. *Scientific Reports*, 11(16152). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95588-1>

Ramírez, J. R. G., Muñoz, L. A. I., Balagurusamy, N., Ramírez, J. E. F., Hernández, L. A., Campos, J. C. (2023). Microbiology and biochemistry of pesticides biodegradation. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(21), 15969. <https://doi.org/10.3390/ijms242115969>

Rinke, R., Soares-Costa, A., Fonseca, F. P., Almeida, L. C. d., Delalibera Jr., Í., Henrique-Silva, F. (2011). Microbial diversity in the larval gut of field and laboratory populations of the sugarcane weevil *Sphenophorus levis* (coleoptera, curculionidae). *Genetics and Molecular Research*, 10(4), 2679-2691. <https://doi.org/10.4238/2011.november.1.1>

Rosa, J. O., Soares, J. R. S., Fernandes, O. A. (2023). Harvest load transfer sites influence sugarcane billbug (Coleoptera: Curculionidae) spatiotemporal injury in sugarcane. *Pest Management Science*, 80(4), 1771-1778. <https://doi.org/10.1002/ps.7912>

Rossato-Jr J. A. S.; Madaleno, L. L.; Mutton, M. J. R.; Higley, L. G.; Fernandes, O. A. Photosynthesis, yield and raw material quality of sugarcane injured by multiple pests. *PeerJ* 7:e6166, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.6166>

Sanches, S. M.; Silva, C. H. T. P.; Campos, S. X.; Vieira, E. M. (2023). Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 13, 53-58.

Santana, L. F. F. S. Xavier, E. G. (2023). Levantamento da intensidade de infestação de broca (*Diatraea saccharalis*) em diferentes variedades de cana de açúcar. *Científic@ - Multidisciplinary Journal*, 9(2), 1-9. 2023. <https://doi.org/10.37951/2358-260x.2022v9i2.6244>

Schneider, V., Soares-Costa, A., Chakravarthi, M., Ribeiro, C., Chabregas, S., Falco, M., & Henrique-Silva, F. (2017). Transgenic sugarcane overexpressing CaneCPI-1 negatively affects the growth and development of the sugarcane weevil *Sphenophorus levis*. *Plant Cell Reports*, 36, 193 - 201. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2071-2>.

Selegim, A. R. (2020). Estratégias para o controle da broca peluda, *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lepidoptera, Erebidæ), em cana-de-açúcar. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Entomologia Agrícola), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal.

Silva, M. S. O., Cardoso, J. F. M., Ferreira, M. E. P., Baldo, F. B., Silva, R. S. A., Chacón-Orozco, J. G., ...colocar todos os autores ... Leite, L. G. (2021). An assessment of *Steinernema rarum* as a biocontrol agent in sugarcane with focus on *sphenophorus levis*, host-finding ability, compatibility with vinasse and field efficacy. *Agriculture*, 11(6), 500. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060500>

Smaniotto, G. (2019). Compatibilidade com inseticidas químicos e encapsulamento de *Beauveria bassiana* para controle de *Sphenophorus levis*. 89 p. Tese (Doutorado em Agronomia-Entomologia Agrícola), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal.

Solomon, S., Rao, G., Li, Y., Vanichsiratana, W., Manimeklai, R., Singh, P., Duong, C. (2024). Silver jubilee special issue: sustainability through diversification in the sugar industry. Sugar Tech, 26, 921-925. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01469-y>

Stahl, G. C., Campos, R. P., Mota, E. P. (2023). Viabilidade econômica e técnica de piloto automático versus colheita tradicional na cana-de-açúcar. Delos: Desarrollo Local Sostenible, 16(48), 3092-3103. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n48-008>

Xavier, G. G., Farias, E. S., Carmo, D. D. G., Guedes, A. G., Samuels, R. I., Freitas, D. R., Pereira, E. J. G.; Lima, E.; Picanço, M. C. (2024). Determining factors and economic injury levels for *Sphenophorus levis* for chemical and biological control in irrigated and non-irrigated sugarcane crops. Neotropical Entomology, 53(4), 955-963. <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01175-0>

Xu, Z., Zhao, B., Wang, Y., Xiao, J., Wang, X. (2019). Composting process and odor emission varied in windrow and trough composting system under different air humidity conditions. Bioresource technology, 297, 122482. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122482>

Yeo, U., Decano-Valentin, C., Ha, T., Lee, I., Kim, R., Lee, S., Kim, J. (2020). Impact analysis of environmental conditions on odour dispersion emitted from pig house with complex terrain using CFD. Agronomy, 10(11), 1-27. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111828>

Zarbin, P. H. G., Arrigoni, E. B., Reckziegel, A., Moreira, J. A., Baraldi, P. T., Vieira, P. C. (2003). Identification of male-specific chiral compound from the sugarcane weevil *Sphenophorus levis*. Journal of Chemical Ecology, 29(2), 377-386. <https://doi.org/10.1023/a:1022634012212>

Agradecimentos

À Usina Parceira (USM) pela permissão para a instalação das armadilhas e aos funcionários da empresa pela assistência.

Fontes de Financiamento

Este trabalho é uma contribuição associada aos projetos Centro de Pesquisa em Engenharia – Fitossanidade em Cana-de-Açúcar – CEPENFITO (FAPESP 2017/25258-1). Os autores também agradecem Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de doutorado (Código de Financiamento 001).

Contribuição Autoral

P.G.P. e S.A.D.B. orientaram a pesquisa e redigiram o manuscrito; V.F.N. e L.B.L. contribuíram para a escrita; D.G.R., J.M.S. e E.R.N. organizaram o experimento de

campo; V.F.N., F.L.S., G.F.M. e L.B.L. elaboraram as tabelas; D.G.R., E.R.N. e G.F.M. realizaram a coleta de dados; P.G.P., E.R.N., D.G.R., J.M.S., D.L.R. e S.A.D.B. revisaram e corrigiram o manuscrito; Todos os autores participaram da revisão e aprovaram a versão final.

Declaração de Conflito de Interesse

Os autores declaram que não há conflito de interesse.

Disponibilidade dos dados:

Devido a acordos de confidencialidade, a localização exata da área de estudo não pode ser divulgada. No entanto, os autores podem analisar solicitações de informações e disponibilização de dados mediante solicitação razoável. todas as análises foram realizadas seguindo os mesmos procedimentos metodológicos descritos neste estudo.

Declaração sobre IA

Os autores utilizaram IA para tradução e correção gramatical, a fim de aumentar a eficiência e a acessibilidade na comunicação multilíngue.

CAPÍTULO 3. ASSINATURAS ESPECTRAIS DOS ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DE *Sphenophorus levis* (VAURIE, 1978) (COL.: CURCULIONIDAE) EM UMA DIETA NATURAL³

Article

SPECTRAL SIGNATURES OF THE DEVELOPMENTAL STAGES OF *Sphenophorus levis* (VAURIE, 1978) (COL.: CURCULIONIDAE) ON A NATURAL DIET

Pedro Gomes Peixoto ^{1,2*}, David Luciano Rosalen ², Souradji Idrissou Bachirou ^{2*}, Sergio Antonio De Bortoli ¹

¹ Department of Crop Protection, School of Agricultural and Veterinary Sciences, São Paulo State University (UNESP), Via de Acesso Professor Paulo Donato Castelane Castellane S/N-Vila Industrial, Jaboticabal 14884-900, São Paulo, Brazil. pedro.peixoto@unesp.br ; sergio.bortoli@unesp.br

² Department of Crop Protection, School of Agricultural and Veterinary Sciences, São Paulo State University (UNESP), Via de Acesso Professor Paulo Donato Castelane Castellane S/N-Vila Industrial, Jaboticabal 14884-900, São Paulo, Brazil. ib.souradji@unesp.br ; david.rosalen@unesp.br

* Correspondence: pedro.peixoto@unesp.br (PGP)

Simple Summary

This study investigated the spectral signatures of different developmental stages of *Sphenophorus levis*, a pest of great importance in sugarcane. The reflectance of eggs, larvae, pupae, and adults was analyzed using hyperspectral remote sensing (HRS) techniques. The results showed distinct spectral patterns that allowed for the non-destructive identification of each stage. The eggs exhibited high variability in reflectance related to changes in their composition, whereas the larvae showed a decreasing reflectance pattern with age. It was also possible to differentiate between male and female adults based on reflectance, with females displaying higher reflectance. These

Academic Editor: Lina Yuan

Received: 27 November 2025

Revised: 09 March 2026

Accepted: in progress

Published: date

Citation: To be added by editorial staff during production.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

³ Este capítulo corresponde ao artigo científico publicado na revista **Insects** (MPDI) 17(5), 465, 2026. <https://doi.org/10.3390/insects17050465>

findings may be valuable for integrated pest management, providing a foundation for the effective monitoring and management of *S. levis* and contributing to the ecological and biological understanding of this pest. This study highlights the importance of integrating advanced technologies with insect biology to improve management strategies.

Abstract

This study investigated the spectral profiles of different developmental stages of *Sphenophorus levis*, possibly the most important sugarcane pest in the Southeast, Midwest, and South regions of Brazil, given its economic relevance, distribution, and management challenges in sugarcane plantations. Hyperspectral remote sensing (HRS) techniques were employed. Spectral signatures were obtained for eggs, larvae, pupae, and adults using a Pika-L sensor (range, 400–1000 nm). This made it possible to identify distinct spectral patterns for each developmental stage, allowing for the differentiation between eggs, larvae, pupae, and adults. The results indicate the presence of such distinct spectral patterns, which may suggest the potential of hyperspectral imaging for the non-destructive identification of each stage of *S. levis*, although further investigations are needed to validate this approach. The eggs showed high variability in reflectance, possibly related to compositional changes during embryonic development. The larval instars exhibited a decrease in reflectance with age, likely due to cuticular changes. The evaluated pupae presented spectral differences that coincidentally enabled early sex determination, while adult males and females can also be distinguished based on their reflectance profiles, with females typically showing higher overall reflectance. This spectral library provides a foundation for the determination and sexing of instars, as well as the assessment of quality patterns in this important sugarcane pest. This study highlights the integration of advanced hyperspectral imaging technologies with insect biology to enhance integrated pest management strategies and sheds light on the biological and ecological aspects of the species.

Keywords: spectral library; insect biology; sugarcane weevil; light ecology; spectroradiometry; plant health, integrated pest management, sugarcane weevil, hyperspectral imaging, sexing

1. Introduction

Brazil is the world leader in sugarcane production [1] (*Saccharum* spp. Magnoliopsida: Poaceae [2]). This leadership is maintained even though production indicators point to a decrease, with production expected to reach 678.67 million tons (2024/25 harvest), a reduction of 4.8% compared to the previous harvest. Adverse climatic effects, such as low rainfall and high temperatures, have been identified as the main factors behind the drop in productivity for the period [1], along with an intensification of pest insect attacks.

Sugarcane is subjected to consistent and permanent pest attacks, suffering multiple infestations in all parts of the plant and at every stage of growth and development [3]. A myriad of insect pests can be found in sugarcane fields, the main ones being *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lep.: Crambidae), *Mahanarva* spp. (Stål, 1854) (Hemi.: Cercopidae) and *Migdolus fryanus* (Westwood, 1893) (Col.: Vesperidae) [3]. However, pests of secondary importance have been drawing increasing attention, particularly soil-dwelling pests such as *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lep.; Erebidae) [4] and *Sphenophorus levis* (Vaurie, 1893) (Col.: Curculionidae) [5].

S. levis had already been reported as a sugarcane pest since 1977 [5], with consistent attacks on the root structure of sugarcane, called the rhizome, and sometimes even reaching the first basal internode [5,6]. These damages lead to massive productivity losses (~30%) in infested cane fields [5-7], as well as high tiller mortality rates (~60%) and reductions in plantation longevity [6]. The values obtained for the economic damage threshold (EDT) indicated that EDTs were 5.93% and 4.85% for rainfed and irrigated crops, respectively, under chemical control, whereas for biological control, the values were 4.15% and 3.40% [7], respectively, using the “toco-atacado” methodology⁴ [8]. Thus, this pest, previously considered secondary, has been

⁴ The “stump-to-furrow sampling method” refers to the brazilian field technique known as “toco-atacado”, in which the soil is excavated from the sugarcane stump (toco) toward the furrow (atacado) to inspect the root zone for soil-dwelling pests. The results obtained with this method are typically expressed as the percentage of infestation

drawing attention and demanding efforts from producers and researchers to deepen their understanding and develop management techniques.

Adults exhibit peaks of activity during the night and generally remain below ground level, under straw, or between the shoots at the base of sugarcane clumps (rhizomes) [6,9]. With gregarious habits, males emit compounds that attract females and other males [10,11]. Additionally, they are long-lived organisms with a lifespan of up to 200 days [12], which allows them to initiate the colonization of host plants. After mating, females lay eggs at the base of the rhizome, inside the rhizome tissues [12]. Females have a high biotic potential (~70 eggs/female); the eggs develop within 7–12 days after being laid, and approximately 50 days later, the larvae begin the pupation process, which lasts approximately 12 days, protected inside the rhizome from which the adults emerge [12]. The total cycle is 250 days under ideal conditions.

It can be said with certainty that there is a lack of data and basic biological information (little scientific literature) that would allow for an understanding of the biology and ecology of *S. levis*. Given its significant importance as a pest in sugarcane fields and its economic risks, understanding its bioecological aspects is essential to support control strategies. Insect rearing is a pillar of Integrated Pest Management, responsible for providing biological data that can inform decision-making in the field. Consequently, studies aimed at developing spectral profiles using remote sensing (RS) have gained prominence.

This technique involves the application of sensors and understanding of luminous properties, especially transmittance, absorbance, and reflectance. Light is an essential electromagnetic radiation that displays different properties in a spectrum. The electromagnetic spectrum covers various ranges, including ultraviolet (UV), visible light, and infrared (IR) radiation. The visible spectrum, approximately 400–700 nanometers (nm), represents only a narrow segment of this range, where human vision is optimized [13]. Within the spectrum, violet is ~380–450 nm, blue is ~450–495 nm, green is ~495–570 nm, yellow is ~570–590 nm, orange is ~590–620 nm, and red is ~620–750 nm, with values above 750 nm and below 380 nm being invisible to the human eye [14]. The use of sensors expands human vision and enables the identification of patterns that are not detectable by human sight, given that the visible electromagnetic spectrum is limited [14,15].

However, this limitation restricts our ability to perceive beyond this range, leading to limitations whose implications are especially notable in areas such as agriculture, where the inability to detect information outside the visible spectrum can result in inaccurate human assessments [13-15]. Thus, the use of equipment for RS on a large scale can provide a comprehensive view of the distribution and intensity of infestations throughout the cultivated area, assisting in the strategic planning of Integrated Pest Management (IPM) [14]. It can also be applied in the context of insect biology studies [16-18], which may aid in pest control by enabling the precise identification, monitoring, and differentiation of life stages [19] and may be used as indicators of genetic changes in populations and egg infestations [20].

The applications of these techniques in agriculture primarily target the early detection of stresses (biotic and/or abiotic) [14]. This knowledge, combined with the principles of IPM, enables faster and more effective interventions and supports studies on the biology of pests and beneficial insects, an important pillar of IPM [14]. Spectral analysis can reveal subtle changes in the surface reflectance. The analysis of spectral signatures obtained by RS is a valuable tool. Therefore, by integrating biological data with spectral analyses, it is possible to optimize mass production, allowing for sexing, determination of quality standards, and identification of specific developmental stages.

This study aimed to investigate the spectral signatures of *S. levis* at different developmental stages. This proposal also seeks to explore the practical applications of this library, such as laboratory rearing, determination of biological parameters (specific to each instar), and sexing of individuals using the hyperspectral remote sensing (HRS) technique.

2. Materials and Methods

2.1. Área Experimental

A commercial sugarcane cultivation area is located in a region with a climate classified as AW by the Köppen system [21] in the central part of the State of São Paulo, Brazil. In this area, we conducted periodic (monthly) collections to obtain healthy individuals under suitable conditions for experimentation. Collection is a harmful and stressful practice for *S. levis*, resulting in initial mortality that renders a large proportion of the collected organisms unsuitable for analysis.

2.2. Species confirmation

Some individuals (adults) were taken to the laboratory, euthanized (hypothermia), mounted, and sent to a specialist for species identification and were cataloged at the National Institute of Coleoptera (INCol), under the responsibility of Prof. Dr. Fernando Z. Vaz-de-Mello.

2.3. Acclimatization and maintenance in the laboratory

The insects collected using bait cane (sugarcane billets cut lengthwise about 30 cm and placed on the ground, covered with sugarcane straw) were taken to the Laboratory of Insect Biology and Rearing (LBCI), where a 3% (v/v) copper sulfate solution was applied to remove possible contaminants. In particular, *Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin, an entomopathogenic fungus, is the main bioproduct used for insect control in productive areas worldwide [22].

The test subjects were kept at a temperature of $27 \pm 2^\circ\text{C}$, relative humidity of $80 \pm 3\%$, and a 12-hour photoperiod [12]. Sexed pairs collected and sanitized from field collections were placed in 500 mL plastic pots containing smaller pieces of cane billets (± 10 cm), cut lengthwise (considered a natural diet) (Table 1). Each pair was separated into individual containers to ensure proper observation and management. The eggs obtained from oviposition on the food substrate were sanitized and monitored throughout the incubation period.

Table 1. Chemical composition of the natural diet of *Sphenophorus levis* based on the literature [23].

Dieta natural [23]	(% Dry Matter)
Dry Matter	27,87
Moisture content	72,13
Crude Protein	2,32
Acid Detergent Insoluble Protein	2,38
Neutral Detergent Insoluble Fiber Corrected for Ash and Protein	47,68
Insoluble Fiber in Acid Detergent	44,78
Ether Extract	1,41
Total Carbohydrates	94,27
Neutral Detergent Soluble Carbohydrates	43,58
Mineral Matter	2,00

Containers intended for maintaining organisms in the laboratory were evaluated daily to ensure the ability to sustain the population under the described conditions. For experimental purposes, the animals were kept at room temperature and subsequently subjected

to analysis. Since this is a non-lethal assessment method, the animals were returned to their original containers and marked in case it was necessary to reassess that individual.

2.4. Spectral analysis

In total, larvae (three replicates), eggs (four replicates), pupae (four replicates), males (four replicates), and females (four replicates) were analyzed. The hyperspectral sensor Pika-L (Resonon Inc., Bozeman, MT, USA) [24] was used; this sensor has a spectral resolution of 2.1 nm, a spectral range of 400 to 1000 nm, and records approximately 281 spectral bands [24]. The data were processed to form a database using Spectronpro® software [24].

The sensor was securely mounted on a specific aluminum support designed exclusively for the Proximal SR benchtop and positioned 30 cm from the target. This support is sold as part of a complete system to ensure optimal alignment and functionality. Before the start of each evaluation session and during the procedure, calibration was performed using a radiometric calibration plate with a 99.9% reflectance reference for the 'white' calibration and was covered with a cap to obtain the 'black' reference (0% reflectance). The spectral profiles of all insects were obtained on black cardboard under the incidence of continuous spectrum light (tungsten halogen lamp).

Three individuals from each developmental stage, including three males and three females, were analyzed. From this, all developmental stages of *S. levis* (larva, pupa, adult, and egg) were evaluated, and their respective spectral signatures were determined from the images obtained (Figure 1).

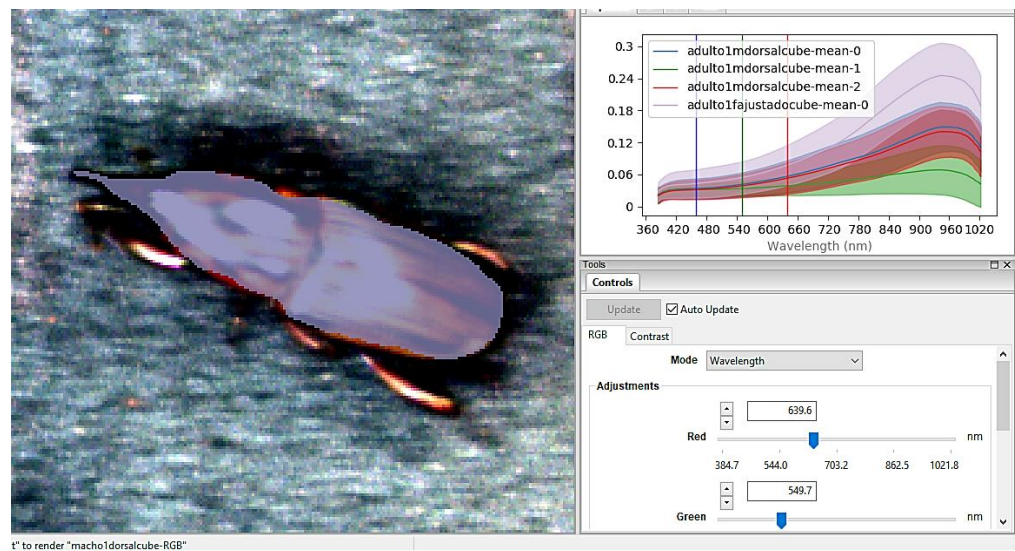


Figure 1. Acquisition of spectral data by the sensor and subsequent processing by the Spectronpro® software [24], in the image of an adult *S. levis* (male).

For this study, the evaluated data were total, without the application of filters or pre- and post-processing smoothing methods for the spectral profiles. Generally, such methods are applied to highlight bands or continuous ranges that may be relevant, which is not the case in this study.

2.5. Statistical analysis

Spectral data generate a large set of information, where each measured wavelength is considered a variable to be analyzed. This makes it difficult to group samples into different classes, especially when visual criteria are used, which tend to be less accurate [25]. Additionally, there is high redundancy of information, as reflectance values at neighboring wavelengths are often strongly correlated [26]. Therefore, multivariate analyses were necessary to reduce data complexity and identify relevant spectral patterns [27]. However, it is important to acknowledge that the present dataset includes a limited number of *Sphenophorus levis* individuals, which represents an important limitation of the study. Future investigations should increase the number of sampled individuals to further strengthen spectral classification analyses. The data processing and analysis of the data matrix with wavelengths in the range of 400 to 1000 nm was performed using Python, employing libraries such as Pandas, Matplotlib, and Seaborn for graphical visualization. Initially, the data were imported and organized into a Pandas DataFrame, which facilitated data manipulation and preprocessing. After importation, a portion of the data was discarded owing to the presence of noise, which is often observed at the edges of the spectral range. This step is important for ensuring the accuracy of the analyses. Using the cleaned data, specific spectral signatures were generated for each stage of the insect.

The reduced number of samples in our study can be attributed to the inherent complexity of hyperspectral datasets, which generate massive volumes of information. Each measured wavelength is treated as a variable to be analyzed, resulting in a high-dimensional space that makes it difficult to classify samples into different categories, especially when visual criteria are used, which can be less accurate than other methods.

Furthermore, the high redundancy of information in hyperspectral data, where reflectance at similar wavelengths is highly correlated, makes it challenging to implement analyses based on multiple repetitions of the same experiment. This situation makes it unfeasible to collect a high number of replicates, as an excess of data could compromise the efficiency of the analysis and lead to incorrect interpretation.

Consequently, we prioritized multivariate analyses to reduce data complexity and optimize the extraction of relevant information, which also required a controlled number of samples. We acknowledge that the small sample size may impact the statistical robustness of the results, and we suggest that future research consider strategies to increase the number of replicates and diversify the samples to enhance the conclusions regarding the spectral characterization of the organisms. To visualize these signatures, line graphs were created using Matplotlib, allowing for a clear comparison between the different stages. In addition, heatmaps were developed using the Seaborn library, providing a visual representation of spectral patterns and the variation in intensity across wavelengths.

In this way, an analysis of the spectral data of the insect *S. levis* was carried out using a visualization technique that combined a heatmap and a dendrogram using the Ward method [28]. This methodological choice is strategic because it provides a clear and intuitive way to explore large volumes of data and identify significant patterns. The Ward method is fundamental to this process, as it seeks to minimize the variance within each group when forming clusters [28]. This allows samples that share similar characteristics to be grouped together, aiding in the identification of developmental stages and the possible sexing of the samples, which are the central objectives of this study. Furthermore, this approach helps reduce the dimensionality of the data, which is essential in spectral analyses that often deal with large amounts of information. By eliminating redundancies, the heatmap and dendrogram make data interpretation more efficient and accessible.

The heatmap enables a graphical visualization of the relationships between different variables or samples, where color intensities represent similarities or dissimilarities. This makes reading the data easier, allowing researchers to quickly identify clusters and patterns without the need for complex statistical analysis. Thus, combining the heatmap with the Ward method not only optimizes the visualization of spectral data but also serves as a tool to achieve the study's

objectives: the creation of a spectral library dedicated to the life stages of *S. levis* and the analysis of their characteristics. This approach allows for a richer and more productive exploration of data, thereby facilitating the identification of relevant patterns.

3. Results

The spectral curve obtained for the eggs suggests that they (Figure 2) have a relatively high reflectance pattern in the visible (400–700 nm) and near-infrared (700–1000 nm) regions, which may be related to their chemical composition and surface structure.

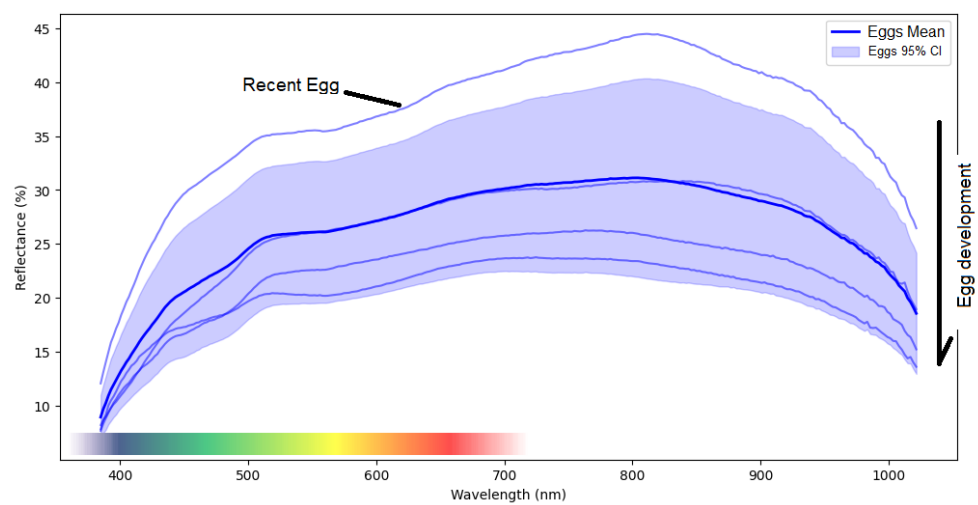


Figure 2. Mean spectral signature (solid dark blue line) and 95% confidence interval (shaded area) of *Sphenophorus levis* egg reflectance across the spectral range from 400 to 1000 nm. Lighter blue curves represent mean spectral profiles of eggs at different developmental times within the egg stage, illustrating the gradual spectral variation during egg development (indicated by the arrow). The colored band at the bottom represents the portion of the spectrum visible to the human eye.

The most recent eggs (1-2 days after being laid) show higher reflectance, which can be attributed to their fresher structure and the presence of internal fluids that have not yet degraded. This higher reflectance allows for better spectral distinction, making detection by imaging or spectroscopy methods easier. On the other hand, older eggs, more than 2 days after being laid, tend to become darker and more opaque as the inner membrane begins to dry out and the internal composition changes. This transition in reflectance can directly influence spectral detection and is correlated with the stages of egg maturation, contributing to the variation observed in confidence

intervals (CI). This suggests that egg age should be considered when interpreting spectral data and when assessing the health and viability of developing embryos.

In contrast, the larvae showed a less dispersed pattern, with larvae at more advanced instar stages, indicating a decrease in reflectance throughout their development and a CI profile with less variation in the spectrum from 380 nm to 450 nm (Figure 3).

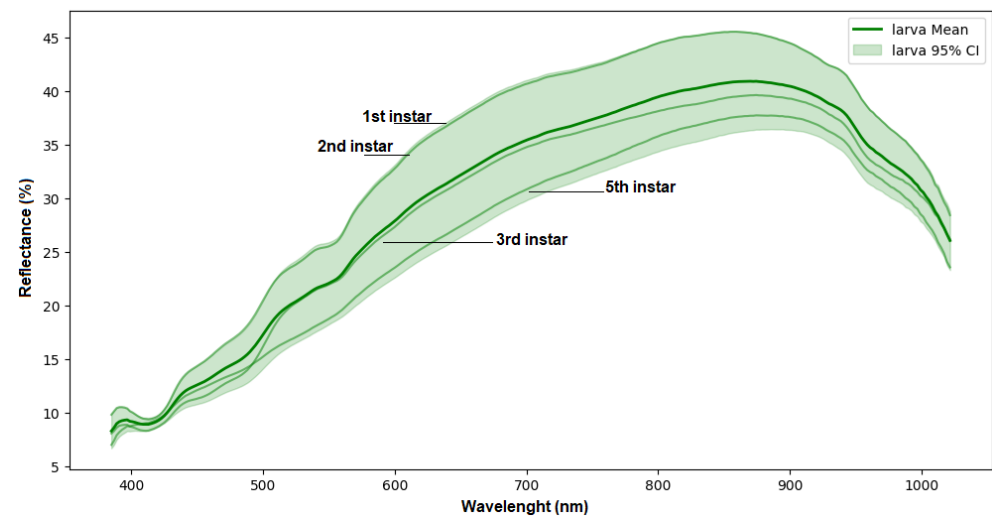


Figure 3. Mean Spectral Profile and Confidence Interval (CI) (95%) of the reflectance of *S. levis* larvae across the spectrum from 400 to 1000 nm. * Colored bar indicates the spectrum that is visible to the human eye.

When the larvae were observed, the heterogeneous behavior persisted in the spectrum > 450 nm up to 1021 nm when compared to younger instars (“more reflective”), probably associated with physiological and nutritional changes, such as an increase in lipid deposition in the tissues in preparation for pupation.

Three days after their formation, the pupae presented a profile to that of males and females after the end of the pupal stage. Interestingly, the emerging adults could still be identified at this stage (Figure 4).

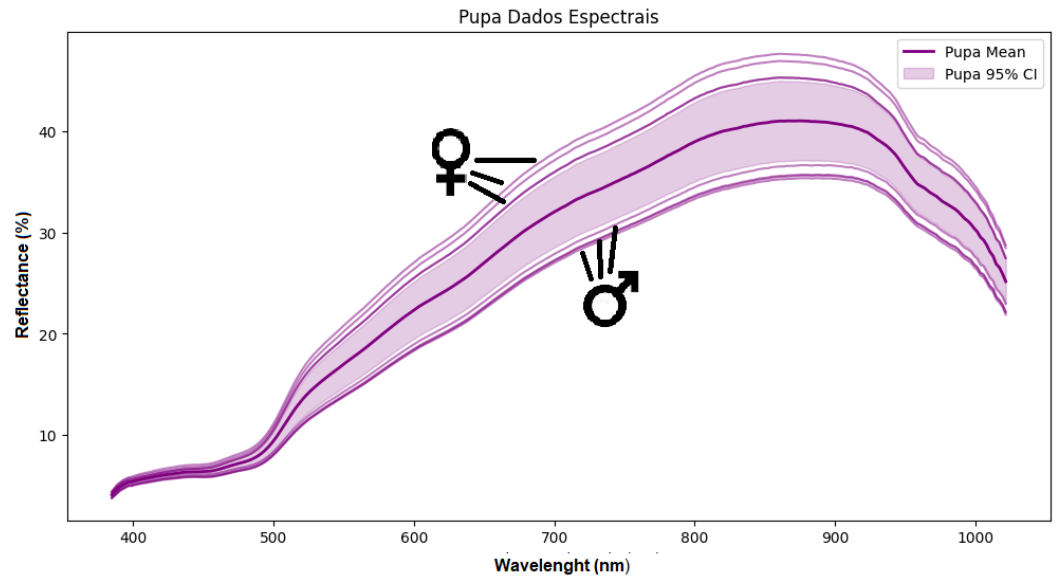


Figure 4. Mean spectral reflectance (solid lines) and 95% confidence intervals (shaded areas) of *Sphenophorus levis* pupae across the spectral range from 400 to 1000 nm. Separate mean spectral profiles are shown for female (♀) and male (♂) pupae to illustrate sex-related variation within the pupal stage. The colored band at the bottom represents the portion of the spectrum visible to the human eye.

In addition, it was possible to compare males and females, with the differentiation between males and females occurring primarily through their reflectance (%); that is, females have a more reflective body surface than males (Figure 5).

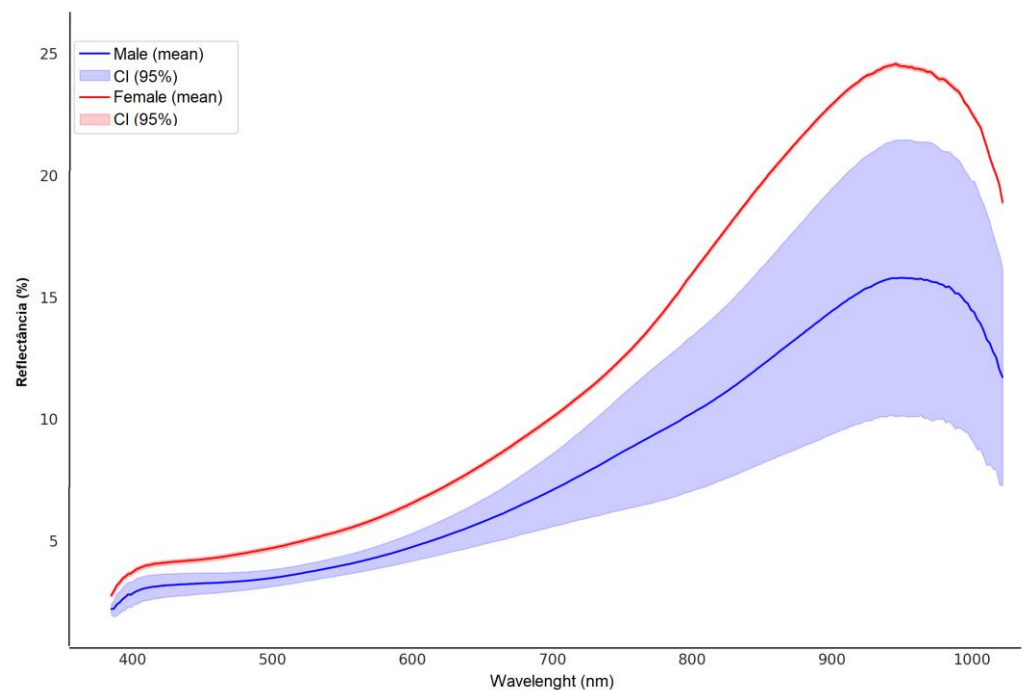


Figure 5. Mean Spectral Signature and 95% Confidence Interval of the reflectance of adult *S. levis* (males and females) eggs across the spectrum from 400 to 1000 nm. *Colored bar indicates the spectrum that is visible to the human eye.

Graphically, males had a greater spread in the data, with a high variation in the CI, whereas females displayed a more homogeneous pattern. Checking the distance between the mean and CI for both groups allowed us to assume a statistical difference. This was confirmed through the analysis of variance of the mean (ANOVA), which indicated robust differences between the evaluated groups (Table 2).

Table 2. Total mean reflectance and standard deviation of the different developmental stages of *S. levis*.

Development stage	Mean Reflectance and Standard Deviation (%)				
Adult Male	8,10 ± 0,13 e				
Adult Female	12,18 ± 0,21 d				
Pupae	22,63 ± 0,27 c				
Egg	27,32 ± 0,25 b				
Larva	31,56 ± 0,37 a				
Effects	SS	dr	MS	F	p
Intercept	3310210	1	3310210	34077,31	0,00
Development stage	521235	5	104247	1073,18	0,00
Error	698813	7194	97		

Different letters in the same column indicate statistically significant differences according to Tukey's test (p-value < 0.05)

ANOVA revealed a significant effect of developmental stage on reflectance ($F_{5,7194} = 1073.18$; $p < 0.0001$). The Tukey HSD test indicated significant differences between all stages ($p < 0.05$), with means ranging from 8.1% (adult males) to 31.6% (larvae). These results indicate that the optical spectrum clearly allows discrimination between the ontogenetic stages analyzed.

Furthermore, to reduce data dimensionality and identify clustering patterns among the different developmental stages, PCA was performed, allowing for graphical visualization (Figure 6).

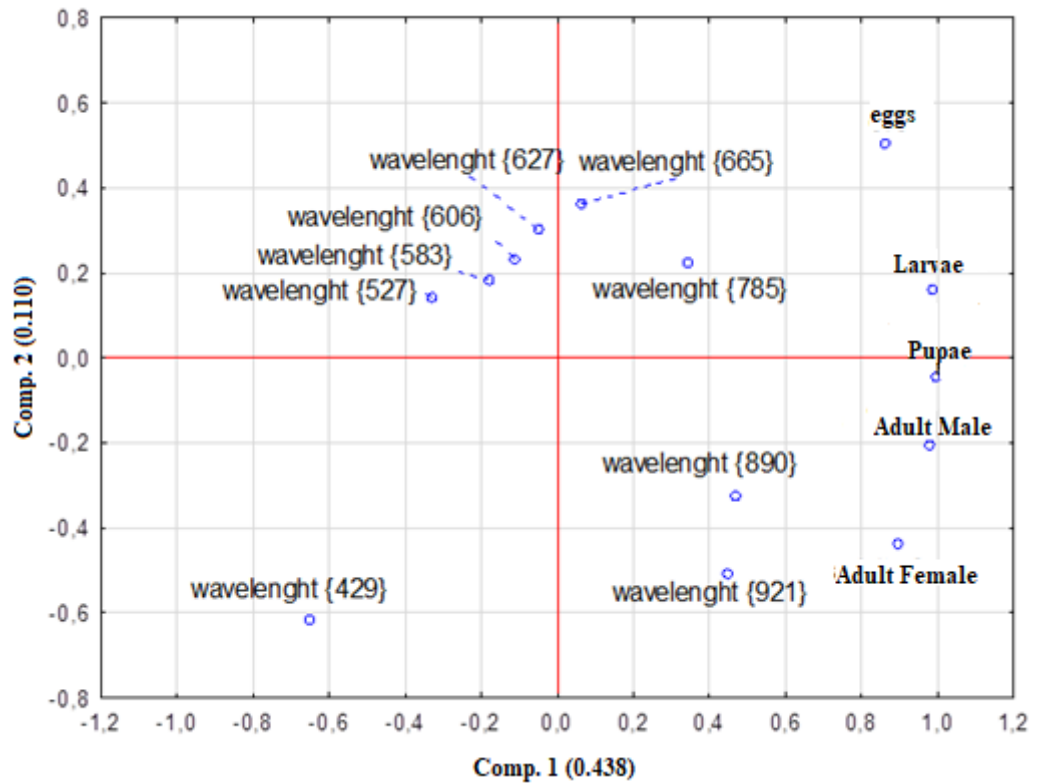


Figure 6. Principal Component Analysis (PCA).

The PCA showed an explained variance for the first components (Comp.) 1 = 0.438% and Comp. 2 = 0.110%, considering biological data and that dimensionality reduction can lead to an increase in variance [29]; thus, the data can be considered robust [29]. The eigenvalues (eigenvectors) of the two components were greater than 1 and were retained according to Kaiser's criterion [30], which states that an eigenvalue of 1 indicates that the component retains as much information as a single original variable.

Overall, there was a grouping of all insect life stages, with wavelengths displaying opposition to the insect life stages, probably indicating this. The PCA results indicated a grouping of males and females, with some proximity between two wavelengths (890 and 921 nm) in the near-infrared region; these wavelengths are likely important determinants of this insect life stage. The lower left region (429 nm) was isolated and may represent a wavelength with low variability in the spectra, possibly a specific characteristic point for all insect life stages.

To assist with the overall visualization of the data, we conducted a hierarchical clustering analysis, the result of which was a dendrogram that positioned the insect life stages according to their reflectance indices (Figure 7).

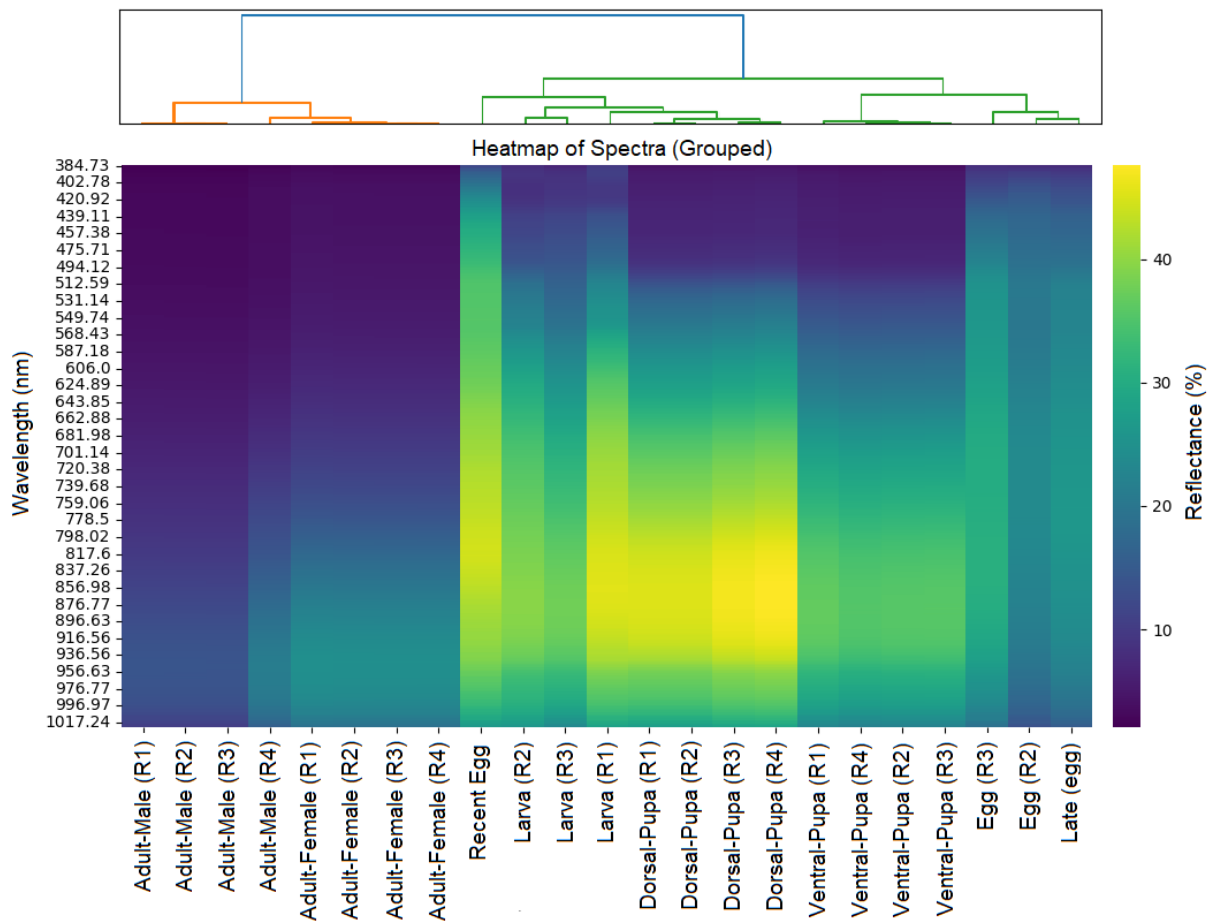


Figure 7. Heatmap of grouped spectra. Accompanied by a dendrogram (above) showing the clustering of different stages and developmental phases of *S. levis*. Variation. The vertical axis represents the wavelength (nm), with a color scale indicating the reflectance (%).

The distribution of data was determined using hierarchical clustering analysis, where darker tones represent lower reflectance and lighter tones indicate higher reflectance. This suggests that larvae and pupae exhibit regions of high reflectance (yellow and green tones) at certain wavelengths, indicating structural or pigmentary differences in these more reflective stages at various wavelengths. Adults, both males and females, showed relatively uniform spectra with lower reflectance in specific spectral ranges. In fact, eggs appear to display patterns distinct from the other stages, possibly because of the structure of the shell and the chemical composition of the surface.

4. Discussion

The analysis of spectral data combined with an understanding of the biological cycle of *S. levis* suggests the critical importance of an integrated approach to pest management. Using the obtained data, we identified important information about the spectral signature of the

different life stages of the insect. This highlights the need to integrate technologies, such as remote sensing, with biological knowledge of insects, thus opening new possibilities for biological studies, monitoring, and control of *S. levis*. Furthermore, this multidisciplinary approach not only supports the pillars of IPM but can also serve as a model for studying other important agricultural pests [14].

During insect development, the nutritional content of the eggs undergoes significant changes, reflecting the increasing nutritional demands of the developing embryo [31]. Insect eggs are primarily composed of proteins and lipids [31], with smaller amounts of carbohydrates, which are essential for providing resources for the development of the early stages. As the embryo develops, the stored nutrients are mobilized, and the proportion of lipids tends to decrease, whereas the consumption of proteins may increase, promoting growth and the formation of increasingly complex tissues, adapting to the specific needs of the different larval stages that follow hatching [32]. This pattern, generally observed in insects, highlights the complexity of stage transitions and the importance of an adequate nutritional composition from the egg stage to adulthood, thus ensuring the successful development and survival of populations [32].

For wavelengths relevant to eggs, a low reflectance zone was detected between 400 and 500 nm. This range coincides with the spectral behavior of antioxidant molecules and those related to protection against ultraviolet (UV) radiation [32,33] through the neutralization of reactive oxygen species (ROS) [33]. Carotenoids are common compounds in insect eggs [33] that possess high antioxidant power [33], and their presence may indicate a defense system against the host plant's defenses [34]. When the egg is laid, in addition to the mechanical damage caused by the ovipositor, interactions mediated by metabolites from both the plants and insects begin [34]. The egg is exposed to an environment where the plant may activate localized defenses, for example, by increasing the production and release of reactive oxygen species (ROS) or phenolic compounds [34]. In this context, carotenoids help maintain the integrity of the embryo until hatching by neutralizing these free radicals.

However, in addition to nutritional changes, protecting embryos from environmental stresses, such as ultraviolet radiation and reactive oxygen species (ROS), is also important. For the wavelengths relevant to eggs, a zone of low reflectance was detected between 400 and 500 nm, coinciding with the spectral behavior of the antioxidant molecules [32,33]. Carotenoids, compounds that are very common in insect eggs,

have high antioxidant power, and their presence may indicate a defense system against the host plant's defenses [33,34]. When the egg is laid, in addition to the mechanical damage caused by the ovipositor, interactions mediated by metabolites from both the plants and insects begin [34]. The egg is exposed to an environment in which the plant can activate localized defenses, increasing the production and release of ROS or phenolic compounds [34]. In this context, carotenoids play a fundamental role in maintaining the integrity of the embryo until hatching by neutralizing free radicals.

When we observe the data in the spectral region within the near-infrared range (NIR: 700–1000 nm), the reflectance may be associated with low absorption and/or water content [35]. At this wavelength, it is possible for wavelengths in these bands to penetrate and provide information. This suggests that this developmental stage may be less dependent on external moisture for survival. However, when the environment is made less humid, mortality is observed in the egg stage, indicating that external moisture is important for egg viability (observational data). While eggs may possess mechanisms to endure low-humidity environments, excessive moisture can hinder gas exchange within the egg. This disruption ultimately poses a risk to embryonic development. Severe dehydration may compromise the integrity of the eggs and affect the viability of the developing embryos, highlighting the delicate balance required for optimal conditions.

For *Protophormia terraenovae* (Dip.: Caliphoridae), the authors conducted daily spectral measurements on different body sections of the pupae (anterior, middle, and posterior) [36]. The measurements showed that the posterior region provided the best distinction between the days of development, possibly associated with the dynamics of the posterior spiracles and the deposition of hydrocarbons on the cuticle. This suggests that significant chemical and physical changes are occurring in this region, associated with puparium formation and water loss [36,37], which have been occurring since the larval stage and are detectable in the final instars of the species [37].

In addition, there is empirical evidence that throughout the development of pupae, their spectral behavior resembles that of future adults, with observations of pupae showing both high and low reflectance. By evaluating these graphical differences, it is possible to a certain extent to determine the sex of males and females still in the pupal stage. As the pupae were evaluated at the same moment (3-day-old pupae), the differences were attributed to the metamorphosis

process and the deposition of compounds for the development of future adults [36].

Regarding the larvae, variations in the spectra were detected for different instars, which can be attributed to increased cuticle deposition, pigmentation such as melanin, and the sclerotization of chitinous tissues. Early instar larvae (1st–2nd) tend to have thinner and less pigmented cuticles, which may result in lower reflectance in certain bands of the visible and/or near-infrared spectra. As they progress to later instars (3rd–5th), the cuticle may become thicker and more pigmented (for example, with melanin or other pigments) [38]. This is reflected in the change in the reflectance pattern observed in the curves [36].

Adults showed graphical variations in the evaluated spectral signatures, allowing for the sexing of males and females, including at the pupal stage. Additionally, it can be stated that females exhibit low variability in the spectral signature that reflects their body surface, whereas males show a wide variation in the data cloud. Although the PCA analysis and the dendrogram with the heat map indicated a very close clustering between males and females, the spectra allowed for an efficient graphical distinction between the two groups.

The PCA analysis and heatmap associated with the dendrogram indicate a grouping of pupae and larvae (upper right quadrant), suggesting that they share similar optical properties, possibly associated with a less sclerotized cuticle, associated with spectral bands between 600 and 785 nm. In contrast, adults have distinct spectra, indicating changes in the cuticle structure and chemical composition of the surface. The data for adults seem more correlated to spectral bands in the near-infrared range (>890 nm), which may be associated with changes in cuticle density and structure.

The insect cuticle is a complex structure composed mainly of chitin, structural proteins, lipids, and other pigments. This chemical composition directly influences the cuticle's interaction with different wavelengths of light, making it detectable using spectral analysis techniques. Different spectral bands can be used to identify variations in the cuticle structure, detect changes in insect development, and assess the presence of pathogens or environmental stresses.

4.1. Ecological Implications and Integrated Pest Management

The separation of adults (males vs. females) may reflect adaptive strategies related to some type of visual communication (unlikely but possible), thermoregulation, and/or camouflage within their habitat.

In contrast, the pupae and larvae displayed similar spectra, suggesting less spectral differentiation at these intermediate developmental stages, which may be linked to a phase of reduced exposure to light or predators, or even that their natural enemies may employ non-visual strategies (olfactory, tactile, and/or chemical).

Recently, harvestman populations were discovered in sugarcane fields in Ribeirão Preto (São Paulo, Brazil), where *Liogonyleptoides inermis* Mello-Leitão, 1922 (Opiliones: Gonyleptidae) was the most dominant species, associated with traps baited with live *S. levis* specimens [39]. The authors suggested a possible olfactory/chemical location capability followed by tactile foraging by *L. inermis* on *S. levis* [39]. Generalist predators that make little use of visual resources to identify prey [40] include species that display visual predation behavior, such as *Heteromitobates discolor* (Arachnida, Opiliones) [40].

Defensive behaviors are essential for living organisms to survive in their environment, and thanatosis and spectral variation may be related to the capabilities of adults. For example, a pattern of low reflectance in adults may indicate adaptation to shaded environments [41], which is indeed the case in this study [6,9]. Considering the peaks of nocturnal activity in adults [9], the high reflectance in the near-infrared (NIR) range may indicate thermal camouflage strategies, helping to avoid predators that use infrared-sensitive vision [42]. This may also be related to thermal regulation [42]. As solar radiation is absent at night, the ambient temperature drops, and organisms may avoid excessive heat loss by reflecting infrared radiation.

Furthermore, the width of the Confidence Interval (CI) observed in males may reflect the variable selective pressures between males and females. Males display a heterogeneous pattern of body surfaces, whereas females exhibit a homogeneous pattern. It can be assumed that males are exposed to greater risks when releasing pheromones to identify more suitable oviposition sites for females to lay their eggs. However, females have a higher average displacement than males, averaging 3 m day⁻¹ and reaching up to 5 m day⁻¹ [43]. These data suggest that females are more exposed, which creates an apparent contradiction.

This contradiction observed between the behavioral dynamics of males and females suggests that different reproductive strategies are at play, as well as ecological variables that may influence this dynamic. One possible hypothesis to explain this difference is that males, having a heterogeneous body surface pattern, may use this variation as a camouflage strategy or as a form of distinct signaling in

complex environments, making them less visible to predators while actively searching for females. In contrast, the greater average movement of females may be associated with a more careful habitat selection pattern, where the search for suitable sites for oviposition involves a trade-off between safety and environmental quality.

This raises the hypothesis that females may be more selective regarding habitat type, requiring more movement to find locations with ideal conditions, such as the presence of high-quality food resources and/or less intraspecific competition. Thus, the hypothesis that can be raised is that both males and females are under different selective pressures that shape their behavior. While males may have developed adaptations to maximize their visibility and attractiveness, taking risks in pursuit of mating and/or specific aggregation sites, females may prioritize safety and the quality of oviposition sites, which require more strategic movement. This balance between attraction and safety may be important for the reproductive success of both sexes in the population dynamics of the species. Further investigations should examine these patterns in different environments and contexts and assess how morphological variations influence interactions between individuals and their efficiency in reproduction.

Genetic differences between male and female insects can be attributed to the distinct selective pressures stemming from their different lifestyles [44]. These differences are often the result of natural and/or sexual selection, which influences gene expression differently between sexes [45]. Gene expression and selective pressure in many insects lead to phenotypic differences between males and females, mediated by differential gene expression, in which genes are expressed at different levels in each sex [46]. This can lead to a "sexual conflict," where sexually antagonistic selection favors alleles that are beneficial to one sex but detrimental to the other [47].

Thus, the study of the spectral profiles of the developmental stages of *S. levis* makes a significant contribution to the understanding of the biology and ecology of this pest. The analysis of spectral data revealed important information about the spectral characteristics at different stages of the insect's life cycle, allowing for differentiation between larvae, pupae, and adults (males and females) based on their specific spectral profiles. These findings are particularly relevant for integrated pest management (IPM), an approach that seeks to use combined control methods to minimize economic damage caused by agricultural pests.

Accurate identification of the life stages of *S. levis* through remote sensing can facilitate faster and more effective interventions, enable the use of automated equipment for insect rearing, and allow farmers to implement control strategies before damage becomes economically significant.

4.2. Study limitations

The study on the spectral signatures of different developmental stages of *S. levis* yielded promising results and established a useful foundation for identifying life stages and sexing insects, following established protocols and standards used in previous research on other insect species. However, the limitations of this study should be considered, as they may introduce generalizations that call for further reflection and investigation into variations in the biology and ecology of *S. levis*.

First, sampling was conducted in a single geographic area, which may not reflect the genetic and ecological variability in *S. levis* populations from different regions. Environmental factors, such as climate, soil type, and the presence of predators, can influence both the spectral characteristics and behavior of insects. Therefore, including individuals from different regions in the analyses could broaden our understanding of the spectral and behavioral responses of insects under various ecological conditions.

Furthermore, although this study identified differences in spectral signatures between sexes, the behavioral implications of these differences were not addressed. Aspects such as mate-searching behavior, territoriality, and reproductive strategies may influence the spectral characteristics observed of the animals. A more detailed analysis of insect behavior could provide valuable context for interpreting the spectral data obtained.

Additionally, it is worth noting that the evaluated insect exhibits peculiar characteristics that are scarcely documented in scientific literature. This limitation may lead to some generalizations regarding its behavior and ecology, but it also tends to drive new studies and research aimed at deepening the understanding of the insect's biology and its interactions with the environment.

This study focuses on a single insect species as a model system. Further studies involving multiple species are necessary to assess the broader applicability of the method, as well as to refine our understanding of the spectral data collected. These limitations highlight the importance of exercising caution when interpreting the

results and suggest directions for future studies. Additional research is essential to consolidate knowledge about the biology and management of *S. levis* by adopting a more comprehensive and integrative approach that considers the complexities of the insect and its environment.

5. Conclusions

The data obtained can be used to improve the sexing of males and females, determine egg development time, and categorize larval instar. The integration of multiple spectral ranges provides a more robust approach to understanding the developmental dynamics and interactions of insects with their habitat. The ability to accurately differentiate developmental stages represents a significant advantage over traditional techniques, allowing entomology professionals to make faster and more precise estimates, with direct implications for understanding population dynamics and developing laboratory breeding systems, including the potential for automation.

Notably, this study is pioneering, as it initiates the creation of a spectral library of *S. levis* for all developmental stages, which contributes to the knowledge of various aspects of the biology and ecology of this pest insect. Furthermore, these data can be used to improve strategies for the identification, management, and control of this species. The ability to accurately differentiate developmental stages using non-destructive methods presents a significant advantage over traditional techniques.

Author Contributions: Conceptualization, P.G.P., D.L.R., and S.A.D.B.; methodology, D.L.R. and S.A.D.B.; software, D.L.R.; validation, S.A.D.B.; formal analysis, P.G.P., D.L.R., S.I.B., and S.A.D.B.; investigation, P.G.P., S.I.B., and S.A.D.B.; resources, D.L.R.; data curation, P.G.P., D.L.R., and S.I.B.; writing – original draft preparation, P.G.P.; writing – review and editing, D.L.R., S.I.B., and S.A.D.B.; visualization, P.G.P. and S.I.B.; supervision, S.A.D.B.; project administration, D.L.R. and S.A.D.B.; funding acquisition, D.L.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work is a contribution associated with the projects Research Center in Engineering –Phytosanitary in Sugarcane – CEPENFITO (FAPESP 2017/25258-1), High-Resolution Remote Sensing for Digital Agriculture (FAPESP 2021/06029-7), and the

cooperation agreement / IBM Brazil - Digital Agriculture (FAPESP 2017/19407-4).

Data Availability Statement: The authors will provide copies of the data obtained upon reasonable request from the corresponding author.

Acknowledgments: The authors thank the partner mill (USM) and partner producers of the Engineering Research Center - Phytosanitary Research in Sugarcane (CEPENFITO).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Abbreviations

The following abbreviations are used in this manuscript:

EROs	Reactive Oxygen Species
CI	Confidence Interval
MIP	Integrated Pest Management
NDE	Economic Damage Level
NIR	Near infrared
nm	Nanometers
SR	Remote Sensing
UV	Ultraviolet

References

1. CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2024/25, n.3 - Terceiro levantamento, Brazil, 2024, 12, pp. 1-55.
2. The Catalogue of Life Partnership (2017). APG IV: Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/fzuaam> accessed via GBIF.org on 2025-03-18
3. Pinto AS, Botelho PSM, Oliveira HN (2009) Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos da cana-de-açúcar. 1 ed.; Brasil, p. 160.
4. Seleglim AR. **Estratégias para o controle da broca peluda, *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lepidoptera, Erebidæ), em cana-de-açúcar.** Dissertação (mestrado) – São Paulo State University (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, Brazil, 2020.
5. Casteliani A, Martins LF, Cardoso JFM, Silva MSO, Silva RSA, Chacon-Orozco JG, Casteliani AGB, PUZA V, Harakova R, Leite LG (2020) Behavioral aspects of *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae), damage to sugarcane and its natural infection by *Steinernema carpocapsae* (Nematoda: Rhabditidae). **Crop Protection** 2020, 137, 105262. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105262>

6. Precetti AACM, Arrigoni EDB (1990) Aspectos bioecológicos e controle do besouro *Sphenophorus levis* (Vaurie, 1978) (Coleoptera, Curculionidae) em cana-de-açúcar. *Boletim Técnico Copersucar* 15.
7. Xavier GG, Farias ES, Carmo DG, Guedes AG, Samuels RI, Freitas DR, Pereira EJJ, Lima E, Picanço MC (2024) Determining factors and economic injury levels for *Sphenophorus levis* for chemical and biological control in irrigated and non-irrigated sugarcane crops. *Neotropical Entomology* 53: 955-963. <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01175-0>
8. Dinardo-Miranda LL, Pivetta JP, Fracasso JV (2008) Influência da época de aplicação de nematicidas em soqueiras sobre as populações de nematoides e a produtividade da cana-de-açúcar. *Bragantia* 67, 179–190. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100022>
9. Ferreira PHU, Ferreira MC (2023) *Sphenophorus levis* behavior studies: evaluating insect attractiveness or repellency to one insecticide treatment and assessing nocturnal insect activity and location pattern. *Insects* 14, 205. <https://doi.org/10.3390/insects14020205>
10. Zarbin PHG, Arrigoni EB, Reckziegel A, Moreira JA, Baraldi PT, Vieira PC (2003) Identification of male-specific chiral compound from the sugarcane weevil *Sphenophorus levis*. *Journal of Chemical Ecology* 29: 377-386. <https://doi.org/10.1023/a:1022634012212>
11. Zarbin PHG, Princival JL, Santos AA, Oliveira ARM (2004) Synthesis of (S)-(+)-2-methyl-4-octanol: male-specific compound released by sugarcane weevil *Sphenophorus levis* (coleoptera: curculionidae). *Journal of the Brazilian Chemical Society* 15:331–334. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532004000200028>
12. Degaspari, N.; Botelho, P.S.M.; Almeida, L.C.; Castilho, H.J. Biologia de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Col.: Curculionidae), em dieta artificial a no campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 1987, 22, 553-558. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1987.v22.14389>
13. Cavaco, A.M.; Utkin, A.B.; Silva, J.M.d.; Guerra, R. Making sense of light: the use of optical spectroscopy techniques in plant sciences and agriculture. *Applied Sciences* 2022, 12, p. 997. <https://doi.org/10.3390/app12030997>
14. Barros, P.P.S.; Rosalen, D.L.; Martins, F.H.M.; Leo, G.D.D. Monitoring plant health using remote sensing: Advances and challenges. *Revista Brasileira de Cartografia* 2021, 73, 489-515.
15. Terentev, A.; et al. Hyperspectral Remote Sensing for Early Detection of Wheat Leaf Rust Caused by *Puccinia triticina*. *Agriculture* 2023, 13(6), 1186. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061186>
16. Monico, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. 2nd. São Paulo, Brasil. 2008 Editora UNESP, p. 476.

17. Feng, J. et al. Autonomous Detection of *Spodoptera frugiperda* by feeding symptoms directly from UAV RGB Imagery. *Applied Sciences* 2022, 12, 1-15. <http://doi.org/10.3390/app12052592>
18. Song, Z.; et al. Applied of LIDAR remote sensing of insects in agricultural entomology on the Chinese scene. *Journal of Applied Entomology* 2020, 144, 161-169. <http://doi.org/10.1111/jen.12714>
19. Nansen, C.; Coelho, A.; Vieira, J.M.; Parra, J.R.P. Reflectance-based identification of parasitized host eggs and adult trichogramma specimens. *Journal of Experimental Biology* 2013, 217, 1187-1192. <https://doi.org/10.1242/jeb.095661>
20. Johari, S.N.A.M.; Bejo, S.K.; Shariff, A.R.M.; Husin, N.A.; Basri, M.M.M.; Kamarudin, N. Identification of bagworm (*metisa plana*) instar stages using hyperspectral imaging and machine learning techniques. *Computers and Electronics in Agriculture* 2022, 194, 106739. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106739>
21. Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 2014, 22, 6, 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
22. Macedo, N.; Macedo, D. Manejo da broca protege produtividade. *Correio* 2007, 1, 26.
23. Valadares-Filho, S.C.; et al. CQBAL 4.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. 2018, disponível em: < www.cqbal.com.br >. Acesso em 04 junho 2024.
24. Analytical Spectral Devices. (2022). FieldSpec 3 user manual. Espectrômetro de bancada. Disponível em: < <https://www.geo-informatie.nl/courses/grs60312/material2017/manuals/600540-jfieldspec3usermanual.pdf> >. Acesso 04 junho de 2024.
25. Barros, P.P.S.; et al. Monitoramento Fitossanitário Utilizando Sensoriamento Remoto: Avanços e Desafios. *Revista Brasileira de Cartografia* 2021, 73, 489-515. [10.3390/agriengineering6010020](https://doi.org/10.3390/agriengineering6010020)
26. Bauriegel, E.; Giebel, A.; Geyer, M.; Schmidt, U.; Herppich, W.B. Early detection of *Fusarium* infection in wheat using hyper-spectral imaging. *Comput. Electron. Agric.* 2011, 75, 304-312. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.12.006>
27. Nansen, C.; Elliot, N. Remote Sensing and reflectance profiling in entomology. *Annu. Rev. Entomol.* 2016, 61:139-158.
28. Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 1963, 58, 301, 236-244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
29. Krywinski JLM Altman N Points of significance: Principal Component Analysis. *Nature Methods* 2017, 14, 7, 641-642. <http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.4346>
30. Kaiser, H.F. The varimax criteria for analytical rotation in factor analysis. *Psychometrika* 1958, 23, 141-51. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

31. Donoughe, S. Insect egg morphology: evolution, development, and ecology. *Current Opinion in Insect Science* 2022, 50, 100868. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.12.008>
32. Karl, I.; Lorenz, M.W.; Fischer, K.; Energetics of reproduction: consequences of divergent selection on egg size, food limitation, and female age for egg composition and reproductive effort in a butterfly. *Biol J Linn Soc* 2007, 91, 403-418.
33. Skibsted, L.H. Carotenoids in antioxidant networks: colorants or radical scavengers. *J. Agric. Food Chem* 2012, 60, 2409-17.
34. Qin, J.; Lu, R. Measurement of the optical properties of fruits and vegetables using spatially resolved hyperspectral diffuse reflectance imaging technique. *Postharv Biology and Technology* 2008, 49: 355-365.
35. Stahl, E.; Hilfiker, O.; Reymond, P. Plant-arthropod interactions: Who is the winner? *Plant J.* 2018, 93, 703-728.
36. Warren, J.; Ratnasekera, T.; Campbell, D.; Anderson, G. Initial investigations of spectral measurements to estimate the time within stages of *Protophormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Calliphoridae). *Forensic science international* 2017, 278, 205-216. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.06.027>.
37. Makki, R.; Cinnamon, A.P.; Gould, A.P. The development and functions of oenocytes. *Annu Ver Entomol* 2014, 59, 405-425,
38. Yan, Y.; Zurek, L.; Dykstra, M.J.; Schal, C. Hydrocarbon synthesis by enzymatically dissociated oenocytes of the abdominal integument of German Cockroach *Blattella germanica*, *Naturwissenschaften* 2003, 90, 121-126.
39. Peixoto, P. G., et al. Attractiveness of pitfall traps with baits for harvestmen in a sugarcane agroecosystem. *Sugar Tech* 2024, 26, 731-740. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01390-4>
40. Willemart, R.H.; Farine, J.P.; Gnaspini, P. Sensory biology of Phalangida harvestmen (Arachnida, Opiliones): a review, with new morphological data on 18 species. *Acta Zool. Stockholm* 2009, 90: 209-227.
41. Silva, N.F.d.S.; Fowler-Finn, K.D.; Mortara, S.R.; Willemart, R. H. A neotropical armored harvestman (arachnida, opiliones) uses proprioception and vision for homing. *Behaviour* 2018, 155, 793-815. <https://doi.org/10.1163/1568539x-00003503>
42. Aksoy, V.; Camlitepe, Y. Behavioural analysis of chromatic and achromatic vision in the ant *Formica cunicularia* (Hymenoptera: Formicidae). *Vis Res* 2012. 67, 28-36.
43. Van Der Kooi, C.; Stavenga, D.; Arikawa, K.; Belušič, G.; Kelber, A. Evolution of Insect Color Vision: From Spectral Sensitivity to Visual Ecology. *Annual review of entomology* 2020, 66, 435-461. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061720-071644>
44. Precetti, A.A.C.; Teran, F.O. Gorgulhos da cana-de-açúcar, *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 e *Metamasius hemipterus* (L., 1765) (Col., Curculionidae). In: Reunião

Técnica Copersucar, 1983, Piracicaba, Reunião Técnica Agronômica. São Paulo: 1983. p. 32-37.

45. Rodríguez-Muñoz R, Bretman A, Slate J, Walling C, Tregenza T (2010) Natural and Sexual Selection in a Wild Insect Population. *Science* 2010, 328:1269-1272. <https://doi.org/10.1126/science.1188102>
46. Wang Y, Wang H, Wang X, Liu S (2020) Evolutionary Patterns of Sex-Biased Genes in Three Species of Haplodiploid Insects. *Insects* 11. <https://doi.org/10.3390/insects11060326>
47. Sayadi A, Barrio M, Immonen E, Dainat J, Berger D, Tellgren-Roth C, Nystedt B, Arnqvist G (2019) The genomic footprint of sexual conflict. *Nature Ecology & Evolution* 3: 1725-1730. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1041-9>

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre *Sphenophorus levis*, uma praga importante na cultura da cana-de-açúcar, abordaram três aspectos principais: atratividade, biologia e distribuição geográfica. Todos foram baseados em aspectos não avaliados de forma abrangente em estudos anteriores. Trata-se de lacunas amplas no conhecimento desta importante praga.

Com relação a distribuição geográfica de *S. levis* é relevante para entender possíveis padrões de distribuição e prever sua ocorrência em diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar. Com os dados levantados é provável que em alguns anos esta espécie se torne abundante nos canaviais, se tornando uma preocupação a nível nacional. Levantamentos sistemáticos podem auxiliar a identificar áreas de risco e desenvolver estratégias de controle integradas, considerando a variabilidade ambiental e as práticas agrícolas locais. E em uma segunda e futura etapa a aplicação de modelagem de distribuição, permitindo entender cada vez mais possíveis aspectos ecológicos e fatores abióticos que podem modular a distribuição atual e futura.

A análise da atratividade de *S. levis* em relação a diferentes iscas e armadilhas pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes. Adicionalmente, essa compreensão pode elucidar as razões da ocorrência da espécie e seu atrativo pela cana-de-açúcar, considerando tanto a matéria-prima quanto os subprodutos associados. Buscamos identificar e desmistificar importantes aspectos da biologia deste inseto, uma vez que havia o temor de que a vinhaça teria efeito de atração, o que não foi observado. Além disso, o uso de técnicas atrativas biológicas como a fêmea virgem, não parece viável no contexto deste estudo.

Por fim, o estudo da biologia de *S. levis* através da espectroradiometria permitiu a identificação de fases específicas das larvas, separação de sexos ainda na fase de pupa e a sexagem de adultos. A identificação precisa do sexo dos adultos antes da fase de acasalamento otimiza a criação em massa, permitindo que os produtores ajustem suas populações para objetivos específicos. Além disso, a aplicação da espectroradiometria representa um avanço significativo, pois proporciona uma abordagem não destrutiva e eficaz para analisar características físicas e químicas em várias fases do desenvolvimento dos insetos, enriquecendo

assim o conhecimento em entomologia e oferecendo técnicas que podem ser aplicadas a outras espécies, contribuindo para estratégias sustentáveis em biologia.