

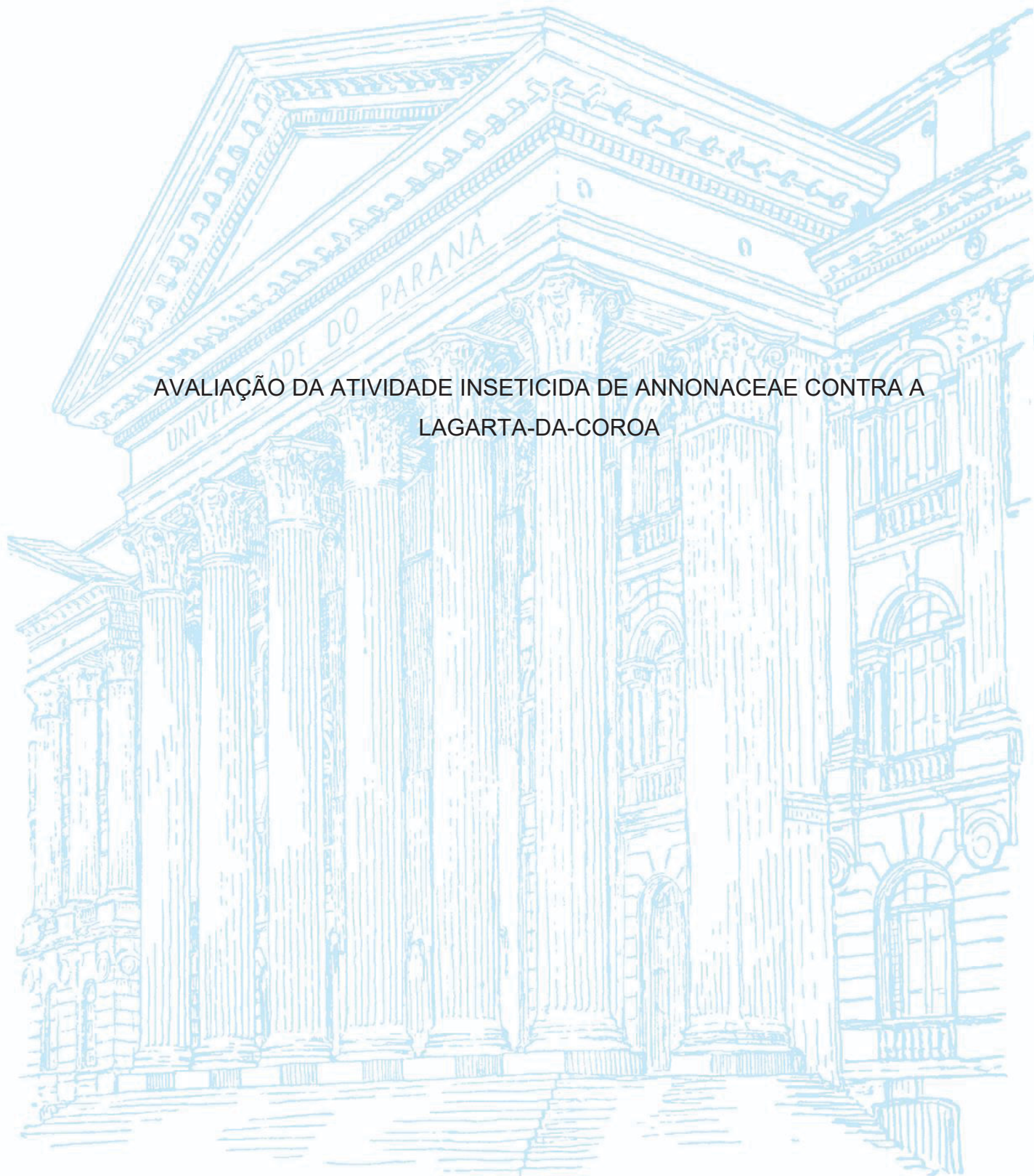
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIMAR BARBOZA GONÇALVES

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE INSETICIDA DE ANNONACEAE CONTRA A
LAGARTA-DA-COROA

CURITIBA

2022



RODRIMAR BARBOZA GONÇALVES

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE INSETICIDA DE ANNONACEAE CONTRA A
LAGARTA-DA-COROA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Cassilha Zawadneak.

Coorientadores: Dr. Daniel Bernardi e Dra. Michele Trombin de Souza.

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Gonçalves, Rodrimar Barboza

Avaliação da atividade inseticida de Annonaceae contra a lagarta-da-coroa / Rodrimar Barboza Gonçalves . – Curitiba, 2022.
1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia (Produção Vegetal).

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Cassilha Zawadneak

Coorientador: Dr. Daniel Bernardi

Coorientador: Dra. Michele Trombin de Souza

1. Lagartas. 2. Morango – Doenças e pragas. 3. Histologia. 4. Acetogeninas. I. Zawadneak, Maria Aparecida Cassilha. II. Bernardi, Daniel. III. Souza, Michele Trombin de. IV. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal). V. Título.

Bibliotecária: Telma Terezinha Stresser de Assis CRB-9/944



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RODRIMAR BARBOZA GONÇALVES** intitulada: **AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE INSETICIDA DE ANNONACEAE CONTRA A LAGARTA-DA-COROIA**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Junho de 2022.

Assinatura Eletrônica

08/08/2022 13:55:34.0

MARIA APARECIDA CASSILHA ZAWADNEAK
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

09/08/2022 09:39:02.0

IDA CHAPAVAL PIMENTEL
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

09/08/2022 07:37:45.0

MICHELE TROMBIN DE SOUZA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS)

Assinatura Eletrônica

08/08/2022 17:38:03.0

JOATAN MACHADO DA ROSA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal (PGAPV) pela oportunidade de realizar este curso e pelo ambiente oferecido.

A Professora Dra. Maria Aparecida Cassilha Zawadneak por toda orientação, dedicação e ensinamentos que possibilitaram que eu realizasse este trabalho.

Aos meus coorientadores Professor Dr. Daniel Bernardi, Dra. Michele Trombin de Souza e Dra. Mireli Trombin de Souza, pela atenção e ensinamentos.

A minha família, pela motivação em todas as etapas da minha formação profissional, pela doação e carinho dedicados nos momentos de dificuldades e pela compreensão devido à ausência e à distância.

Aos Professores Dra. Ida Chapaval Pimentel e Dr. Joatan Machado da Rosa (Departamento de Patologia Básica – Ciências Biológicas da UFPR) pelo apoio e incentivo.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal (PGAPV), pelos conhecimentos transmitidos e aos funcionários do Departamento pelos serviços prestados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Dr. Leandro do Prado Ribeiro, pela preparação dos extratos, tornando possível a realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Entomologia Professor Ângelo Costa Lima: Bruno Roberto de Moraes, Elias Makoto Hioki, Fernanda Proen Vaz, Jessika Aline Muraro, João Gabriel de Lima de Souza, Julia Sant’Ana, Márcia Cristina Herchovicz de Oliveira, Matheus Beger, Roberta Moraes Mendes, Thales Fernando Moreno Gulinelli e do PGAPV: Alessandra Benatto, Adélia Bichoff, Leticia Tamara Maleski, Renata Bach e Thaísa Siqueira pelo convívio e troca de experiências.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal (PGAPV), pelo convívio, companheirismo e interação durante o curso.

A todos aqueles, que de alguma forma, colaboraram para a concretização desta etapa, fica o meu eterno agradecimento e reconhecimento.

*“Educação não transforma o mundo.
Educação muda pessoas.
Pessoas transformam o mundo.”*

Paulo Freire

RESUMO GERAL

A lagarta-da-coroa *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) é uma das principais pragas do morangueiro, causa perdas significativas no cultivo onde a praga ocorre. Seu dano é causado por larvas que ao se alimentarem das plantas, constroem galerias na região da coroa, facilitando a entrada de patógenos, podendo ocasionar a morte da planta, além da coroa, se alimentam de folhas flores e frutos. A procura por alternativas inovadoras que causem menor impacto ao meio ambiente, leva a novos estudos para encontrar soluções, com isso os inseticidas botânicos são candidatos promissores para o manejo de praga e são capazes de afetar a alimentação, desenvolvimento e os parâmetros biológicos. A obtenção de derivados com propriedades inseticidas a partir de biomassa vegetal abundante (resíduos) é uma interessante oportunidade de transformar problemas ambientais em soluções inovadoras para os programas de manejo de pragas, reduzindo os prejuízos nas lavouras e maior segurança alimentar. No presente estudo, avaliou-se a toxicidade das emulsões aquosas do extrato etanólico das sementes de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) sobre a lagarta-da-coroa. Além disso, avaliou-se os efeitos anti-alimentares e inibidor do desenvolvimento, bem como danos macro e microscópicos aos sistemas excretor e nervoso de larvas da lagarta-da-coroa. No bioensaio de contato, a emulsão aquosa do extrato de *A. mucosa* proporcionou uma ação mais rápida sobre a mortalidade das larvas com TL₅₀ de 6,10 h, seguidos por clorfenapir (Pirate®) (TL₅₀ = 8,2 h) e emulsão aquosa do extrato de *A. sylvatica* (TL₅₀ = 10,3 h). Em contrapartida, o bioinseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom® 1 EC) apresentou maior TL₅₀ (32,8 h). Além dos efeitos letais, as emulsões aquosas testadas causaram significativa fagodeterrência (>90%) e inibiram o desenvolvimento de *D. fovealis*. A observação macroscópica revelou a presença de edemas, bem como o escurecimento da superfície da cutícula das larvas. As análises histológicas detectaram alterações, bem como o escurecimento o escurecimento da superfície da cutícula das larvas. Os resultados sugerem que emulsões aquosas produzidas a partir do extrato etanólico de sementes de *A. mucosa* e *A. sylvatica*, resíduo em complexos industriais de processamento de frutas (polparias), são alternativas para o manejo de *D. fovealis*, principalmente em sistemas de produção de morango orgânico e/ou ecológica. Este foi o primeiro trabalho avaliando as alterações macroscópicas sobre a cutícula e histológicas nos sistemas excretor e nervoso de larvas da lagarta-da-coroa, causadas por extratos etanólicos de *Annona* spp.

Palavras-chave: *Annona*. *Annonaceae*. Acetogenina. *Duponchelia fovealis*. Histologia.

ABSTRACT

The European pepper moth *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) is one of the main pests of strawberry, causing significant losses in the crop where the pest occurs. Its damage is caused by larvae that, when feeding on plants, build galleries in the crown region, facilitating the entry of pathogens, which can cause the death of the plant, in addition to the crown, they feed on leaves, flowers and fruits. The search for innovative alternatives that cause less impact on the environment, leads to new studies to find solutions, so botanical insecticides are promising candidates for the management of insect pests and are able to affect feeding, development and biological parameters. Obtaining derivatives with insecticidal properties from abundant plant biomass (waste) represents a good opportunity to transform environmental problems into innovative solutions for pest management programs, reducing damage to crops and greater food security. In the present study, evaluated the toxicity of the aqueous emulsions of the ethanolic extract of *Annona mucosa* and *Annona sylvatica* (Annonaceae) seeds on the European pepper moth. In addition, evaluated anti-feeding and developmental inhibitory effects, as well as macro and microscopic damage to the excretory and nervous systems of European pepper moth larvae. In the contact bioassay, the aqueous emulsion of *A. mucosa* extract provided the fastest action on larvae mortality with LT_{50} of 6.10 h, followed by chlorfenapyr (Pirate[®]) (LT_{50} = 8.2 h) and the aqueous emulsion of the *A. sylvatica* extract (LT_{50} = 10.3 h). In contrast, the commercial bioinsecticide based on acetogenins (Anosom[®] 1 EC) had a higher LT_{50} (32.8 h). In addition to the lethal effects, the aqueous emulsions tested caused significant phagodeterrence (>90%) and inhibited the development of *D. fovealis*. Macroscopic observation revealed the presence of edemas as well as the darkening on the surface of the larvae's cuticle. Histological analyses detected alterations. Our results suggest that aqueous emulsions produced from ethanolic extract of *A. mucosa* and *A. sylvatica* seeds, a residue in fruit processing industrial complexes (pulp factories), are alternatives for the management of *D. fovealis*, especially in organic and/or ecological strawberry production systems. This is the first study to evaluate the macroscopic changes on the cuticle and histological changes in the excretory and nervous systems of larvae of European pepper moth larvae caused by ethanolic extracts of *Annona* spp.

Keywords: *Annona*. *Annonacea*. Acetogenins. *Duponchelia fovealis*. Histology.

LISTA DE FIGURAS - GERAL

- FIGURA GERAL 1. Adultos de *Duponchelia fovealis*: (A) macho; (B) fêmea, medem em torno de 19 mm de envergadura por 10 mm de comprimento, asas de coloração marrom, com o centro mais escuro, e com duas linhas transversais amarelas e paralelas entre si, a linha mais perto do ápice da asa apresenta um desenho em forma de “U” na região central..... 16
- FIGURA GERAL 2. Danos causados por larvas de *Duponchelia fovealis*: (a) secamento da planta; (b) redução da área foliar; (c) lesões na coroa e fruto..... 16
- FIGURA GERAL 3. Estrutura geral de acetogeninas. 19

LISTA DE FIGURAS – CAPÍTULO I

- FIGURA 1. Danos macroscópicos em larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* tratadas com emulsões aquosas dos extratos etanólicos de sementes de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (40x). a,b,c) Nenhuma mudança de cor ou deformidade foi observada em *D. fovealis* após 2 h de exposição (controle negativo). d-e) Dermatite (setas) nas cutículas tratadas com as emulsões do extrato de *A. mucosa* e de *A. sylvatica*, respectivamente. f) Deformações e enrugamento do abdome (círculo) evidenciado no tratamento com a emulsão aquosa de *A. mucosa*. g) Edema (ponta da seta) após a exposição à emulsão aquosa do extrato de *A. mucosa*. h-i) escurecimento na superfície da cutícula após a exposição a emulsão aquosa do extrato de *A. sylvatica* e de *A. mucosa*, respectivamente. 37
- FIGURA 2. Danos microscópicos em larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* tratadas com emulsões aquosas dos extratos etanólicos de sementes de *Annona mucosa* e de *Annona sylvatica*. a) Controle – Não foram observadas alterações morfológicas na cutícula (ct), observe as camadas cuticulares intactas e bem definidas (Ep-epicutícula, Ex-exocutícula, e End-endocutícula). b-c) Intensa descamação e projeção cuticular em insetos expostos a emulsões aquosas do extrato de *A. sylvatica* e *A. mucosa*, respectivamente; d) Controle - Cérebro (BR) com neurópilos normais (ne) e camadas corticais intactas (cl). e-f) granulação citoplasmática das células gliais (gc) no cérebro de *D. fovealis*, bem como vacuolização na camada cortical (v) para ambas emulsões aquosas testadas. g) Controle - Corpo gordo (FB) com trofócitos homogêneos e delimitados (tr). h-i) núcleos picnóticos (pn) e vacuolização dos trofócitos (v) do corpo gordo em larvas de *D. fovealis* também foram visualizados em ambos os tratamentos. 38

LISTA DE TABELAS - CAPÍTULO I

- TABELA 1. Estimativa da CL_{50} ($mg L^{-1}$), bem como o intervalo de confiança (IC 95%), das emulsões aquosas dos extratos etanólicos das sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e dos inseticidas comerciais à base de acetogeninas (Anosom[®]) e clorfenapir (Pirate[®]) para larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis*, após 72 h de exposição. 32
- TABELA 2. Tempo letal médio (TL_{50} , em horas) e intervalo de confiança das emulsões aquosas dos extratos etanólicos das sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e do inseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom[®]) e clorfenapir (Pirate[®]) sobre larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* usando a concentração de CL_{50} 33
- TABELA 3. Média ($\pm EP$) de consume foliar (mg), growth rate (GR), relative consumption rate (RCR) e food utilization rate (UR) após 72 h de exposição de larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* em emulsões aquosas dos extratos etanólicos das sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e inseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom[®] 1 EC) e clorfenapir (Pirate[®]), na CL_{50} , previamente estimada. 35
- TABELA 4. Efeitos inibitórios do crescimento (média $\pm EP$) nos períodos larval e pupal de *Duponchelia fovealis* expostos a emulsões aquosas dos extratos etanólicos de sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e inseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom[®] 1 EC) e clorfenapir (Pirate[®]), na CL_{50} , previamente estimada. 36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 MORANGUEIRO	14
2.2 <i>Duponchelia fovealis</i> , PRAGA INTRODUZIDA NO BRASIL	15
2.3 INSETICIDAS BOTÂNICOS.....	17
3 CAPÍTULO I - ANNONA (ANNONACEAE) DERIVADOS DE SUBPRODUTOS: TOXICIDADE PARA A LAGARTA-DA-COROA E AVALIAÇÃO HISTOLÓGICA...	20
RESUMO.....	21
3.1 INTRODUÇÃO	23
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.2.1 Criação e manutenção da lagarta-da-coroa	25
3.2.2 Obtenção e preparação de extratos e procedimento de formulação	26
3.2.3 Bioensaios.....	26
3.2.3.1 Curvas de concentração-resposta e tempo letal médio.....	27
3.2.3.2 Efeitos anti-alimentar de sementes de extratos de <i>Annona</i> sobre a lagarta- da-coroa	28
3.2.3.3 Parâmetros biológicos após a exposição de extratos de sementes de <i>Annona</i>	29
3.2.3.4 Histopatologia larval	29
3.2.4 Análise dos dados	30
3.3 RESULTADOS	31
3.3.1 Curvas de concentração-resposta e tempo letal médio	31
3.3.2 Efeitos anti-alimentares e parâmetros biológicos após exposição a extratos das sementes de <i>Annona</i>	34
3.4 DISCUSSÃO	39
REFERÊNCIAS	43
4 CONCLUSÃO GERAL	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO GERAL

A lagarta-da-coroa *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae) é uma das principais pragas do morangueiro (*Fragaria × ananassa* Duch), foi relatada pela primeira vez no cultivo do Paraná (ZAWADNEAK et al., 2011; 2016), Espírito Santo (FORNAZIER et al., 2011) e Minas Gerais (SOUZA et al., 2013), na América do Norte em 2004 (BRAMBILA; STOCKS, 2010; PINTO-ZEVALLOS et al., 2020) e em diferentes regiões do mundo (ZAWADNEAK et al., 2016). É uma praga polífaga, com registro em pelo menos 73 espécies de plantas (ZAWADNEAK et al., 2015) presente em importantes culturas alimentares e espécies ornamentais (BRAMBILA; STOCKS, 2010; ZAWADNEAK et al., 2017). No morangueiro, pode ser encontrada durante em vários estádios da planta, desde mudas recém-plantadas, frutos maduros ou no broqueamento do caule, sendo um dos principais danos (ZAWADNEAK et al., 2017), podendo levar à morte da planta (ZAWADNEAK et al., 2016). No Brasil, não há inseticidas sintéticos registrado para seu manejo até o momento (AGROFIT, 2022) o que tem levado os produtores de morango a utilizem controle químico de outras pragas para manter baixa as populações de *D. fovealis*, podendo ainda a existência ao risco de pragas a desenvolverem resistência, diante disso tem impulsionado a busca por moléculas eficazes, sustentáveis e compatíveis com a produção orgânica ou de baixo resíduo (ZANARDI et al., 2015). Novas pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento de formas de controle de pragas, por meio de estudo de potenciais inseticidas botânicos como alternativas promissoras para seu manejo (KRINSKI et al., 2014; GONÇALVES et al., 2022; ZAWADNEAK et al., 2022).

Os estudos fitoquímicos têm identificado as acetogeninas (ACGs) isoladas das sementes do gênero *Annona* (Annonaceae) com potentes propriedades inseticidas (RIBEIRO et al., 2016; BERNARDI et al., 2017). Os compostos secundários (aleloquímicos) podem ser usados na preparação de inseticidas botânicos, incluindo espécies dessa família (KRINSKI et al., 2014; RIBEIRO et al., 2016). Estudos mostram que esses compostos de plantas de Annonaceae vêm controlando pragas agrícolas como *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) (STUPP et al., 2020a) e *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (STUPP et al., 2020b); (Diptera: Tephritidae); *Optatus palmaris* (Pascoe) (Coleoptera: Curculionidae) (PINEDA-RÍOS et al., 2021); *Planococcus lilacinus* (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae) (HUANG et al., 2021)

Spodoptera frugiperda (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (ANSANTE et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016), *Helicoverpa armigera* (Hübner) (SOUZA et al., 2019), *Zabrotes subfasciatus* (Boehman) (GONÇALVES et al., 2021) e *Zaprionus indianus* (Gupta) (Diptera: Drosophilidae) (GEISLER et al., 2019).

Os estudos apresentam os danos histológicos causados pelo modo de ação de inseticidas a base de ACGs, a partir da ingestão e absorção, afetando órgão-alvo das larvas dessas pragas, com redução da locomoção, respiração e alterações histológicas no intestino médio da lagarta-da-soja *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) (CASTRO et al., 2021). Em doses subletais, as ACGs causaram danos no epitélio do intestino médio e células digestivas das larvas de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae), diminuindo a expressão de genes associados ao transporte e absorção de nutrientes (COSTA et al., 2016). Também afetaram a alimentação, desenvolvimento e os parâmetros biológicos e *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) (BERNARDI et al., 2017). As ACGs são substâncias bioativas que atuam como inseticidas e antialimentar (SIDAURUK et al., 2022), pode ser uma alternativa segura para reduzir ou prevenir a presença desses insetos-pragas, principalmente em sistemas de produção orgânica devido à ausência de resíduos gerados com a aplicação, disponibilizando morangos seguros para o consumo.

1.1 JUSTIFICATIVA

A procura por alternativas inovadoras que causem menor impacto ao meio ambiente, leva a novos estudos para encontrar soluções, com isso os inseticidas botânicos são candidatos promissores para o manejo de insetos-praga. Bem como, são capazes de afetar a alimentação, desenvolvimento e os parâmetros biológicos. A obtenção de derivados com propriedades inseticidas a partir de biomassa vegetal abundante (resíduos) é uma interessante oportunidade de transformar problemas ambientais em soluções inovadoras para os programas de manejo de pragas, reduzindo os prejuízos nas lavouras e maior segurança para a saúde.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo geral

Investigar o potencial inseticida de formulações de extrato etanólico de sementes das espécies pré-selecionadas de *A. mucosa* e *A. sylvatica*, nativas da América do Sul e amplamente cultivadas no Brasil, sobre larvas de *D. fovealis*.

Objetivos específicos

Avaliar a toxicidade e inibição alimentar de larvas de *D. fovealis* quando alimentadas com folhas de morango contaminadas com extratos etanólicos de sementes de *A. mucosa* e *A. sylvatica*.

Determinar os parâmetros biológicos de *D. fovealis* quando exposto, durante a fase larval, a concentrações subletais desses derivados.

Caracterizar danos macro e microscópicos ao sistema excretor e nervoso de larvas de *D. fovealis*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MORANGUEIRO

O morangueiro (*Fragaria × ananassa* Duch.) pertence à família Rosaceae, são frutas de grande aceitação em forma frescas ou processadas devido ao seu sabor. Cultivada como fonte de alimento em muitas partes do mundo (DIAZ-LARA et al., 2021; JURIC et al., 2021). Na cadeia produtiva de pequenos frutos é considerada a cultura com maior importância (CAMARGO et al., 2022).

A produção mundial de morango anual é de 8.861.381 toneladas em 384.668 hectares de área cultivada. O Brasil colhe 218.881 toneladas de morango em 5.279 hectares de área (FAOSTAT, 2020). Os três maiores estados produtores totalizam 81% da produção, o Estado do Paraná é o terceiro maior produtor com 6%, atrás do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais, que produzem 9% e 66% respectivamente (IBGE – CENSO AGROPECUÁRIO, 2017).

A produção gera renda com mão-de-obra familiar e cria empregos para agricultores de pequeno porte. A área cultivada do morango na safra 2020, teve um aumento considerado de 4,0 a 6,0% com o uso novas tecnologias em sistemas de cultivos utilizadas pelos produtores, com esses avanços tecnológicos os morangos estão disponíveis para consumo *in natura* praticamente o ano todo. (ANTUNES; BNOW, 2021).

2.2 *Duponchelia fovealis*, PRAGA INTRODUZIDA NO BRASIL

A lagarta-da-coroa *Duponchelia fovealis* (Figura 1) é uma das principais pragas da cultura, microlepidóptero e polífago é relatado em 70 plantas hospedeiras, incluindo culturas agrícolas, como cereais e hortaliças, plantas medicinais, plantas ornamentais terrestres e aquáticas (ZAWADNEAK et al., 2015). Este inseto é originário da região do Mediterrâneo e das Ilhas Canárias, mas se dispersou para diferentes regiões da África, Ásia, Europa, Américas do Norte e do Sul (CABI, 2022). Este fato ocorreu, provavelmente por meio da importação de plantas ornamentais infestadas (BONSIGNORE; VACANTE, 2010). Em morangueiros, a espécie já foi detectada na França e Itália (BONSIGNORE; VACANTE, 2010), Portugal (FRANCO; BAPTISTA, 2010), Turquia (EFIL et al., 2014), Brasil (ZAWADNEAK et al., 2016; PAES et al., 2018a; MENEZES et al., 2019) e México (CRUZ-ESTEBAN; ROJAS, 2021). A lagarta-da-coroa foi reportada no Brasil em 2010 (ZAWADNEAK et al., 2011), e se espalhou por diferentes áreas produtoras de morangos no país (FORNAZIER et al., 2011; SOUZA et al., 2013; MENEZES et al., 2019), causando danos significativos ao cultivo (Figura 2), presente o ano todo nas lavouras, as larvas atacam diversas estruturas das plantas, se alimentando de folhas, flores, frutos e broqueiam o caule (coroa) do morangueiro, abrem galerias na região da coroa, dificultado o fluxo da seiva da planta e facilitando a entrada de patógenos, ocasionando o murchamento, amarelecimento e a morte da planta (ZAWADNEAK et al., 2014; 2015).

FIGURA GERAL 1. Adultos de *Duponchelia fovealis*: (A) macho; (B) fêmea, medem em torno de 19 mm de envergadura por 10 mm de comprimento, asas de coloração marrom, com o centro mais escuro, e com duas linhas transversais amarelas e paralelas entre si, a linha mais perto do ápice da asa apresenta um desenho em forma de “U” na região central.



FONTE: ZAWADNEAK et al., (2014)

FIGURA GERAL 2. Danos causados por larvas de *Duponchelia fovealis*: (a) secamento da planta; (b) redução da área foliar; (c) lesões na coroa e fruto.



FONTE: ZAWADNEAK et al., (2014)

No Brasil, até o momento não possui inseticida químico registrados para o controle de *D. fovealis* (AGROFIT, 2022), isso justifica a busca por alternativas, com a utilização de inimigos naturais, como é o caso com os gênero *Apanteles* (Hymenoptera: Braconidae), *Hyaliodocoris insignis* Stal (Heteroptera: Miridae) (ZAWADNEAK et al., 2016), ácaros predadores: *Hypoaspis miles* Berlese e *Hypoaspis aculeifer* Canestrini (Acari: Laelapidae), e adultos do besouro *Atheta coriaria* Kraatz (Coleoptera: Staphiloinidae) (MESSELINK; WENSVEEN 2003), outro são os insetos do gênero *Trichogramma* (PAES et al., 2018 b,c; PIROVANI et al., 2017; STOCK; HODGES, 2014; BRAMBILA; STOCKS, 2010), para a utilização de controle microbiológico, fungos entomopatogênicos (STUART et al., 2020; AMATUZZI et al., 2018 a,b; POITEVIN et al., 2018) e nematoides entomopatogênicos (PIROVANI et al.,

2017), extratos vegetais de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (GONÇALVES et al., 2022) e óleos essenciais de gengibre (*Zingiber officinalis*), cravo (*Syzygium aromaticum*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*), limão siciliano (*Citrus limon*) (ATAIDE, 2017) são exemplos que demonstram serem promissores no controle de *D. fovealis*, com isso, essas alternativas de controle pode se potencializar quando utilizadas em conjunto à estratégia de manejo integrado (STUART et al., 2021).

2.3 INSETICIDAS BOTÂNICOS

Os inseticidas botânicos são produtos que apresentam grandes variedades de compostos ativos, como características atraentes, desalojantes ou repelentes (NAVARRO-SILVA et al., 2009; KRINSKI et al., 2014).

No controle de insetos-pragas, a utilização de vegetais e de produtos preparados a partir de seus constituintes, tais como extratos e óleos essenciais, em geral têm aumentado nos países industrializados, inclusive no Brasil (KRINSKI et al., 2014). Os inseticidas botânicos podem ser uma alternativa no controle de pragas para que seja compensatório ao pequeno produtor que disponibiliza de poucos recursos, são medidas importantes para viabilizar a agricultura familiar. O uso de inseticidas botânicos é difundido na agricultura orgânica e familiar. Os agricultores usam extratos caseiros de inúmeras espécies de plantas, que possuem princípios ativos com atividade inseticida, para combater pragas em diferentes culturas (NASCIMENTO et al., 2022).

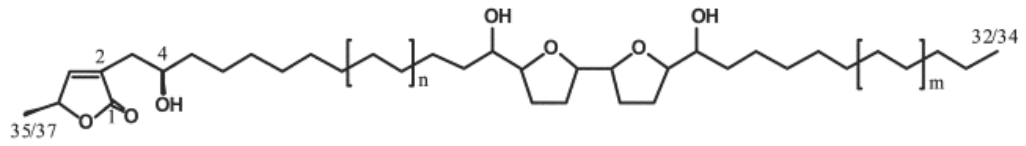
Devido à perda de eficiência de muitos inseticidas químicos, além dos resíduos que causam risco à saúde dos organismos vivos, matando os inimigos naturais da praga, se usado indiscriminadamente, pode causar perigo real ao ser humano (BIBI et al., 2022; SIDAURUK et al., 2022). Estudos são fundamentais na descoberta para utilização no controle de pragas e são matéria-prima para o desenvolvimento de novos inseticidas botânicos (ALVES et al., 2022).

Com o objetivo de realizar novas alternativas para o manejo integrado de insetos-praga com uso de ingredientes ativos de plantas ou para detectar fontes de potenciais inseticidas botânicos (RIBEIRO et al., 2013; ANSANTE et al., 2015; LIMA et al., 2022). Os inseticidas botânicos disponíveis comercialmente são formulados a partir de componentes do metabolismo secundário da planta, e eles podem promover

toxicidade aguda (letalidade) (LIMA et al., 2022) e causar redução da ingestão alimentar, diminuição do peso larval e pupal, aumento do estágio larval e redução fertilidade (GONÇALVES et al, 2022; MARTINS et al, 2022; ZAWADNEAK et al, 2022). Os inseticidas botânicos no controle de pragas apresentam muitas vantagens em relação aos inseticidas sintéticos, como baixa persistência, degradação mais rápida no meio ambiente, rápido controle de pragas e baixa toxicidade aos inimigos naturais (ALVES et al., 2022; MARTINS et al., 2022; SIDAURUK et al., 2022)., não sendo tóxico para humanos e animais de estimação (SIDAURUK et al., 2022).

As espécies de Annonaceae tem alto potencial como inseticida botânico e são usadas como fonte para novos compostos botânicos (SOARES et al., 2021a; KRINSKI et al., 2014). As plantas desta família podem conter alcalóides, compostos fenólicos, óleos essenciais, flavonóides e terpenos, bem como as acetogeninas (ACGs), que possuem bioatividade contra várias pragas agrícolas (MACIEL et al, 2020). As ACGs são consideradas uma classes de compostos derivados de ácidos graxos de cadeia longa (C-32/C-34) combinado a uma unidade de 2-propanol e subunidade de γ -lactona (Figura 3) (ALALI et al., 1999; BERMEJO et al., 2005) e atuam com capacidade para inibir do complexo I (NADH-ubiquinona oxidoreductase) na cadeia de transporte de elétrons mitocondrial, interferindo na taxas respiratórias e cardíacas, atuando como inseticidas, causando a morte destes organismos por falta da disponibilidade de energia na célula (TOMO et al., 1999). Plantas desta família, devido a variedade de atividade biológica, acumulam em abundância ACGs, presentes em folhas, galhos e em maior quantidade em sementes (CASTILLO-SÁNCHEZ, et al., 2010). Os metabólitos fazem parte da composição química das plantas, sendo os metabólitos primários imprescindíveis, presentes para o desenvolvimento da planta, enquanto que os metabólitos secundários são como proteção aos microrganismos e insetos e encontrado principalmente nas sementes do fruto, contudo uma alternativa promissora no controle de insetos (KRINSKI et al., 2014; RIBEIRO et al., 2020; SOARES et al., 2021b). Também podemos considerar que para a produção do inseticida botânico, as sementes que apresentam maior quantidade de ACGs, podem servir como alternativa ecológica para os resíduos gerados a partir da matéria-prima dos frutos (RIBEIRO et al., 2016; RIBEIRO et al., 2020).

FIGURA GERAL 3. Estrutura geral de acetogeninas.



FONTE: BERMEJO et al., (2005)

3 CAPÍTULO I - *Annona* (ANNONACEAE) DERIVADOS DE SUBPRODUTOS: TOXICIDADE PARA A LAGARTA-DA-COROA E AVALIAÇÃO HISTOLÓGICA

Annona (Annonaceae) by-products derivatives: toxicity to the European pepper moth and histological assessment¹

Rodrimar Barboza Gonçalves^a, Mireli Trombin de Souza^a, Michele Trombin de Souza^b, Daniel Bernardi^b, Leandro do Padro Ribeiro^c, Ida Chapaval Pimentel^a, Maria Aparecida Cassilha Zawadneak^{a*}

^a Departamento de Patologia Básica, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Caixa Postal 19031, CEP 81531-980, Curitiba, Paraná, Brasil

^b Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Caixa Postal 354, CEP 96010-900, Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil

^c Centro de Pesquisa da Agricultura Familiar, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (CEPAF/EPAGRI), Caixa Postal 791, CEP 89801-970, Chapecó, Santa Catarina, Brasil

¹ Artigo publicado na revista Crop Protection, v.155, n.105937, 2022

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105937>

RESUMO

A obtenção de derivados com propriedades inseticidas a partir de biomassa vegetal abundante (resíduos), representam uma boa oportunidade para transformar problemas ambientais em soluções inovadoras para programas de manejo de pragas. No presente estudo, avaliou-se a toxicidade das emulsões aquosas do extrato etanólico das sementes de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) sobre a lagarta-da-coroa *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae), uma importante praga do morangueiro. Além disso, avaliamos os efeitos anti-alimentares e inibidor do desenvolvimento, bem como danos macro e microscópicos aos sistemas excretor e nervoso de larvas da lagarta-da-coroa. No bioensaio de contato, a emulsão aquosa do extrato de *A. mucosa* proporcionou uma ação mais rápida sobre larvas com TL_{50} de 6,10 h, seguidos por clorfenapir (Pirate[®]) (TL_{50} = 8,2 h) e emulsão aquosa do extrato de *A. sylvatica* (TL_{50} = 10,3 h). Em contrapartida, o bioinseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom[®] 1 EC) apresentou maior TL_{50} (32,8 h). Além dos efeitos letais, as emulsões aquosas testadas causaram significativa fagodeterrência (>90%) e inibiram o desenvolvimento de *D. fovealis*. A observação macroscópica revelou a presença de edemas, bem como o escurecimento da superfície da cutícula das larvas. As análises histológicas detectaram alterações, bem como o escurecimento da superfície da cutícula das larvas. Nossos resultados sugerem que emulsões aquosas produzidas a partir do extrato etanólico de sementes de *A. mucosa* e *A. sylvatica*, resíduo em complexos industriais de processamento de frutas (polparias), são alternativas para o manejo de *D. fovealis*, principalmente em sistemas de produção de morango orgânico e/ou ecológica.

Palavras-chave: *Annona mucosa*. *Annona sylvatica*. Acetogenina. *Duponchelia fovealis*. Manejo sustentável de pragas. Resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

Obtaining derivatives with insecticidal properties from abundant plant biomass (waste) represents a good opportunity to transform environmental problems into innovative solutions for pest management programs. In the present study, we evaluated the toxicity of the aqueous emulsions of the ethanolic extract of *Annona mucosa* and *Annona sylvatica* (Annonaceae) seeds on the European pepper moth *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae), a major pest of strawberry plants. In addition, we evaluated anti-feeding and developmental inhibitory effects, as well as macro and microscopic damage to the excretory and nervous systems of European pepper moth larvae. In the contact bioassay, the aqueous emulsion of *A. mucosa* extract provided the fastest action on larvae with LT_{50} of 6.10 h, followed by chlorfenapyr (Pirate[®]) (LT_{50} = 8.2 h) and the aqueous emulsion of the *A. sylvatica* extract (LT_{50} = 10.3 h). In contrast, the commercial bioinsecticide based on acetogenins (Anosom[®] 1 EC) had a higher LT_{50} (32.8 h). In addition to the lethal effects, the aqueous emulsions tested caused significant phagodeterrence (>90%) and inhibited the development of *D. fovealis*. Macroscopic observation revealed the presence of edemas as well as the darkening on the surface of the larvae's cuticle. Histological analyses detected alterations. Our results suggest that aqueous emulsions produced from ethanolic extract of *A. mucosa* and *A. sylvatica* seeds, a residue in fruit processing industrial complexes (pulp factories), are alternatives for the management of *D. fovealis*, especially in organic and/or ecological strawberry production systems.

Keywords: *Annona mucosa*. *Annona sylvatica*. Acetogenins. *Duponchelia fovealis*.

Sustainable pest management. Agro-industrial wastes.

3.1 INTRODUÇÃO

A lagarta-da-coroa *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae) é um microlepidóptero polífago relatado em 70 plantas hospedeiras (ZAWADNEAK et al., 2015). Este inseto é originário da região do Mediterrâneo e das Ilhas Canárias, que dispersou para diferentes regiões da África, Ásia, Europa e América (CABI 2021). Este fato ocorreu, provavelmente, por meio da importação de plantas ornamentais infestadas (BONSIGNORE; VACANTE, 2010). Em morangueiros, a espécie já foi detectada na França e Itália (BONSIGNORE; VACANTE 2010), Portugal (FRANCO; BAPTISTA 2010), Turquia (EFIL et al., 2014), Brasil (ZAWADNEAK et al., 2016; PAES et al., 2018; MENEZES et al., 2019) e México (CRUZ-ESTEBAN; ROJAS, 2021).

A lagarta-da-coroa foi reportada no Brasil em 2010 (ZAWADNEAK et al., 2011). Posteriormente, se espalhou por diferentes áreas produtoras de morangos do país (FORNAZIER et al., 2011; SOUZA et al., 2013; MENEZES et al., 2019), causando danos significativos aos cultivos (ZAWADNEAK et al., 2015). As larvas da espécie apresentam hábito críptico, ao se alojar em locais da planta onde ficam protegidas, consumindo preferencialmente as folhas basais (MENEZES et al., 2019). Ao broquear a coroa da planta, possibilita a entrada de patógenos e acarretando a morte prematura de plantas quando em altas infestações (ZAWADNEAK et al., 2016). O controle químico é adotado em caráter emergencial, mediante o uso dos inseticidas acetamipride, clorfenapir, indoxacarbe, principalmente, lambda-cialotrina + clorantraniliprole (SANTOS et al., 2019). Entretanto, uma das grandes preocupações do setor produtivo de morangos é que a maioria desses inseticidas possui ingredientes ativos não registrados no país para uso em morangueiro ou manejo da lagarta-da-coroa (AGROFIT 2021). Portanto, resíduos de produtos não permitidos podem estar presentes nos frutos no momento da colheita, causando efeitos adversos à saúde de produtores e consumidores, assim como causar desequilíbrios ambientais pelos efeitos adversos sobre inimigos naturais. Este efeito adverso sobre os inimigos naturais é especialmente sobre parasitoides de ovos do gênero *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (RODRIGUES et al., 2017; ALANO et al., 2021), utilizados como agentes de controle biológico da lagarta-da-coroa. Frente a tais inconvenientes, mudanças têm sido requeridas na concepção e na adoção de estratégias de manejo da cultura, buscando a utilização de práticas mais seguras,

sustentáveis e ecologicamente corretas para o controle de pragas incidentes em sistemas agrícolas (SUMA et al., 2009; ISMAN 2017; LI et al., 2017). Além disso, há a eminente necessidade de alternativas que se enquadrem aos princípios do Manejo Integrado de Pragas (MIP) e às normas dos Programas de Certificação da Produção Orgânica (AMOABENG et al., 2019; RIBEIRO et al., 2020).

Dada às distintas características de biodegradabilidade e reduzida persistência no ambiente e sobre os produtos e/ou superfícies tratadas, os inseticidas botânicos constituem em uma promissora alternativa para os programas de MIP, especialmente em sistemas de produção de base orgânica e/ou ecológica. No entanto, um número bastante limitado de produtos formulados tem sido disponibilizado no mercado brasileiro e de outros Países, apesar do grande número de estudos prospectivos realizados (ISMAN; GRIENEISEN, 2014). Entre as razões dessa escassez de matéria-prima que contenham compostos com propriedades inseticidas; como resultado, encarece os produtos finais e dificulta a produção em maior escala.

Os resíduos das indústrias de processamento de frutas têm sido avaliados como potenciais fontes de biomassa para desenvolvimento de inseticidas botânicos e representam uma oportunidade de transformar problemas ambientais em soluções ambientalmente mais adequadas para a agricultura (CARVALHO et al., 2021). Dentro deste contexto, destacam-se os resíduos (sementes) das agroindústrias de processamento de frutos de *Annona* (RIBEIRO et al., 2020). *Annona* é um gênero de plantas de Annonaceae reconhecido por biossintetizar e acumular uma grande quantidade de acetogeninas (ACGs) estruturalmente diversificadas em suas sementes e com propriedades inseticidas relatadas sobre diferentes artrópodes-praga (RIBEIRO et al., 2014a; RIBEIRO et al., 2014b; ANSANTE et al., 2015, SOUZA et al., 2019, BERNARDI et al., 2017; GEISLER et al., 2019; MIOTO et al., 2020; STUPP et al., 2020a; 2020b). As ACGs compreendem compostos orgânicos (C-35 / C-37) derivados de ácidos graxos de cadeia longa (C-32 / C-34) conectados com uma unidade de 2-propanol (ALALI et al., 1999). Elas atuam na inibição do complexo I (NADH: ubiquinona oxidoreductase) do sistema de transporte de elétrons mitocondrial, induzindo a morte celular programada (apoptose) ao impedir a produção de ATP (TORMO et al., 1999). Além da toxicidade letal, as ACGs foram identificadas como causadores de danos no epitélio do intestino médio e às células digestivas das larvas de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae), diminuindo a expressão de genes associados

ao transporte e absorção de nutrientes (COSTA et al., 2016). Estudos também mostraram que derivados ricos em ACG afetaram a alimentação, desenvolvimento e os parâmetros biológicos de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) (RIBEIRO et al., 2015), *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (RIBEIRO et al., 2016), *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) (BERNARDI et al., 2017) e *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (SOUZA et al., 2019). No entanto, até o momento, nenhum estudo avaliou o potencial uso de derivados ricos em ACG no manejo de *D. fovealis*, uma das principais espécies de pragas na cultura do morango, com poucas alternativas eficazes de manejo.

Frente a isso, o presente trabalho teve como objetivo (i) avaliar a toxicidade e a inibição alimentar das larvas da lagarta-da-coroa quando submetidas a alimentação de folhas de morangueiro contaminadas com extratos etanólicos de *Annona mucosa* Jacq. e *Annona sylvatica* A.St.-Hil, que são duas espécies de Annonaceae nativas da América do Sul e amplamente cultivadas no Brasil; (ii) determinar os parâmetros biológicos da lagarta-da-coroa quando as larvas foram submetidas a concentrações subletais desses derivados durante a fase larval, e (iii) caracterizar os danos macro e microscópios no sistema excretor e nervoso em larvas da lagarta-da-coroa.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Criação e manutenção da lagarta-da-coroa

As larvas de *Duponchelia fovealis* utilizadas nos bioensaios foram retiradas de uma população de laboratório estabelecida a partir de larvas e adultos coletados em 2010 em cultivo orgânico de morangueiro 'Camino Real' em São José do Pinhais, Paraná, Brasil (25°37'S, 49°04'E, altitude 900 m), com a introdução de insetos coletados do campo, no mínimo uma vez por ano. No laboratório, os insetos foram criados seguindo os protocolos de ZAWADNEAK et al., (2017) sob condições controladas (25 ± 2 °C temperatura, 60 ± 10% umidade relativa, e 14 h de fotofase). As larvas foram alimentadas com dieta artificial descrita por Greene et al., (1976), e os adultos foram alimentados com uma solução nutritiva impregnada em algodão hidrofílico (0,5 g de metilparabeno, 0,5 g de ácido sórbico, 30,0 g de açúcar, 10 mL de mel, 170 mL de cerveja e 500 mL de água destilada).

3.2.2 Obtenção e preparação de extratos e procedimento de formulação

As sementes de *A. mucosa* e *A. sylvatica* foram coletadas de frutos maduros provenientes de árvores cultivadas em Piracicaba, São Paulo, Brasil (22°42'28.5" S, 47°37'59.6" W, altitude 534 m) e Erval Seco, Rio Grande do Sul, Brasil (27°25'41.8" S, 53°34'11.2" W, altitude 466 m), respectivamente. Exsiccatas dos espécimes foram identificadas pelo Prof. Renato Mello-Silva (Departamento de Botânica, Instituto de Biociências/USP). Elas foram depositadas no Herbário da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) em Piracicaba, São Paulo, Brasil, sob os códigos ESA 120985 (*A. mucosa*) e ESA 121205 (*A. sylvatica*).

Primeiramente, as sementes foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 38 °C por 72 h e, em seguida trituradas em moinho de facas até a obtenção de pó fino. O pó foi armazenado em frascos herméticos e mantido sob refrigeração até sua utilização. Os extratos etanólicos foram preparados por maceração a frio em solvente etanólico grau análise (99,5%) na proporção de 5:1 (v:v), por um período de três dias, seguido de filtragem em papel filtro. A torta remanescente foi novamente submetida ao solvente, sendo este processo repetido por três vezes. O solvente remanescente nas amostras filtradas foi eliminado em rotaevaporador a 50 °C e pressão de -600 mmHg.

Para utilização nos bioensaios, pré-formulações do tipo emulsões aquosas foram preparadas. Para isso, os extratos foram solubilizados em acetona: metanol (1:1, v:v) (100 g L⁻¹) com a adição do emulsionante Tween[®] 80 em uma concentração de 10 g L⁻¹.

3.2.3 Bioensaios

Pré-testes foram realizados para estimar a concentração letal para matar 50% (CL₅₀) e 90% (CL₉₀) das larvas expostas à concentração máxima de 10000 g L⁻¹ dos extratos de *A. mucosa* e *A. sylvatica*. Soluções foram obtidas por meio de diluições seriadas de emulsões aquosas (acetona: metanol, 1:1, vv⁻¹): 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 e 10000 g L⁻¹. Estes tratamentos também foram comparados com bioinseticida comercial à base de ACG [Anosom[®] 1 EC (AgriLife SOM Phytopharma Ltda., Hyderabad, Andhra Pradesh State, Índia)] que contém extratos das sementes

de *Annona squamosa* L. e *Annona reticulata* L. (annonin, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 e 10000 mg L⁻¹) como ingrediente ativo primário. Como comparativo de inseticida sintético empregou-se o ingrediente ativo clorfenapirr (240 g L⁻¹) [Pirate[®] (BASF SA, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil)], usado a dose recomendada para a broca-do-morangueiro *Lobiopa insularis* (Coleoptera: Nitidulidae) (0,025, 0,0334, 0,0446, 0,1057, 0,1409, 0,1879, 0,250 g L⁻¹). Além dos tratamentos, o solvente orgânico [acetona: metanol (1:1, vv⁻¹)], utilizado na preparação das emulsões aquosas, e a água destilada foram adicionados como controles negativos.

Todos os bioensaios foram realizados em condições laboratoriais controladas (temperatura 25 ± 2 °C, umidade relativa 60 ± 10% e fotofase 14 h), sob delineamento inteiramente casualizado.

3.2.3.1 Curvas de concentração-resposta e tempo letal médio

A toxicidade dos extratos etanólicos de *Annona* spp. em larvas da lagarta-da-coroa foram avaliados pelo método de contato sobre o inseto (tópico e residual). Para isto, as unidades amostrais foram constituídas por folhas de morangueiro 'Camino Real' acondicionadas em placas de Petri (5,1 cm de diâmetro × 1,1 cm de altura). A extremidade do pecíolo foi recoberta com algodão umedecido em água destilada para manter a turgidez das folhas. Larvas de quarto instar da lagarta-da-coroa ($n = 5$) foram transferidas com pincel ponta fina (nº 02) para o interior de cada unidade amostral, onde realizou a aplicação dos tratamentos. As soluções (2 mL) foram pulverizadas em Potter Tower (Burkard Scientific, Uxbridge, UK) a uma pressão de trabalho de 0,049 Mpa, resultando em uma deposição média de resíduos de 1,0 mg cm⁻². Após a pulverização, as unidades experimentais foram fechadas com papel Parafilm M[®] para permitir as trocas gasosas e evitar o excesso de umidade proveniente da transpiração das folhas.

Para determinar a curva da concentração-resposta sete concentrações (variou: 4000-10000 mg L⁻¹ para *A. mucosa* e *A. sylvatica* e para o inseticida botânico Anosom[®]1 EC; faixa de 0,025-0,250 g L⁻¹ foi utilizada na curva de concentração-resposta para o inseticida à base de clorfenapir (Pirate[®]). Para cada concentração testada, foram utilizadas 20 repetições com cinco larvas ($n = 100$). A mortalidade foi avaliada em intervalos de 1 h nas primeiras 24 h após a exposição aos tratamentos,

e a cada 24 h entre 24 e 72 h. As larvas que não se moviam com o estímulo de um pincel foram consideradas mortas. A mortalidade corrigida foi calculada usando a fórmula de ABBOTT (1925).

A análise do tempo necessário para matar 50% da população de lagarta-da-coroa (TL₅₀) foi estimada nas concentrações de 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 e 10000 mg L⁻¹ para emulsões aquosas de *A. mucosa*, *A. sylvatica* e para o inseticida botânico à base de ACGs (Anosom[®] 1EC). Para o inseticida à base de clorfenapir (Pirate[®]) foram utilizadas concentrações de 0,025, 0,0334, 0,0446, 0,1057, 0,1409, 0,1879, 0,250 g L⁻¹. O delineamento e os procedimentos experimentais dos bioensaios foram idênticos aos usados para estimar CLs.

3.2.3.2 Efeitos anti-alimentar de sementes de extratos de *Annona* sobre a lagarta-da-coroa

Folhas de morangueiro 'Camino Real' foram coletadas de plantas sadias elavadas em água corrente para a retirada de possíveis impurezas. Em seguida, procedeu-se as folhas foram colocadas em papel toalha para a secagem em temperatura ambiente (25 ± 5 °C). Em seguida, as folhas foram pesadas em balança analítica APX-200 (Denver Instrument, United States of America) e acondicionadas individualmente em placa de Petri (5,1 cm de diâmetro × 1,1 cm de altura), sendo a extremidade do pecíolo encoberta com algodão umedecido em água destilada. Larvas de quatro instar da lagarta-da-coroa, desprovidas de alimentação por 6 h, foram pesadas (mg) em balança analítica antes do início do bioensaio. Após, as larvas foram transferidas com auxílio de um pincel ponta fina (nº 02) para o interior da placa de Petri (1 larva por placa), que havia sido tratada em Potter Tower (Burkard Scientific, Uxbridge, UK) a uma pressão de trabalho de 0,049 Mpa, resultando em uma deposição média de resíduos de 1,0 mg cm⁻². Para tanto foram utilizados os valores das CL₅₀ que foram estimados para cada produto. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com vinte larvas por tratamento ($n = 20$), sendo cada larva considerada uma repetição. Após 24, 48 e 72 h de exposição, foram determinados o peso larval (mg), peso da massa foliar do morangueiro consumida (mg). Para cada tempo de avaliação, foi avaliado relative consumption rate (RCR), the growth rate (GR) e a food utilization rate (UR) de acordo com a metodologia proposta por

(WALDBAUER et al., 1968; SHEA; ROMEO et al., 1991; ÁLVAREZ-COLOM et al., 2007):

$$RCR = D/Bt$$

$$GR = (A - B)/Bt$$

$$UR = D/At$$

onde:

D = Alimentos consumidos durante o período experimental (mg)

B = Peso larval inicial (mg)

A = Peso larval final (mg)

t = período experimental (24, 48 e 72h)

3.2.3.3 Parâmetros biológicos após a exposição de extratos de sementes de *Annona*

Duante os testes, larvas de quatro instar da lagarta-da-coroa foram expostas a aplicação de 1,0 µg dos extratos na região do protórax com auxílio de uma micropipeta monocal Plus (0,2 – 1,0 µg) (Kasvi, Brasil). A concentração de cada tratamento consistiu na CL₅₀ previamente estimada. Posteriormente, as larvas foram acondicionadas em placa de Petri (5,1 cm de diâmetro × 1,1 cm de altura) (cinco larvas por placa) e alimentadas com folhas de morangueiros ‘Camino Real’ livres de contaminantes e fechadas com papel Parafilm M® e alimentadas com folhas de morangueiro ‘Camino Real’ sem contaminantes. As larvas foram alimentadas com folhas de morangueiro *ad libitum* (1 folha por placa) até a pupação. A reposição das folhas foi realizada em intervalo de três dias ou quando necessárias em menores tempos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 20 repetições por concentração, com cinco larvas por repetição ($n = 100$). Os parâmetros biológicos avaliados foram: viabilidade larval (%), período do quarto e quinto instar larval (dias), período pupal (dias) e peso pupal (mg) com 48 h de idade conforme descritos por ZAWADNEAK et al., (2017).

3.2.3.4 Histopatologia larval

Larvas da lagarta-da-coroa foram expostas a aplicação de 1,0 µg das formulações aquosas de extratos etanólicos de sementes de *A. mucosa* e *A. sylvatica*

na região do protórax (com base nos valores da CL_{50}). Após 2 h, as larvas foram fixadas em formalina neutra tamponada a 10% em 40 °C por 30 min. Posteriormente, as larvas foram transferidas com pincel ponta fina (nº 02) para o interior de cassetes histológicos que passaram por três banhos em álcool 70% de 30 min para remoção da solução fixadora, e desidratadas em uma série alcoólica crescente (70% a 100%) por 45 min em cada concentração. Em seguida, as larvas foram diafanizadas em xilol por 10 min e transferidas para parafina de embebição (*overnight*) e incluídas em parafina histológica, a fim de alcançar a permeação dos tecidos estudados. Dois cortes longitudinais foram incluídos em parafina e a larva foi seccionado em série (4 μ m de espessura) e corado com hematoxilina-eosina. Após a montagem das lâminas com Permount® as secções histológicas foram analisadas e as anomalias documentadas com auxílio de microscópio óptico Stemi 508 (Carl Zeiss, Germany; 10, 20 ou 50 x aumentos). As estruturas larvais estudadas incluem cutícula, cérebro e corpo gordo. No total, 30 larvas da lagarta-da-coroa foram avaliadas para cada tratamento (n = 60 lâminas), sendo cada lâmina considerada uma repetição. Para controle, larvas expostas a solventes usados para preparar emulsões aquosas (acetona:metanol) foram usados (n = 30 lâminas).

3.2.4 Análise dos dados

Modelos lineares generalizados da família exponencial de distribuições (NELDER; WEDDERBUM, 1972) foram usados para analisar as variáveis estudadas. A verificação do ajuste de qualidade foi realizada através do gráfico semi-regular com envelope de simulação (HINDE; DEMETRIO, 1998). Quando foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, foram realizadas comparações múltiplas (teste post-hoc de Tukey, $p < 0,05$) utilizando a função *glht* no pacote *Multcomp*, com ajuste de p -valor. Todas essas análises foram realizadas utilizando o software estatístico R versão 2.15.1 (R Development Core Team, 2012).

O modelo binomial com uma função de ligação log-log complementar (modelo *gompit*) foi usado para estimar as concentrações letais (CL_{50}) usando o Procedimento de *Probit* no pacote de software estatístico SAS versão 9.2 (SAS Institute, 2011). Por fim, o tempo letal médio (TL_{50}) foi estimado de acordo com THRONE et al. (1995).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Curvas de concentração-resposta e tempo letal médio

De maneira dependente da concentração, a emulsão aquosa do extrato etanólico da semente de *A. mucosa* foi o tratamento mais promissor ($CL_{50} = 7.054,90 \text{ mg L}^{-1}$) dos derivados botânicos testados (Tabela 1) após 72 h de exposição. Este tratamento apresentou um nível de atividade superior à emulsão aquosa do extrato de semente de *A. sylvatica* ($CL_{50} = 8.910,33 \text{ mg L}^{-1}$) e do inseticida botânico à base de ACGs (Anosom[®] 1 EC, $CL_{50} = 9.715,32 \text{ mg L}^{-1}$) ao comparar os intervalos de confiança dos valores ajustados (IC 95%). Por outro lado, o inseticida sintético à base de clorfenapir (Pirate[®]) foi o tratamento com a menor mediana de CL ($CL_{50} = 0,11 \text{ g L}^{-1}$).

A emulsão aquosa do extrato etanólico de *A. mucosa* resultou em um tempo letal mais rápido para as larvas da lagarta-da-coroa (TL_{50} de 6,10 h [IC: 5,89–6,25]) do que o observado com o inseticida Pirate[®] ($TL_{50} = 8,2 \text{ h}$ [IC: 7,4–8,6 h]) e a emulsão aquosa do extrato etanólico da semente de *A. sylvatica* ($TL_{50} = 10,3 \text{ h}$ [IC: 9,75–10,8 h]) (Tabela 2). Os maiores valores foram observados em larvas da lagarta-da-coroa expostas a Anosom[®] 1 EC ($TL_{50} = 32,8 \text{ h}$ [IC: 30,1–34,3 h]) (Tabela 2).

TABELA 1. Estimativa da CL_{50} ($mg L^{-1}$), bem como o intervalo de confiança (IC 95%), das emulsões aquosas dos extratos etanólicos das sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e dos inseticidas comerciais à base de acetogeninas (Anosom[®]) e clorfenapir (Pirate[®]) para larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis*, após 72 h de exposição.

Tratamentos	n^a	Coefficiente Angular	CL_{50} (IC 95%) ^b	χ^2^c
EES <i>Annona mucosa</i>	900	3,22 ± 0,86	7.054,90 (6.652,10–7.432,11) b	4,7
EES <i>Annona sylvatica</i>	900	4,10 ± 0,11	8.910,33 (8.200,45–9.687,01) c	7,1
Anosom [®] 1 EC	900	3,01 ± 0,35	9.715,32 (9.544,10–10.411,03) c	6,1
Pirate [®]	900	4,07 ± 0,24	0,11 (0,08–0,13) a	6,8

± EP: Erro padrão da média.

As médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente (teste de Tukey, $P > 0,05$).

^aNúmero de insetos por tratamento.

^bConcentração letal necessária para causar 50% de mortalidade das larvas.

^cQui-quadrado significativo ($P < 0,05$).

FONTE: GONÇALVES et al., (2022).

TABELA 2. Tempo letal médio (TL₅₀, em horas) e intervalo de confiança das emulsões aquosas dos extratos etanólicos das sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e do inseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom[®]) e clorfenapir (Pirate[®]) sobre larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* usando a concentração de CL₅₀.

Tratamentos	Coefficiente Angular	TL ₅₀ (IC 95%) ^a	χ ^{2b}
EES <i>Annona mucosa</i>	3,75 ± 0,34	6,10 (5,89 – 6,25) a	25
EES <i>Annona sylvatica</i>	3,89 ± 0,25	10,3 (9,75 – 10,8) c	25
Anosom [®] 1 EC	3,97 ± 0,32	32,8 (30,1 – 34,3) d	25
Pirate [®]	3,75 ± 0,78	8,2 (7,4 – 8,6) b	25

As médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente (teste de Tukey, P > 0,05).

^aTempo letal (em horas) necessária para causar 50% de mortalidade das larvas; IC 95% = intervalo de confiança.

^c Qui-quadrado significativo (P < 0,05).

FONTE: GONÇALVES et al., (2022).

3.3.2 Efeitos anti-alimentares e parâmetros biológicos após exposição a extratos das sementes de *Annona*

Larvas da lagarta-da-coroa alimentadas com folhas de morangueiro tratadas com a emulsão aquosa de extrato etanólico de sementes de *A. sylvatica* apresentaram significativamente um menor consumo foliar ($F_{(5,594)} = 20,12$; $p < 0,001$), a taxa de crescimento larval GR ($F_{(5,594)} = 17,21$; $p < 0,001$), taxa relativa de consumo RCR ($F_{(5,594)} = 7,11$; $p < 0,001$) e a taxa de utilização do alimento UR ($F_{(5,594)} = 8,14$; $p < 0,001$) quando comparado com os demais tratamentos (Tabela 3). Além disso, as larvas expostas à emulsão aquosa do extrato etanólico da semente de *A. sylvatica* apresentaram um maior período larval (15 dias) ($F_{(5,594)} = 11,28$; $p < 0,0001$), menor viabilidade larval (32%) ($F_{(5,256)} = 20,44$; $p < 0,0001$), maior período pupal (10,7 dias) ($F_{(5,594)} = 8,90$; $p < 0,0001$) e menor peso pupal (10,8 mg) ($F_{(5,256)} = 16,79$; $p < 0,0001$) em relação aos demais tratamentos (Tabela 4).

TABELA 3. Média (\pm EP) de consume foliar (mg), growth rate (GR), relative consumption rate (RCR) e food utilization rate (UR) após 72 h de exposição de larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* em emulsões aquosas dos extratos etanólicos das sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e inseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom® 1 EC) e clorfenapir (Pirate®), na CL₅₀, previamente estimada.

Tratamentos	Teste de concentração (=CL ₅₀)	Consumo foliar (mg)	Growth rate (GR)	Relative consumption rate (RCR)	Food utilization rate (UR)
EES <i>Annona mucosa</i>	7.054,90	75,9 \pm 5,69 c	0,00147 \pm 0,0008 c	1,00 \pm 0,06 b	0,99 \pm 0,06 b
EES <i>Annona sylvatica</i>	8.910,33	4,3 \pm 0,77 d	0,00028 \pm 0,0001 d	0,04 \pm 0,01 d	0,04 \pm 0,01 d
Anosom® 1 EC	9.715,32	60,7 \pm 4,69 c	0,00248 \pm 0,0004 b	0,74 \pm 0,05 c	0,73 \pm 0,05 c
Pirate®	0,11	115,5 \pm 2,27 b	0,00129 \pm 0,0002 c	1,39 \pm 0,06 b	1,38 \pm 0,06 b
Controle negativo [acetona: metanol, 1:1 (v:v)]		390,4 \pm 15,43 a	0,00673 \pm 0,0007 a	5,06 \pm 0,33 a	5,01 \pm 0,33 a
Controle negativo (água destilada)		370,8 \pm 11,54 a	0,00609 \pm 0,0009 a	4,02 \pm 0,16 a	3,98 \pm 0,16 a
F		20,12	17,21	7,11	8,14
d.f.		5,594	5,594	5,594	5,594
P-valor		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (GLM com distribuição quasi-binomial seguida pelo teste *post hoc* de Tukey, $p > 0,05$).

FONTE: GONÇALVES et al., (2022).

TABELA 4. Efeitos inibitórios do crescimento (média \pm EP) nos períodos larval e pupal de *Duponchelia fovealis* expostos a emulsões aquosas dos extratos etanólicos de sementes (EES) de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (Annonaceae) e inseticida comercial à base de acetogeninas (Anosom[®] 1 EC) e clorfenapir (Pirate[®]), na CL₅₀, previamente estimada.

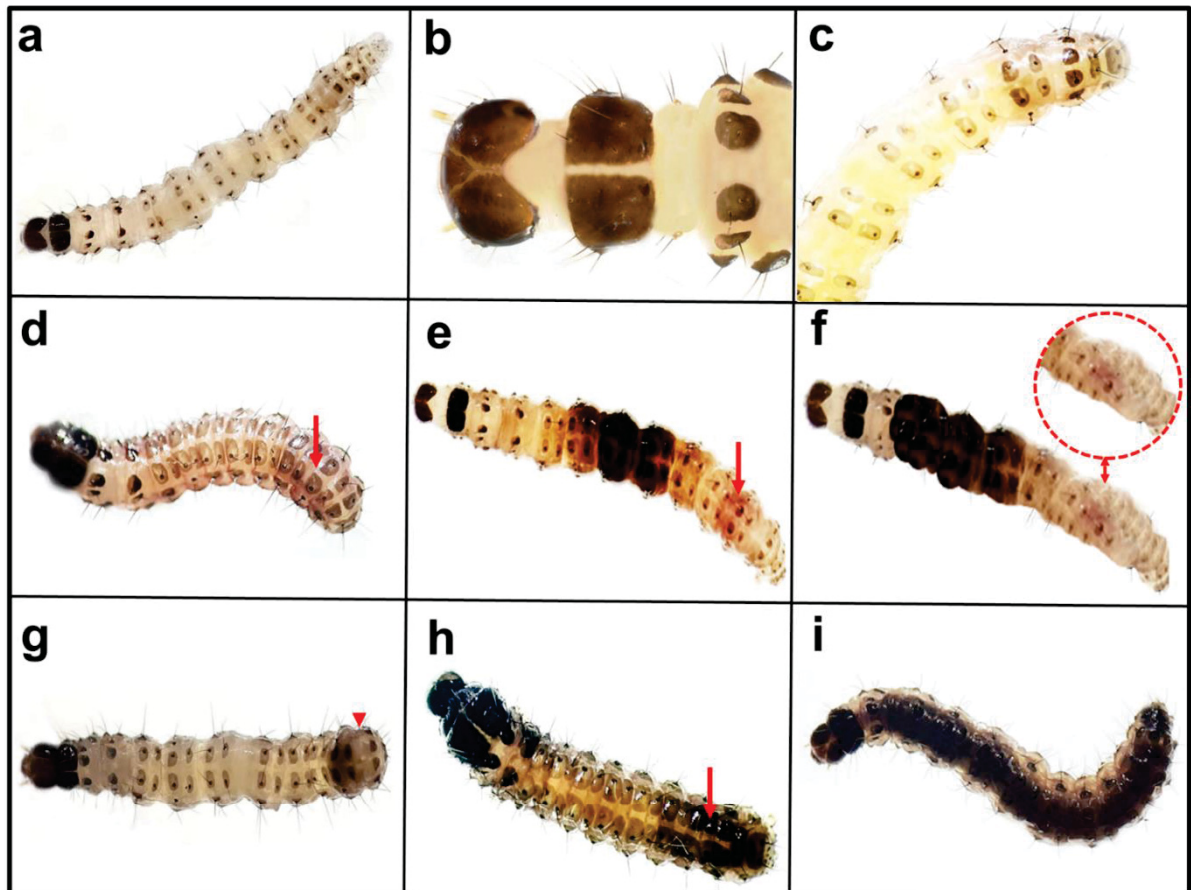
Tratamentos	Período larval ^a (dias)	Viabilidade larval (%)	Período pupal (dias)	24h peso pupal (mg)
EES <i>Annona mucosa</i>	12,9 \pm 0,19 b	51,0 \pm 3,69 b	8,2 \pm 0,16 b	23,6 \pm 0,72 b
EES <i>Annona sylvatica</i>	15,0 \pm 0,20 a	32,0 \pm 3,04 c	10,7 \pm 0,27 a	10,8 \pm 1,11 c
Anosom [®] 1 EC	13,1 \pm 0,16 b	48,0 \pm 2,24 b	9,0 \pm 0,15 b	23,5 \pm 1,64 b
Pirate [®]	13,7 \pm 0,21 b	47,0 \pm 3,33 b	8,7 \pm 0,16 b	26,9 \pm 0,79 b
Controle negativo [acetona: metanol, 1:1 (v:v)]	12,8 \pm 0,17 b	95,0 \pm 1,98 a	8,0 \pm 0,16 b	31,1 \pm 0,72 a
Controle negativo (água destilada)	13,4 \pm 0,15 b	96,0 \pm 2,33 a	8,6 \pm 0,19 b	31,5 \pm 0,88 a
F	11,28	20,44	8,90	16,79
d.f.	5,594	5,256	5,256	5,256
P-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (GLM com distribuição quasi-binomial seguida pelo teste *post hoc* de Tukey, $p > 0,05$).

^aAvaliado no quarto e quinto instar larval de *Duponchelia fovealis*.

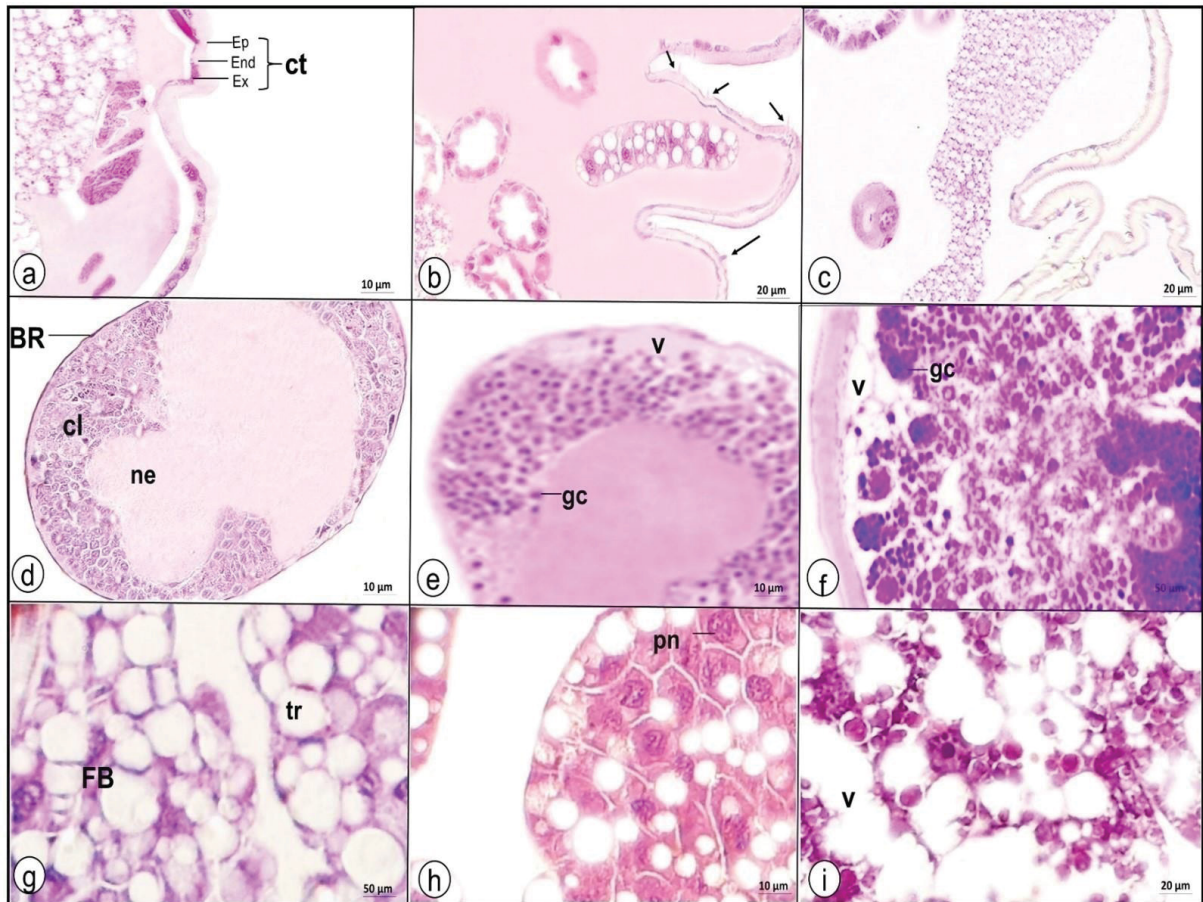
FONTE: GONÇALVES et al., (2022).

FIGURA 1. Danos macroscópicos em larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* tratadas com emulsões aquosas dos extratos etanólicos de sementes de *Annona mucosa* e *Annona sylvatica* (40x). a,b,c) Nenhuma mudança de cor ou deformidade foi observada em *D. fovealis* após 2 h de exposição (controle negativo). d-e) Dermatite (setas) nas cutículas tratadas com as emulsões do extrato de *A. mucosa* e de *A. sylvatica*, respectivamente. f) Deformações e enrugamento do abdome (círculo) evidenciado no tratamento com a emulsão aquosa de *A. mucosa*. g) Edema (ponta da seta) após a exposição à emulsão aquosa do extrato de *A. mucosa*. h-i) escurecimento na superfície da cutícula após a exposição a emulsão aquosa do extrato de *A. sylvatica* e de *A. mucosa*, respectivamente.



FONTE: GONÇALVES et al., (2022)

FIGURA 2. Danos microscópicos em larvas de quarto instar de *Duponchelia fovealis* tratadas com emulsões aquosas dos extratos etanólicos de sementes de *Annona mucosa* e de *Annona sylvatica*. a) Controle – Não foram observadas alterações morfológicas na cutícula (ct), observe as camadas cuticulares intactas e bem definidas (Ep-epicutícula, Ex-exocutícula, e End-endocutícula). b-c) Intensa descamação e projeção cuticular em insetos expostos a emulsões aquosas do extrato de *A. sylvatica* e *A. mucosa*, respectivamente; d) Controle - Cérebro (BR) com neurópilos normais (ne) e camadas corticais intactas (cl). e-f) granulação citoplasmática das células glias (gc) no cérebro de *D. fovealis*, bem como vacuolização na camada cortical (v) para ambas emulsões aquosas testadas. g) Controle - Corpo gordo (FB) com trofócitos homogêneos e delimitados (tr). h-i) núcleos picnóticos (pn) e vacuolização dos trofócitos (v) do corpo gordo em larvas de *D. fovealis* também foram visualizados em ambos os tratamentos.



FONTE: GONÇALVES et al., (2022).

3.4 DISCUSSÃO

O presente estudo relatou o potencial efeito tóxico (letal e subletal) e o emulsões aquosas do extrato etanólico das sementes de duas espécies neotropicais de *Annona* exercem sobre a lagarta-da-coroa. Tais achados tornam os resíduos agroindustriais representados por tais sementes uma fonte potencial para a produção de inseticidas botânicos que visam o manejo integrado dessa importante praga da cultura do morango no Brasil e em outras regiões produtoras (ZAWADNEAK et al., 2016). O nível de atividade das formulações à base de extratos de *A. mucosa* e *A. sylvatica* sobre larvas da lagarta-da-coroa foi, em alguns casos, superior ao de um inseticida botânico comercial da Índia, que contém ACGs (Anosom[®] 1 EC) e semelhante ao nível de atividade de um inseticida sintético à base de clorfenapir (Pirate[®]), ambos utilizados como controles positivos. Nossos resultados reforçam o potencial de *Annona* spp. como fonte de moléculas inseticidas contra Lepidopteros *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) (LEATEMIA; ISMAN, 2004), *Leucinodes orbonalis* Guenée (Pyralidae) (ASHADUL et al., 2014), e *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) (BRITO et al., 2020) desfolhadores de culturas hortícolas.

No presente estudo, os extratos de emulsão aquosa da semente de *A. mucosa*, causou a maior toxicidade ($CL_{50} = 7.054,90 \text{ mg L}^{-1}$) em larvas da lagarta-da-coroa em comparação com os extratos de emulsão o de *A. sylvatica* ($CL_{50} = 8.910,33 \text{ mg L}^{-1}$), alcançando ~90% de mortalidade nas maiores concentrações testadas. Verificamos também que o extrato formulado de *A. mucosa* apresentou ação mais rápida (~1,7 vezes) que a emulsão do extrato de *A. sylvatica* no bioensaio de contato, o que garante uma proteção rápida das culturas em questão. Nosso estudo foi corroborado por outros trabalhos que mostram que formulações de *A. mucosa* apresentaram maior atividade do que o derivado de *A. sylvatica* contra outras pragas de artrópodes (BERNARDI et al., 2017; GEISLER et al., 2019; MIOTTO et al., 2020; STUPP et al., 2020b). Essa alta toxicidade dos derivados de *A. mucosa* contra as larvas da largarta-da-coroa pode ser atribuída aos anéis de tetrahydrofurano (THF) dos ACGs presentes em sua composição, uma vez que o principal ACG desse derivado é abis-THF roll iniastatina-1 (SOUZA et al., 2019; RIBEIRO et al., 2020). Números de anéis de THF na cadeia é determinante na toxicidade das larvas tratadas com ACGs, onde o bis-THF pode ser duas vezes mais forte do que o mono-THF (BLESSING et

al., 2010). Além disso, interações complexas entre ACGs e outras classes de compostos presentes em derivados brutos, como alcalóides e triglicerídeos, têm sido relatadas como tendo uma ação sinérgica em extratos brutos de *A. mucosa* (RIBEIRO et al., 2014a; ANSANTE et al., 2015), promovendo o aumento da eficácia das formulações.

Inseticidas botânicos contendo ACGs podem ser usados no manejo das larvas da lagarta-da-coroa em rotação com outras moléculas sintéticas disponíveis, especialmente neurotoxinas, e podem, portanto, retardar significativamente o surgimento de populações resistentes (BERNARDI et al., 2017; GEISLER et al., 2019), que é um problema agrícola crescente enfrentado em todo o mundo. Atualmente, não há evidências que sugiram que a lagarta-da-coroa seja resistente a moléculas de inseticidas. No entanto, existe uma preocupação quanto à seleção de populações resistentes desta praga (SANTOS et al., 2019) dada a capacidade de dispersão da praga (CABI, 2021) devido às frequentes aplicações de inseticidas que atuam como agonistas da acetilcolina (SANTOS et al., 2019; ALANO et al., 2021). Também observamos que a emulsão aquosa do extrato etanólico da semente de *A. sylvatica* causou efeitos subletais pronunciados. As larvas da lagarta-da-coroa expostas ao CL₅₀ apresentaram redução no consumo de folhas (>90%). Provavelmente as ACGs reduzem o consumo de alimentos pelos insetos devido à toxicidade pós-ingestão, que afeta a fisiologia do sistema digestivo ou mesmo as enzimas relacionadas (ISMAN, 2002). Da mesma forma, larvas da lagarta-da-coroa intoxicadas com derivados de *A. sylvatica* podem não se alimentar bem, pois demonstramos que esta formulação forneceu baixos valores de GR, RCR e UR, o que resultou em redução na eficiência de conversão alimentar.

Além da significativa dissuasão alimentar observada, a emulsão aquosa de *A. sylvatica* aumentou a duração dos estágios larval e pupal da lagarta-da-coroa, bem como reduziu a viabilidade larval e o peso das pupas sobreviventes. Esses efeitos podem estar relacionados com a redução na eficiência de conversão alimentar causada por ACGs (RIBEIRO et al., 2016; SOUZA et al., 2019) e com as respostas sensoriais de quimiorreceptores no aparelho bucal de insetos (LUNTZ e NISBET, 2000), ambos fatores que resultam na morte das células digestivas (FIAZ et al., 2018). O efeito de derivados ricos em ACG no desenvolvimento de artrópodes-praga também foi relatado em estudos anteriores (RIBEIRO et al., 2015, 2016; SOUZA et al., 2019).

Nossos achados mostraram que *A. mucosa* e *A. sylvatica* induz alterações macroscópicas em larvas da lagarta-da-coroa, incluindo dermatite, enrugamento do protórax, edema, e escurecimento na superfície da cutícula. Observações semelhantes foram encontradas para malformações larvais produzidas por ACGs mono-THF (BLESSING et al., 2010) e bis-THF (ÁLVAREZ COLOM et al., 2007) em *S. frugiperda*. Também evidenciamos uma redução da motilidade larval, possivelmente em decorrência da privação de energia ocasionada pela inibição do transporte de elétrons mitocondrial afetado pelas ACGs (TORMO et al., 1999; BERMEJO et al., 2005). Como as lesões histológicas dos derivados de Annonaceae focaram no trato digestivo dos insetos (COSTA et al., 2012; COSTA et al., 2016; FIAZ et al., 2018), usamos estruturas da cutícula, cérebro e corpo gordo para registrar os efeitos toxicológicos da aplicação por contato sobre lagarta-da-coroa. Assim, a cutícula das larvas de lagarta-da-coroa expostas aos formulados de *A. mucosa* e *A. sylvatica* exibiram intensa descamação e projeção cuticular. Isso sugere que o efeito histológico relatado por nós pode estar relacionado ao anel THF da ACG, que interage com o grupo fosfato da membrana plasmática lipídica (BOMBASARO et al., 2011), interferindo na primeira linha de defesa dos artrópodes contra agentes xenobióticos (ALBERTI; COONS, 1999). Adicionalmente, notamos a granulação citoplasmática das células gliais nos cérebros de lagarta-da-coroa, bem como a degeneração vacuolar na camada cortical. Esses distúrbios fisiológicos causados pelas formulações em larvas de lagarta-da-coroa sugerem uma possível ocorrência de morte celular (HARIRI et al., 2020), consistindo na autodestruição das células em fragmentos menores e altamente condensados (SOUZA et al., 2021), como sugerido para alguns inseticidas neurotóxicos (DERBRÉ et al., 2008; SOUZA et al., 2021). Alterações picnóticas e vacuolização do citoplasma do corpo gordo em larvas de lagarta-da-coroa podem ser devidas ao mecanismo de desintoxicação dos produtos (ROSSI et al., 2013; SOUZA et al., 2021) e uma sinalização da autofagia das células (ROST-ROSZKOWSKA et al., 2012; SANTOS et al., 2015). Processo autofágico é comum no *turnover* do citoplasma celular (MIR et al., 2015) e na morte celular programada (SOUZA et al., 2021), no qual o corpo realiza a limpeza de toxinas e recicla componentes celulares danificados (GOMES et al., 2013). Este processo foi observado em larvas de *A. aegypti* (COSTA et al., 2016) e células cancerosas (OBERLIES et al., 1997) tratadas com ACGs. Do mesmo modo, os núcleos picnóticos podem comprometer o material genético dos

insetos ao deixar a cromatina extremamente condensada, levando à morte celular, conforme demonstrados (COSTA et al., 2016; FIAZ et al., 2018).

Considerando a alta toxicidade dos derivados de *A. mucosa* e *A. sylvatica* contra larvas da lagarta-da-coroa, bem como os danos histológicos que infligiram em órgãos-alvo, concluímos que essas formulações podem ser alternativas promissoras para o manejo dessa importante espécie-praga no Brasil e em outros lugares em que ocorrem. Além disso, nossos resultados indicam o potencial uso de resíduos agroindustriais dessas duas espécies de *Annona* na produção de inseticidas botânicos, uma vez que tais derivados são facilmente obtidos (tanto em termos de processo quanto de escala) e contêm biomassa abundante, especialmente de resíduos de polparias. Além disso, formulações à base desses derivados podem ser utilizadas em sistemas de cultivo orgânico e/ou ecológico de morango, onde existem restrições significativas quanto ao uso de compostos sintéticos. No entanto, são necessários mais estudos para avaliar os efeitos toxicológicos desses derivados em organismos não-alvo e realizar testes em condições de semi-campo e campo para analisar sua eficácia em condições de cultivo e sua degradabilidade e interação com o meio ambiente.

FINANCIAMENTO

Os autores agradecem a Agência Federal Brasileira de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de parte do projeto de pesquisa Processo nº 438021/2018–5, coordenado por Ida Chapaval Pimentel, e pelo apoio financeiro e bolsas concedidas Código 001 [Processo 304018/2019–8 (Daniel Bernardi) e 305377/2019–1 (Leandro Prado Ribeiro)].

RECONHECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal do Paraná (UFPR), à Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (CEPAF/EPAGRI) pelo suporte técnico. Agradecemos também a equipe do Laboratório de Entomologia Prof. Ângelo Moreira da Costa Lima (UFPR) e Bioagro Comercial.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT WS A method of computing the effectiveness of on insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p.265-267, 1925. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>>.
- AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários 2021. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. 2021. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons > Acesso em: 17 ago. 2021.
- ALALI, F.Q.; LIU, X.X.; MCLAUGHLIN, J.L. Annonaceous Acetogenins: Recent Progress. **Journal of Natural Products**, v.62, p.504-540, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/np980406d>>.
- ALANO, D.M.; ARAUJO, E.S.; MIRÁS AVALOS, J.M.; CHAPAVAL, P.I.; ZAWADNEAK, M.A.C. Sublethal effects of insecticides used in strawberry on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Spanish Journal Agricultural Research**, v.19, n.e10SC01, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5424/sjar/2021191-17235>>.
- ALBERTI, G.; COONS, L.B. Acari: mites. Integument. In: Harrison FW, Foelix RF (eds) Microscopic anatomy of invertebrates. **Chelicerate Arthropoda**, Hardcover, New York, p.681-714, 1999.
- ÁLVAREZ-COLOM, O.; NESKE, A.; POPICH, S.; BARDÓN, A. Toxic effects of annonaceous acetogenins from *Annona cherimolia* (magnoliales: Annonaceae) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Pest Science**, v.80, p.63-67, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10340-006-0149-2>>.
- AMOABENG, B.W.; JOHNSON, A.C.; GURR, G.M. Natural enemy enhancement and botanical insecticide source: a review of dual use companion plants. **Applied Entomology and Zoology**, v.54, p.1-19, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13355-018-00602-0>>.
- ANSANTE, T.F.; RIBEIRO, L.P.; BICALHO, K.U.; FERNANDES, J.B., SILVA, M.F.G.F, VIEIRA, P.C.; VENDRAMIM, J.D. Secondary metabolites from neotropical Annonaceae: screening, bioguided fractionation, and toxicity to *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Industrial Crops and Products**, v.74, p.969-976, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.058>>.
- ASHADUL, M.I.; HUSSAIN, M.A.; SHAPLA, S.A.; MEHRAJ, H.; UDDIN, A.F.M.J. Plant Extract for the Management of Brinjal Shoot and Fruit Borer (*Leucinodes orbonalis* Guenee). **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v.14, p.1409-1414, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2014.14.12.12476>>.

BERMEJO, A.; FIGADERA, B.; ZAFRA-POLO, M.C.; BARRACHINA, I.; ESTORNELL, E.; CORTES, D. Acetogenins from annonaceae: recent progress in isolation, synthesis and mechanisms of action. **Natural Product Reports**, v.22, p.269-303, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/b500186m>>.

BERNARDI, D.; RIBEIRO, L.P.; ANDREAZZA, F.; NEITZKE, C.; OLIVEIRA, E.E.; BOTTON, M.; NAVA, D.E.; VENDRAMIM, J.D. Potential use of *Annona* by products to control *Drosophila suzukii* and toxicity to its parasitoid *Trichopria anastrephae*. **Industrial Crops and Products**, v.110, p.30-35, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.004>>.

BLESSING, L.D.T.; COLOM, O.Á.; POPICH, S.; NESKE, A.; BARDÓN, A. Antifeedant and toxic effects of acetogenins from *Annona montana* on *Spodoptera frugiperda*. **Journal of Pest Science**, v.83, p.307-310, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10340-010-0299-0>>.

BOMBASARO, J.A.; BLESSING, L.D.T.; DIAZ, S.; NESKE, A.; SUVIRE, F.D.; ENRIZ, R.D.; RODRÍGUEZ, A.M. Theoretical and experimental study of the interactions of Annonaceous acetogenins with artificial lipid bilayers. **Journal of Molecular Structure**, v.1003, p.87-91, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2011.07.035>>.

BONSIGNORE, CP.; VACANTE, V. *Duponchelia fovealis* (Zeller). A new emergency for strawberry? **Protezione delle Colture**, v.3, p.40-43, 2010.

BRITO, E.F.; BALDIN, E.L.L.; GONÇALVES, G.L.P.; GIMENES, L.; FERNANDES, J.B.; RIBEIRO, L.P. Growth inhibition, residual contact and translaminar toxicity of annona-based bioinsecticides on tomato leafminer: laboratory and greenhouse assessments. **Gesunde Pflanzen**, v.72, p.139-154, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10343-019-00493-3>>.

CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International) *Duponchelia fovealis* (Southern European marshland pyralid). 2021. Disponível em: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/20168>> Acesso em: 17 ago. 2021.

CARVALHO, S.S., RIBEIRO, L.P., FORIM, M.R., SILVA, M.F.G.F., BICALHO, K.U., FERNANDES, J.B., VENDRAMIM, J.D. Avocado kernels, an industrial residue: a source of compounds with insecticidal activity against silverleaf whitefly. **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, p.2260-2268, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10675-6>>.

COSTA, M.; PINHEIRO, D.; SERRÃO, J.; PEREIRA, M.J.B. Morphological changes in the midgut of *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) larvae following exposure to an *Annona coriacea* (Magnoliales: Annonaceae) extract. **Neotropical Entomology**, v.41, p.311–314, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13744-012-0050-z>>.

CRUZ-ESTEBAN, S. AND ROJAS, J.C. Pheromone-baited traps confirm the presence of *Duponchelia fovealis* in strawberry crops in Mexico. **Southwest Entomol**, v.46, p.533-536, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3958/059.046.0224>>.

DERBRÉ, S.; GIL, S.; TAVERNA, M.; BOURSIER, C.; NICOLAS, V.; DEMEY-THOMAS, E.; VINH, J.; SUSIN, S.A.; HOCQUEMILLER, R.; POUPON, E. Highly cytotoxic and neurotoxic acetogenins of the Annonaceae: new putative biological targets of squamocin detected by activity-based protein profiling. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v.18, p.5741-5744, 2008. Disponível em: <[https://doi:10.1016/j.bmcl.2008.09.091](https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2008.09.091)>.

EFIL, L.; ÖZGÜR, O.; EFIL, F. A new pest, *Duponchelia fovealis* Zeller, on strawberries in Turkey - damage, distribution and parazitoid. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v.2, p.328-334, 2014.

FAIZ, M.; MARTÍNEZ, L.C.; COSTA, M.D.S.; COSSOLIN, J.F.S.; PLATA-RUEDA, A.; GONÇALVES, W.G.; SANT'ANA, A.E.G.; ZANUNCIO, J.C.; SERRÃO, J.E. Squamocin induce histological and ultrastructural changes in the midgut cells of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.156, p.1-8, 2018. Disponível em: <[https://doi:10.1016/j.ecoenv.2018.02.080](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.080)>.

FORNAZIER, M.J.; PRATISSOLI, D.; MARTINS, D.S.; DALVI, L.P.; TEIXEIRA, C.P.; TADEU, A.S.; THOMPSON, E.L.; RODRIGUES, A.K.; COZER, E.; PEREIRA, J.P.A.; BECALLI, L.; PAES, J.P.P.; TIBURCIO, M.O. Praga exótica no Estado do Espírito Santo: *Duponchelia fovealis* Zeller, 1847 (Lepidoptera: Crambidae). **Incaper**. Doc v.198, n.4, 2011.

FRANCO, M.C.; BAPTISTA, M.C. *Duponchelia fovealis* Zeller: nova praga em Portugal. **Frutas Legumes Flores**, v.110, p.34-35, 2010.

GEISLER, F.C.S.; MARTINS, L.N.; TREPTOW, R.C.B.; BARONIO, C.A.; STUPP, P.; RIBEIRO, L.P.; GARCIA, F.R.M.; BERNARDI, D. Laboratory and field assessments of lethal and sublethal toxicities of acetogenin-based formulated bioinsecticides against *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.79, p.501-511, 2019. Disponível em: <<http://doi.org/10.4067/S0718-58392019000400501>>.

GOMES, F.M.; CARVALHO, D.B.; MACHADO, E.A.; MIRANDA, K. Ultrastructural and functional analysis of secretory goblet cells in the midgut of the lepidopteran *Anticarsia gemmatalis*. **Cell and Tissue Research**, v.352, p.313-326, 2013. Disponível em: <[https://doi:10.1007/s00441-013-1563-4](https://doi.org/10.1007/s00441-013-1563-4)>.

GREENE, G.L.; LEPLA, N.C.; DICKERSON, W.A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v.69, p.487-488, 1976. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jee/69.4.487>>.

HARIRI, M.; MILLANE, G.; GUIMOND, M.P.; GUAY, G.; DENNIS, J.W.; NABI, I.R. Biogenesis of multilamellar bodies via autophagy. **Molecular Biology of the Cell**, v.11, p.255-268, 2000. Disponível em: <[https://doi:10.1091/mbc.11.1.255](https://doi.org/10.1091/mbc.11.1.255)>.

HINDE, J.; DEMÉTRIO, C.G.B. Overdispersion: Models and estimation. **Computacional Statistics & Data Analysis**, v.27, p.151-170, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(98)00007-3)>.

ISMAN, M.B. Insect antifeedants. **Pestic. Outlook**, v.13, p.152-157, 2002.

ISMAN, M.B. Bridging the gap: moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. **Industrial Crops and Products** v.110, p.10-14, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.012>>.

ISMAN, M.B.; GRIENEISEN, M.L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, v.19, p.140-145, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>.

LEATEMIA, J.A.; ISMAN, M.B. Efficacy of crude seed extracts of *Annona squamosa* against diamondback moth, *Plutella xylostella* L. in the greenhouse. **International Journal of Pest Management**, v.50, p.129-133, 2004. Disponível em: <<https://doi:10.1080/096708704100001691821>>.

LI, H.; CHENG, F.; WEI, Y.; LYDY, M.J.; YOU, J. Global occurrence of pyrethroid insecticides in sediment and the associated toxicological effects on benthic invertebrates: an overview. **Journal of Hazardous Materials**, v.324, p.258-271, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.10.056>>.

LUNTZ, M.A.J.; NISBET, A.J. Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against the insects. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.29, p.615-632, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0301-80592000000400001>>.

MENEZES, C.W.G.; HUMBERTO, B.S.; SHILAP, A.V.M; CARVALHO, G.A.; TAVARES, W.S.; PEREIRA, A.I.A.; ZANUNCIO, J.C. First record of *Duponchelia fovealis* (Crambidae) as a pest of commercial crops of strawberry in Campo das Vertentes, Minas Gerais, Brazil. **The Journal of the Lepidopterists' Society**, v.73, p.131-134, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.18473/lepi.73i2.a8>>.

MIOTTO, J.; DUARTE, A.F.; BERNARDI, D.; RIBEIRO, L.P.; ANDREAZZA, F.; CUNHA, U.S. Toxicities of acetogenin-based bioacaricides against two-spotted spider mite and selectivity to its phytoseiid predators. **Experimental and Applied Acarology**, v.81, p.173-187, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10493-020-00501-6>>.

MIR, S.U.; GEORGE, N.M.; ZAHOR, L.; HARMS, R.; GUINN, Z.; SARVETNICK, N.E. Inhibition of autophagic turnover in β -cells by fatty acids and glucose leads to apoptotic cell death. **Journal of Biological Chemistry**, v.290, p.6071-6085, 2015. Disponível em: <<https://doi:10.1074/jbc.M114.605345>>.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.135, p.370-384, 1972. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.2307/2344614>>.

OBERLIES, N.H.; CROY, V.L.; HARRISON, M.L.; MCLAUGHLIN, J.L. The Annonaceous acetogenin bullatacin is cytotoxic against multidrug-resistant human mammary adenocarcinoma cells. **Cancer Letters**, v.115, p.73-79, 1997. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-3835\(97\)04716-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3835(97)04716-2)>.

PAES, J.P.P.; LIMA, V.L.S.; PRATISSOLI, D., CARVALHO, J.R.; PIROVANI, V.D.; BUENO, R.C.O.F. Thermal requirements, development and number of generations of *Duponchelia fovealis* (Zeller) (Lepidoptera: Crambidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, p.2447-2457, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/0001-3765201820160891>>.

R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing R Foundation for Statistical Computing, 2012.

RIBEIRO, L.P.; AKHTAR, Y.; VENDRAMIM, J.D.; ISMAN, J.D. Comparative bioactivity of selected seed extracts from Brazilian *Annona* species and an acetogenin-based commercial bioinsecticide against *Trichoplusia ni* and *Myzus persicae*. **Crop Protection**, v.62, p.100-106, 2014a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.04.013>>.

RIBEIRO, L.P.; ZANARDI, O.Z.; VENDRAMIM, J.D.; YAMAMOTO, P.T. Comparative toxicity of an acetogenin-based extract and commercial pesticides against citrus red mite. **Experimental and Applied Acarology**, v.64, p.87-98, 2014b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10493-014-9810-2>>.

RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; VENDRAMIM, J.D. Effect of ethanolic extract from *Annona mucosa* seeds on development and feeding behavior of *Spodoptera frugiperda*. **Bragantia**, v.75, n.3, p.322-330, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.473>>.

RIBEIRO, L.P.; DOMINGUES, V.C.; GONCALVES, G.L.P.; FERNANDES, J.B.; GLORIA, E.M.; VENDRAMIM, J.D. Essential oil from *Duguetia lanceolata* St.-Hil. (Annonaceae): a simple mixture of bioactive compounds with simultaneous action on stored-grain deterioration agents. **Food Bioscience**, v.36, n.100653, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100653>>.

RIBEIRO, L.P.; SANTOS, M.S.; GONÇALVES, G.L.P.; VENDRAMIM, J.D. Toxicity of an acetogenin-Based bioinsecticide against *Diaphorina citri* (Homoptera: Liviidae) and its parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). **Florida Entomologist**, v.98, p.835-842, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1653/024.098.0304>>.

RODRIGUES, R.; JARAS, L.I.; POLTRONIERI, A.S.; PIMENTEL, I.C.; ZAWADNEAK, M.A.C. Selectivity of growth regulators and botanical insecticides in the parasitism of three *Trichogramma* species on eggs of *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae). **EntomoBrasilis**, v.10, p.26-32, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v10i1.666>>.

ROSSI, C.A.; ROAT, T.C.; TAVARES, D.A.; CINTRA-SOCOLOWSKI, P.; MALASPINA, O. Effects of sublethal doses of imidacloprid in malpighian tubules of africanized *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). **Microscopy Research & Technique**, v.76, p.552-558, 2013. Disponível em: <[https://doi: 10.1002/jemt.22199](https://doi.org/10.1002/jemt.22199)>.

ROST-ROSZKOWSKA, M.M.; VILIMOVA, J.; SOSINKA, A.; SKUDLIK, J.; FRANZETTI, E. The role of autophagy in the midgut epithelium of *Eubbranchipus grubii* (Crustacea, Branchiopoda, Anostraca). **Arthropod Structure & Development**, v.41, p.271-279, 2012. Disponível em: <[https://doi: 10.1016/j.asd.2012.01.001](https://doi.org/10.1016/j.asd.2012.01.001)>.

SANTOS, F.M.; CARVALHO, J.R.; PRATISSOLI, D.; BUENO, R.C.; PIROVANI, V.D.; RODRIGUES, H.S. Toxicity of Insecticides in *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae), a new strawberry pest in Brazil under laboratory conditions. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.39, p.1-7, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v39i530344>>.

SAS Institute. Statistical Analysis System: Getting Started with the SAS Learning, 2 ed, v.9. SAS Institute, Carry. 2011.

SHEA, C.H.S.; ROMEO, J.T. Nutritional indices: do they explain toxicity of *Calliandra* amino acids. **The Florida Entomologist**, v.74, p.10-17, 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/3495235>>.

SOUZA, M.T.; DE SOUZA, M.T.; BERNARDI, D.; MELO, D.J.; ZARBIN, P.H.G.; ZAWADNEAK, M.A.C. Insecticidal and oviposition deterrent effects of essential oils of *Baccharis* spp. and histological assessment against *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Scientific Repeports**, v.11, n.3944, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-83557-7>>.

SOUZA, C.M.; BALDIN, E.L.L.; RIBEIRO, L.P.; SANTOS, T.L.B.; SILVA, I.F.; MORANDO, R.; VENDRAMIM, J.D. Antifeedant and growth inhibitory effects of Annonaceae derivatives on *Helicoverpa armigera* (Hübner). **Crop Protection**, v.121, p.45-50, 2019. Disponível em: <[https://doi:10.1016/j.cropro.2019.03.008](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.03.008)>.

SOUZA, J.C.; SILVA, R.A.; SILVEIRA, E.C.; ABREU, F.A.; TOLEDO, M.A. Ocorrência de nova praga nas lavouras de morango no Sul de Minas. **Epamig**, Circular Técnica, v.180, p.1-5, 2013.

STUPP, P.; RAKES, M.; OLIVEIRA, D.C.; MARTINS, L.N.; GEISLER, F.C.S.; RIBEIRO, L.P.; BERNARDI, D. Acetogenin-based formulated bioinsecticides on *Anastrepha fraterculus*: Toxicity and potential use in insecticidal toxic baits. **Neotropical Entomology**, v.49, p.292-301, 2020a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13744-019-00747-9>>.

STUPP, P.; RAKES, M.; MARTINS, L.N.; PIOVESAN, B.; COSTA, O.D.; CONTRERAS, M.J.A.; RIBEIRO, P.L.; NAVA, D.E.; BERNARDI, D. Lethal and sublethal toxicities of acetogenin-based bioinsecticides on *Ceratitis capitata* and the parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata*. **Phytoparasitica**, v.48, p.477-489, 2020b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12600-020-00801-y>>.

SUMA, P.; ZAPPALÀ, L.; MAZZEO, G.; SISCARO, G. Lethal and sub-lethal effects of insecticides on natural enemies of citrus scale pests. **Bio Control**, v.54, p.651-661, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10526-009-9215-z>>.

THRONE, J.E.; WEAVER, D.K.; CHEW, V.B.; JAMES, E. Probit analysis of correlated data: Multiple observations over time at one concentration. **Journal of Economic Entomology**, v.88, p.1510-1512, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jee/88.5.1510>>.

TORMO, J.R.; GALLARDO, T.; GONZALEZ, M.C.; BERMEJO, A.; CABEDO, N.; ANDREU, I.; ESTORNELL, E. Annonaceous acetogenins as inhibitors of mitochondrial complex I. *Current Topics in Phytochemistry*, v.2, p.69–90, 1999.

WALDBAUER, G.P. The consumption and utilization of food by insects. **Advances in Insect Physiology**, v.5, p.229-288, 1968. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1)>.

ZAWADNEAK, M.A.C.; GONÇALVES, R.B.; KUHN, T.M.A.; ARAUJO, E.; DOLCI, E.M.; SANTOS, B.; SILVA, C.; BENATTO, A.; VIDAL, H. Novo desafio: *Duponchelia fovealis*. **Revista Cultivar HF**, v.6, p.30-32, 2011.

ZAWADNEAK, M.A.C.; GONÇALVES, R.B.; PIMENTEL, I.C.; SCHUBER, J.M.; SANTOS, B.; POLTRONIERI, A.S.; SOLIS, M.A. First record of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) in South America. **Idesia**, v.34, p.91-95, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300011>>.

ZAWADNEAK, M.A.C.; GONÇALVES, R.B.; POLTRONIERI, A.S.; SANTOS, B.; BISCHOFF, A.M.; BORBA, A.M.; PIMENTEL, I.C. Biological parameters of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) reared in the laboratory on two diets. **European Journal of Entomology**, v.114, p.291-294, 2017. Disponível em: <<https://doi:10.14411/eje.2017.035>>.

ZAWADNEAK, M.A.C.; VIDAL, H.R.; SANTOS, B. Lagarta-da-coroa, *Duponchelia fovealis*. Vilela EF and Zucchi RA (Eds.), *Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros*, **FEALQ**, Piracicaba, p.280-298, 2015.

4 CONCLUSÃO GERAL

Com base nos resultados dos bioensaios e nas condições pré-estabelecidas, conclui-se que:

- Os derivados dos extratos etanólicos das sementes de *A. mucosa* e *A. sylvatica* são considerados de alta toxicidade sobre a larvas de *D. fovealis*, bem como seus danos histológicos em órgãos-alvo que obtiveram alterações macroscópicas e microscópicas no inseto.

- As formulações constituem uma importante ferramenta como alternativas promissoras para o manejo dessa importante praga no Brasil e em outros locais onde ocorre.

- Os resíduos agroindustriais disponível dessas duas espécies de *Annona* pode contribuir significativamente para melhoria da economia e viabilizando esses resíduos ao meio-ambiente, indicando potencial para o desenvolvimento de inseticidas botânicos

- As formulações à base desses derivados podem ser utilizadas em sistemas de cultivo orgânico e/ou ecológico de morango, onde há grandes restrições ao uso de compostos sintéticos.

- Há necessidade de mais estudos para avaliar os efeitos toxicológicos desses derivados em organismos não-alvo e realizar testes em condições de semi-campo e campo para analisar sua eficácia em condições de cultivo e sua degradabilidade e interação com o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários 2022. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. 2022. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons > Acesso em: 17 maio 2022.
- ALALI, F.Q.; Liu, X.X.; MCLAUGHLIN, J.L. Annonaceous Acetogenins: Recent Progress. **Journal of Natural Products**, v.62, n.3, p.504-540, 1999. Disponível em <<https://doi.org/10.1021/np980406d>>. Acesso em: 10 maio 2022.
- ALVES, A.C.L.; SILVA, T.I.; BATISTA, J.L.; GALVÃO, J.C.C. Insecticidal activity of essential oils on *Spodoptera frugiperda* and selectivity to *Euborellia annulipes*. **Brazilian Journal of Biology**, v.84, n.e260522, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1519-6984.260522>>. Acesso em: 10 maio 2022.
- AMATUZZI, R.F.; POITEVIN, C.G.; POLTRONIERI, A.S.; ZAWADNEAK, M.A.C.; PIMENTEL, I.C. Susceptibility of *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae) to soil-borne entomopathogenic fungi. **Insects** v.9, p.70, 2018a. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/insects9020070>>.
- AMATUZZI, R.F.; CARDOSO, N.; POLTRONIERI, A.S.; POITEVIN, C.G.; DALZOTO, P.; ZAWADNEAK, M.A.C.; PIMENTEL, I.C. Potential of endophytic fungi as biocontrol agents of *Duponchelia fovealis* (Zeller) (Lepidoptera: Crambidae). **Brazilian Journal of Biology**, v.78, n.3, p.429-435, 2018b.
- ANSANTE, T.F.; RIBEIRO, L.P.; BICALHO, K.U.; FERNANDES, J.B., SILVA, M.F.G.F, VIEIRA, P.C.; VENDRAMIM, J.D. Secondary metabolites from neotropical Annonaceae: screening, bioguided fractionation, and toxicity to *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Industrial Crops and Products**, v.74, p.969-976, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.058>>. Acesso em: 10 maio 2022.
- ANTUNES, L.A.C.; BONOW, S. Morango produção aumenta ano a ano. **Campo & Negócio**, Anuário HF, p.87-90, 2021 Disponível em:< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222342/1/Antunes-Anuario-HF-2021-pag-87.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2022.
- ATAIDE, J.O. Óleos essenciais no manejo de *Duponchelia fovealis* Zeller, 1847 (Lepidoptera: Crambidae). 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/7593/1/tese_9646_Julielson%20Oliveira%20Ataide.pdf>. Acesso em: 22 maio 2022.

BERMEJO, A.; FIGADÈRE, B.; ZAFRA-POLO, M.C.; BARRACHINA, I.; ESTORNELL, E.; CORTES, D. Acetogenins from Annonaceae: recent progress in isolation, synthesis and mechanisms of action. **Natural Products Reports**, v.22, n.2, p.269-303, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/b500186m>>. Acesso em: 20 maio 2022.

BERNARDI, D.; RIBEIRO, L.P.; ANDREAZZA, F.; NEITZKE, C.; OLIVEIRA, E.E.; BOTTON, M.; NAVA, D.E.; VENDRAMIM, J.D. Potential use of *Annona* by products to control *Drosophila suzukii* and toxicity to its parasitoid *Trichopria anastrephae*. **Industrial Crops and Products**, v.110, p.30-35, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.004>>.

BIBI, R.; MUHAMMAD, R.T.; SAMIR, A.M.A.; MUNAWWER, R. Insecticidal potential of botanicals from red seaweeds against stored grain pests, rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) and Cowpea Weevil (*Callosobruchus maculatus* Fab.). **Pakistan Journal of Zoology**, v.54, n.4, p.1657-1664, 2022. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20190819070846>>. Acesso em: 20 maio 2022.

BONSIGNORE, C.P.; VACANTE, V. *Duponchelia fovealis* (Zeller). A new emergency for strawberry? **Protezione delle Colture**, v.3, p.40-43, 2010.

BRAMBILA, J.; STOCKS, I. The European pepper moth, *Duponchelia fovealis* (Zeller) (Lepidoptera: Crambidae), a Mediterranean pest moth discovered in central Florida. **FDACS – Division of Plant Industry**, Florida, 2010.

CABI, 2022 (Centre for Agriculture and Biosciences International) *Duponchelia fovealis* (Southern European marshland pyralid). Disponível em: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/20168>> Acesso em: 30 maio 2022.

CAMARGO, L.K.P.; PILATI L.; ZCHONSKI, F.L.; RESENDE, J.T.V.; DA-SILVA, P.R. Genetic diversity of Brazilian farmers-made strawberry genotypes and their relationship with commercial cultivars. **Genetics Resources and Crop Evolution Journal**, v.69 p.1879-1888, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10722-022-01350-5>>. Acesso em: 20 maio 2022.

CASTILLO-SÁNCHEZ, L. H. C.; JIMÉNEZOSORNIO, J. J.; DELGADO-HERRERA, M. A. Secondary metabolites of the Annonaceae, Solanaceae and Meliaceae families used as biological control of insects. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.12, n.3, p.445-462, 2010.

CASTRO, B.M.C.; MARTÍNEZ, L.C.; PLATA-RUEDA, A.; SOARES, M.A.; WILCKEN, C. F.; VINHA ZANUNCIO, A. J.; SERRÃO, J.E. Exposure to chlorantraniliprole reduces locomotion, respiration, and causes histological changes in the midgut of velvetbean caterpillar *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemosphere**, v.263, n.128008, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128008>>. Acesso em: 20 maio 2022.

- COSTA, S.M.; PAULA, S.O.; MARTINS, G.F.; ZANUNCIO, J.C.; SANTANA, A.E.G.; SERRÃO, J.E. Multiple modes of action of the squamocin in the midgut cells of *Aedes aegypti* larvae. **PLoS One**, v.11, n.e0160928, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160928>>. Acesso em: 18 maio 2022.
- CRUZ-ESTEBAN, S. AND ROJAS, J.C. Pheromone-baited traps confirm the presence of *Duponchelia fovealis* in strawberry crops in Mexico. **Southwest Entomol**, v.46, p.533-536, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3958/059.046.0224>>. Acesso em: 20 maio 2022.
- DIAZ-LARA, A.; STEVENS, K.A.; KLAASSEN, V.; HWANG, M.S.; RWAHNIH, M. Sequencing a strawberry germplasm collection reveals new viral genetic diversity and the basis for new RT-qPCR assays. **Viruses**, v.13, n.1442, 2021. Disponível em: <<http://doi.org/10.3390/v13081442>>. Acesso em 15 maio 2022.
- EFIL, L.; ÖZGÜR, O.; EFIL, F. A new pest, *Duponchelia fovealis* (Zeller), on strawberries in Turkey – damage, distribution and parasitoid. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v.2 n.4, p.328-334, 2014. Disponível em: <<https://www.entomoljournal.com/archives/2014/vol2issue4/PartG/29.pdf>>. Acesso em 15 maio 2022.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 15 maio 2022.
- FRANCO, M.C.; BAPTISTA, M.C. *Duponchelia fovealis* Zeller: nova praga em Portugal. **Frutas Legumes Flores**, v.110, p.34-35, 2010.
- FORNAZIER, M.J.; PRATISSOLI, D.; MARTINS, D.S.; DALVI, L.P.; TEIXEIRA, C.P.; TADEU, A.S.; THOMPSON, E.L.; RODRIGUES, A.K.; COZER, E.; PEREIRA, J.P.A.; BECALLI, L.; PAES, J.P.P.; TIBURCIO, M.O. Praga exótica no Estado do Espírito Santo: *Duponchelia fovealis* (Zeller), 1847 (Lepidoptera: Crambidae). **Incaper**, v.198, n.4, 2011. GEISLER, F.C.S.; MARTINS, L.N.; TREPTOW, R.C.B.; BARONIO, C.A.; STUPP, P.; RIBEIRO, L.P.; GARCIA, F.R.M.; BERNARDI, D. Laboratory and field assessments of lethal and sublethal toxicities of acetogenin-based formulated bioinsecticides against *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.79, p.501-511, 2019. Disponível em: <<http://doi.org/10.4067/S0718-58392019000400501>>. Acesso em: 30 maio 2022.
- GONÇALVES, G.L.P.; RIBEIRO, L.P.; VENDRAMIM, J.D. TOXICITIES OF *Annona* DERIVATIVES AND SEMI-PURIFIED FRACTIONS AGAINST *Zabrotes subfasciatus*, Tropical and Subtropical Agroecosystems, v.24, n.3, 2021. Disponível em: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3184/1687>. Acesso em: 22 maio 2022.
- GONÇALVES, R.B.; SOUZA, M.T.; SOUZA, M.T.; BERNARDI, D.; RIBEIRO, L.P.; PIMENTEL, I.P.; ZAWADNEAK, M.A.C. *Annona* (Annonaceae) by-products derivatives: Toxicity to the European pepper moth and histological assessment. **Crop Protection**, v.155, n.105937, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105937>>. Acesso em: 23 maio 2022.

HUANG, P.; YAO, J.; LIN, Y.; YU, D. Pathogenic characteristics and infection-related genes of *Metarhizium anisopliae* FM-03 infecting *Planococcus lilacinus*.

Entomologia Experimentalis et Applicata, v.169, n.5, p.437-448, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/eea.13036>>. Acesso em: 16 maio 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Agropecuário, 2017. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6954#resultado>> Acesso em: 30 maio 2022.

JURIĆ, S.; VLAHOVIČEK-KAHLINA, K.; DURALIJA, B.; BANDIĆ, L.M.; NEKIĆ, P.; VINCEKOVIĆ, M. Stimulation of plant secondary metabolites synthesis in soilless cultivated strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch) using zinc-alginate microparticles. **Turkish Journal Agriculture and Forestry**, v.45, p.324-334, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3906/tar-2011-68>>. Acesso em: 20 maio 2022.

KRINSKI, D.; MASSAROLI, A. MACHADO, M. Insecticidal potential of the Annonaceae family plants. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, p.225-242, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500027>>. Acesso em: 23 maio 2022.

LIMA, A.F.; RIBEIRO, L.P.; GONÇALVES, G.L.P.; MAIMONE, N.M.; GISSI, D.S.; LIRA, S.P.; VENDRAMIM, J.D. Searching for bioactive compounds from Solanaceae: lethal and sublethal toxicity to *Spodoptera frugiperda* and untargeted metabolomics approaches. **Journal of Pest Science**, v.95, p.1317-1329, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10340-021-01453-5>>. Acesso em: 20 maio 2022.

MACIEL, D.M.S.; TRINDADE, R.C.P.; BASÍLIO JÚNIOR, I.D.; SILVA, E.S.; LEMOS, E.E.P.; ARAÚJO, A.M.N.; SILVA, V.C.; MORAIS, F.E.M.; BREDA, M.O. Lethal and sublethal effects of hexane extract and microencapsulation of *Annona squamosa* L. (Annonaceae) seeds to *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae). **International Journal of Acarology**, v.46, n.2, p.100-107, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01647954.2020.1725625>>. Acesso em: 30 maio 2022.

MARTINS, J.C.; SILVA, E.M.; SILVA, R.S.; FERREIRA, S.R.; PICANÇO, M.C. (2022). Copaiba oil and Neem extract can be a potential alternative for the behavioral control of *Sitophilus zeamais* recordo. **Brazilian Journal of Biology**, v.84, n.e254628, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1519-6984.254628>>. Acesso em: 30 maio 2022.

MENEZES, C.W.G.; HUMBERTO, B.S.; SHILAP, A.V.M; CARVALHO, G.A.; TAVARES, W.S.; PEREIRA, A.I.A.; ZANUNCIO, J.C. First record of *Duponchelia fovealis* (Crambidae) as a pest of commercial crops of strawberry in Campo das Vertentes, Minas Gerais, Brazil. **The Journal of the Lepidopterists' Society**, v.73, p.131-134, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.18473/lepi.73i2.a8>>. Acesso em: 25 maio 2022.

MESSELINK, G.; WENSWEEN, W.V. Biocontrol of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Pyralidae) with soil-dwelling predators in potted plants. *Communication in Agricultural and Applied Biological Sciences*, v. 68, n. 4Pt. A, p. 159-165, 2003.

NASCIMENTO, V.F.; AUAD, A.M.; DE RESENDE, T.T.; VISCONDE, A.J.M.; DIAS, M.L. Insecticidal activity of aqueous extracts of plant origin on *Mahanarva spectabilis* (Distant, 1909) (Hemiptera: Cercopidae). **Agronomy**, v.12, n.4, p.947, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/agronomy12040947>>. Acesso em: 30 maio 2022.

NAVARRO-SILVA, M.A.; MARQUES, F.A.; DUQUE, J.E.L. Review of semiochemicals that mediate the oviposition of mosquitoes: a possible sustainable tool for the control and monitoring of Culicidae. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.53, n.1, p.1-6, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0085-56262009000100002>>. Acesso em: 23 maio 2022.

PAES, J.P.P.; LIMA, V.L.S.; PRATISSOLI, D., CARVALHO, J.R.; PIROVANI, V.D.; BUENO, R.C.O.F. Thermal requirements, development and number of generations of *Duponchelia fovealis* (Zeller) (Lepidoptera: Crambidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, p.2447-2457, 2018a. Disponível em: <<http://doi:10.1590/0001-3765201820160891>>. Acesso em: 22 maio 2022.

PAES, J.P.P.; LIMA, V.L.S.; PRATISSOLI, D.; CARVALHO, J.R.; BUENO, R.C.O.F. Selection of parasitoids of the genus *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and parasitism at different egg ages of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v.40, n.e-42216-s42216, 2018b.

PAES, J.P.P.; LIMA, V.L.S.; CARVALHO, J.R.; PRATISSOLI, D. Functional responses of two egg parasitoids of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) genre on *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae) eggs. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.20, n.6, p.1-7, 2018c.

PINTO-ZEVALLOS, D.M.; MARTINS, C.B.C.; ANDRADE, S.M.M.; ZAWADNEAK, M.A.C.; ZARBIN, P.H.G. Plant volatiles induced by *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) in two cultivars of strawberry and its attraction to the predator *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Arthropod-Plant Interactions**, v.14, n.6, p.685-693, 2020. Disponível em: <<http://doi:10.1007/s11829-020-09790-5>>. Acesso em: 28 maio 2022.

PIROVANI, V.D.; PRATISSOLI, D.; TIBÚRCIO, M.O.; CARVALHO, J.R.; DAMASCENA, A.P.; FARIA, L.V. *Trichogramma galloi* and *Trichogramma pretiosum* for the management of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) in strawberry plants. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.8, p.690-693, 2017.

POITEVIN, G.C.; PORSANI, M.V.; POLTRONIERI, A.S.; ZAWADNEAK, M.A.C.; PIMENTEL, I.C. Fungi isolated from insects in strawberry crops act as potential biological control agents of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae). **Applied Entomology and Zoology**, v.53, n.3, p.323-331, 2018.

PINEDA-RÍOS, J.M.; CIBRIÁN-TOVAR, J.; HERNÁNDEZ-FUENTES, L.M.; LÓPEZ-ROMERO, R.M.; SOTO-ROJAS, L.; ROMERO-NÁPOLES, J.; LLANDERAL-CÁZARES, C.; SALOMÉ-ABARCA, L.F. α -Terpineol: An aggregation pheromone in *Optatus palmaris* (Coleoptera: Curculionidae) (Pascoe, 1889) enhanced by its host-plant volatiles. **Molecules**, v.26, n.10, p.2861, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/molecules26102861>>. Acesso em: 25 maio 2022.

RIBEIRO, L.P.; VENDRAMIM, J.D.; BICALHO, K.U. ET AL. *Annona mucosa* Jacq. (Annonaceae): a promising source of bioactive compounds against *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v.55, p.6–14, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.06.001>>. Acesso em: 25 maio 2022.

RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; VENDRAMIM, J.D. Effect of ethanolic extract from *Annona mucosa* seeds on development and feeding behavior of *Spodoptera frugiperda*. **Bragantia**, v.75, n.3, p.322–330, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.473>>. Acesso em: 30 maio 2022.

RIBEIRO, L.P.; GONÇALVES, G.L.P.; BICALHO, K.U.; FERNANDES, J.B.; VENDRAMIM, J.D. Rolliniastatin-1, a bis-tetrahydrofuran acetogenin: the major compound of *Annona mucosa* Jacq. (Annonaceae) has potent grain-protective properties. **Journal of Stored Products Research**, v.89, n.101686, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/doi:10.1016/j.jspr.2020.101686>>. Acesso em: 25 maio 2022.

SIDAURUK, L.; PANJAITAN, E.; SIPAYUNG, P.; HUTAURUK, S. Botanical pesticides, a potential ethnobotany Karo Regency to support food safety of the horticultural product. **Earth and Environmental Science**, v.1005, n.012020, 2022. Disponível em: <<https://doi:10.1088/1755-1315/1005/1/012020>>. Acesso em: 30 maio 2022.

SOARES, M.C.E.; BALDIN, E.L.B.; SANTOS, T.L.B.; CARVALHO, S.S.; VENDRAMIM, J.D.; RIBEIRO, L.P. Comparative bioactivity of annonaceous derivatives and neonicotinoid-based insecticides against the silverleaf whitefly. **Crop Protection**, v.140, n.105430, 2021a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105430>>. Acesso em: 28 maio 2022.

SOARES, M.C.E.; BALDIN, E.L.L.; RIBEIRO, L.P.; SANTOS, M.C.; BATISTA, Y.; VENDRAMIM, D.J. Lethal and sublethal effects of *Annona* spp. derivatives on *Bemisia tabaci* MEAM 1 (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato. **Neotropical Entomology**, v.50, p.966-975, 2021b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13744-021-00902-1>>. Acesso em: 28 maio 2022.

SOUZA, J.C.; SILVA, R.A.; SILVEIRA, E.C.; ABREU, F.A.; TOLEDO, M.A. Ocorrência de nova praga nas lavouras de morango no Sul de Minas. **Epamig**, Circular Técnica v.180, p.1-5, 2013.

SOUZA, C.M.; BALDIN, E.L.L.; RIBEIRO, L.P.; SANTOS, T.L.B.; SILVA, I.F.; MORANDO, R.; VENDRAMIM, J.D. Antifeedant and growth inhibitory effects of Annonaceae derivatives on *Helicoverpa armigera* (Hübner). **Crop Protection**, v.121, p.45-50, 2019. Disponível em: <<https://doi:10.1016/j.cropro.2019.03.008>>. Acesso em: 15 maio 2022.

STOCKS, S.D.; HODGES, A. European pepper moth or Southern European marsh pyralid *Duponchelia fovealis* (Zeller), **UF/IFAS Extension**, 2014. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CIN%5CIN91000.pdf>

STUART, A.K.C.; FURUIE, J.L.; ZAWADNEAK, M.A.C.; PIMENTEL, I.C. Increased mortality of the European Pepper Moth *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera:Crambidae) using entomopathogenic fungal consortia. **Journal of Invertebrate Pathology**, v.177, n.107503, 2020. Disponível em: <<https://doi:10.1016/j.jip.2020.107503>>.

STUART, A.K.C.; ZAWADNEAK, M.A.C.; PIMENTEL, I.C. O estado da arte no manejo de *Duponchelia fovealis* em morangueiro no Brasil e no mundo. **Jornal Interdisciplinar Biociência**, v.6, n.2, 2021. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/jibi>>.

STUPP, P.; RAKES, M.; OLIVEIRA, D.C.; MARTINS, L.N.; GEISLER, F.C.S.; RIBEIRO, L.P.; BERNARDI, D. Acetogenin-based formulated bioinsecticides on *Anastrepha fraterculus*: toxicity and potential use in insecticidal toxic baits. **Neotropical Entomology**, v.49, n.2, p.292-301, 2020a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13744-019-00747-9>>. Acesso em: 25 maio 2022.

STUPP, P.; RAKES, M.; MARTINS, L.N.; PIOVESAN, B.; COSTA, O.D.; CONTRERAS, M.J.A.; RIBEIRO, P.L.; NAVA, D.E.; BERNARDI, D. Lethal and sublethal toxicities of acetogenin-based bioinsecticides on *Ceratitidis capitata* and the parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata*. **Phytoparasitica**, v.48 p.477-489, 2020b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12600-020-00801-y>>. Acesso em: 25 maio 2022.

TORMO, J.R.; GALLARDO, T.; ARAGÓN, R.; CORTES, D.; ESTORNELL, E. Specific interactions of monotetrahydrofuranic annonaceous acetogenins as inhibitors of mitochondrial complex I. **Chemico-Biological Interactions**, v.122, n.3, p.171-183, 1999. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/s0009-2797\(99\)00120-9](https://doi.org/10.1016/s0009-2797(99)00120-9)>. Acesso em: 24 maio 2022.

ZANARDI, O.Z.; RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; SANTOS, M.S.; BORDINI, G.P.; YAMAMOTO, P.T.; VENDRAMIM, J.D. Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. **Crop Protection**, v.67, p.160-167, 2015. <<https://doi:10.1016/j.cropro.2014.10.010>>. Acesso em: 21 maio 2022.

ZAWADNEAK, M.A.C.; GONÇALVES, R.B.; KUHN, T.M.A.; ARAUJO, E.; DOLCI, E.M.; SANTOS, B.; SILVA, C.; BENATTO, A.; VIDAL, H. Novo desafio: *Duponchelia fovealis*. **Revista Cultivar HF**, v.6, p.30-32, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299437413_Novo_desafio_Duponchelia_fovealis>. Acesso em: 21 maio 2022.

ZAWADNEAK, M.A.C.; GONÇALVES, R.B.; BISCHOFF, A.M. *Duponchelia fovealis* ZELLER (Lepidoptera: Crambidae): nova praga no Brasil. **UFPR**, v.1, p.14, 2014.

ZAWADNEAK, M.A.C.; VIDAL, H.R.; SANTOS, B. Lagarta-da-coroa, *Duponchelia fovealis*. Vilela EF and Zucchi RA (Eds.), **Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros**, FEALQ, Piracicaba, p. 280–298, 2015.

ZAWADNEAK, M.A.C.; GONÇALVES, R.B.; PIMENTEL, I.C.; SCHUBER, J.M.; SANTOS, B.; POLTRONIERI, A.S.; SOLIS, M. First record of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) in South America. **Idesia**, v.34, p.91-95, 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300011>>. Acesso em: 21 maio 2022.

ZAWADNEAK, M.A.C.; GONCALVES, R.B.; POLTRONIERI, A.S.; SANTOS, B.; BISCHOFF, A.M.; BORBA, A.M.; PIMENTEL, I.C. Biological parameters of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) reared in the laboratory on two diets. **European Journal of Entomology**, v. 114, p. 291-294, 2017. Disponível em: <<https://www.eje.cz/pdfs/eje/2017/01/35.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

ZAWADNEAK, M.A.C.; JARAS, L.; SILVEIRA, R.R.; PIMENTEL, I.C.; BERNARDI, D.; RIBEIRO, L.P. Growth inhibitory action of acetogenin-rich formulated extracts against *Duponchelia fovealis*. *Ciência Rural*, v.52, p.11, 2022 Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/0103-8478cr2021024>>. Acesso em: 23 maio 2022.