

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

LEONARDO SOUZA RODRIGUES

**DINÂMICA DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* (WALKER)
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) A FLUBENDIAMIDA**

LAGES, SC

2024

LEONARDO SOUZA RODRIGUES

**DINÂMICA DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera:
Noctuidae) A FLUBENDIAMIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, área de concentração em Proteção de Plantas e Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Franco

LAGES, SC

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Rodrigues, Leonardo Souza
Dinâmica da resistência de *Chrysodeixis includens*
(Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) a flubendiamida / Leonardo
Souza Rodrigues. -- 2024.
46 p.

Orientador: Cláudio Roberto Franco
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages,
2024.

1. Manejo da Resistência de Insetos. 2. Estabilidade da
Resistência. 3. Manejo Integrado de Pragas. 4. Custo
adaptativo. 5. Lagarta-falsa-medideira. I. Franco, Cláudio
Roberto. II. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.

LEONARDO SOUZA RODRIGUES

DINÂMICA DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) A FLUBENDIAMIDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, área de concentração em Proteção de Plantas e Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Franco

BANCA EXAMINADORA

Orientador:

Dr. Cláudio Roberto Franco

Membros:

Dr. Clovis Arruda de Souza

Universidade do Estado de Santa Catarina

Dr. Oderlei Bernardi

Universidade Federal de Santa Maria

Lages, 26 de fevereiro de 2024

“What you do for yourself, you’re doing for others, and what you do for others, you’re doing for yourself”

Phil Jackson

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e pelos seus ensinamentos repassados através de sua palavra.

A todos meus familiares, em especial aos meus pais Edson Rafael Souza Rodrigues e Rosane Silva Souza e meu irmão Erick Lehmkiel Rodrigues, pelo amor, incentivo e pela vibração em todas as conquistas.

À minha namorada Kelly Tamires Urbano Daboit, pelo amor, companheirismo e incentivo, além do grande auxílio na execução desse trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Cláudio Roberto Franco, pela orientação, pela amizade e por todo o auxílio prestado desde a idealização até a execução do estudo.

Aos colegas pós-graduandos do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, em especial ao Luan Tiago dos Santos Carbonari pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos voluntários e bolsistas de ensino, extensão e iniciação científica do Laboratório de Entomologia CAV/UDESC, em especial aos bolsistas Lucas Gabriel Mass e Suzana Sibila Pegoraro pelo auxílio e dedicação para a execução desse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pelas cativantes aulas, ricas em conhecimento e motivação.

À FAPESC pelo apoio financeiro para execução do projeto de pesquisa como parte do projeto financiado pelas Chamadas Públicas destinadas ao “Apoio à infraestrutura para Grupos de Pesquisa da UDESC” definidas no âmbito dos Termos de Outorga 2021/TR879 e 2023/TR332, assinados com a Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Ao Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas (IRAC-BR) pelo apoio financeiro executado a partir do projeto de pesquisa vinculado à Fundação Instituto de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão do CAV (FIEPE/CAV) no Termo de Outorga 001/2017.

À Secretaria da Educação do Estado de Santa Catarina pela bolsa de estudo do programa UNIEDU/FUMDES Pós-graduação.

A todos um sincero obrigado!

RESUMO

O uso de inseticidas químicos é uma das principais táticas para o controle de insetos-praga na cultura da soja. Porém, o uso frequente de inseticidas gera elevada pressão de seleção, que pode ocasionar em falhas de controle, devido a evolução da frequência de insetos resistentes. Porém, os insetos resistentes podem apresentar custo adaptativo que contribui para o restabelecimento da suscetibilidade na ausência de pressão de seleção. Para isso, o objetivo desse trabalho foi estudar a estabilidade da resistência e o custo adaptativo de *Chrysodeixis includens* (Walker) a flubendiamida (Grupo IRAC: 28, Belt®). Para os experimentos foram utilizadas a população suscetível de referência (SUSCI-15) e a população resistente ao ingrediente ativo flubendiamida (CiResFlu). Inicialmente foi realizada a caracterização da resistência, com bioensaios de ingestão com aplicação do inseticida na superfície da dieta, utilizando de seis a sete concentrações espaçadas logaritmicamente. Para o experimento da dinâmica da resistência foi estabelecida uma terceira população, composta por uma mistura entre as populações CiResFlu e SUSCI-15. Ao longo de oito gerações as três populações não receberam pressão de seleção. As lagartas foram submetidas a bioensaios utilizando a concentração diagnóstica (0,5053 µg i.a. cm⁻²). O custo adaptativo foi avaliado transferindo lagartas neonatas das populações CiResFlu e SUSCI-15 para recipientes com dieta artificial, durante a fase adulta foram formados casais de mesma idade acondicionados em tubo de PVC. A partir da duração e viabilidade dos estágios de desenvolvimento foram avaliados parâmetros para estimar a tabela de vida de fertilidade. A população CiResFlu apresentou razão de resistência de 39 vezes. Em condições de laboratório, houve restabelecimento da suscetibilidade da população de *C. includens* resistente a flubendiamida. A partir da avaliação da duração e viabilidade dos estágios imaturos e adultos e estimativa de parâmetros da tabela de vida de fertilidade não foi detectado custo adaptativo entre as populações SUSCI-15 e CiResFlu. Portanto, a resistência de *C. includens* a flubendiamida é instável e não foi constatado custo adaptativo.

Palavras-chave: Manejo da Resistência de Insetos; Estabilidade da resistência; Manejo Integrado de Pragas; Custo adaptativo; Lagarta-falsa-medideira.

ABSTRACT

Dynamics of resistance to flubendiamide in *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)

Chemical insecticides are commonly employed to control insect pests in soybean (*Glycine max*) crops. However, their frequent use leads to the development of resistance in insect populations, compromising pest control efficacy. Nonetheless, the development of resistance often comes with a fitness cost, which may result in restored susceptibility in the absence of selection pressure. Therefore, this study aimed to investigate the stability of resistance and associated fitness costs in *Chrysodeixis includens* (Walker) against flubendiamide (IRAC Group: 28, Belt®). Experimental assessments were conducted using a susceptible reference population (SUSCI-15) and a flubendiamide-resistant population (CiResFlu). Initially, resistance characterization was performed through ingestion bioassays, exposing insects to logarithmically spaced concentrations of the insecticide applied to diet surfaces. Subsequently, the resistance dynamics experiment was conducted by establishing a third population comprising a mixture of CiResFlu and SUSCI-15 populations, which were propagated for eight generations without exposure to selection pressure. Bioassays were then conducted using a diagnostic concentration ($0.5053 \mu\text{g i.a. cm}^{-2}$) to evaluate resistance levels in caterpillars from all three populations. Assessment of developmental stage duration, viability, and fertility life table parameters was conducted to evaluate fitness costs. Neonate larvae from CiResFlu and SUSCI-15 populations were transferred to containers containing artificial diet, with pairs of the same age housed in PVC tubes during adulthood. The results indicated a 39-fold resistance ratio in the CiResFlu population. However, under laboratory conditions, susceptibility of *C. includens* to flubendiamide was restored. Analysis of developmental stage duration, viability, and fertility life table parameters revealed no discernible fitness cost between SUSCI-15 and CiResFlu populations. Consequently, it can be concluded that resistance of *C. includens* to flubendiamide is unstable, and no associated fitness cost was observed.

Keywords: Insecticide Resistance Management; Resistance stability; Integrated Pest Management; Fitness cost; Soybean Looper.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 — Regressão linear para o comportamento da mortalidade das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae), suscetível (SUSCI-15) resistente a flubendiamida (CiResFlu) e 50% SUSCI-15 com 50% CiResFlu (SusRes) ao longo de oito gerações sem pressão de seleção24
- Figura 2 — Duração em dias das fases imaturas das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente flubendiamida (CiResFlu).....25
- Figura 3 — Viabilidade das fases imaturas das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu).....26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 — Curva de dose-resposta a flubendiamida em populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu).....22
- Tabela 2 — Parâmetros biológicos dos adultos das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu).....27
- Tabela 3 — Estimativa dos parâmetros da tabela de vida de fertilidade para as populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu)28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	IMPORTÂNCIA DE <i>Chrysodeixis includens</i>	11
2.2	DIAMIDAS	13
2.3	RESISTÊNCIA DE INSETOS A INSETICIDAS	14
2.4	ESTABILIDADE DA RESISTÊNCIA DE INSETOS A INSETICIDAS E CUSTO ADAPTATIVO	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	CRIAÇÃO DAS POPULAÇÕES DE <i>Chrysodeixis includens</i> EM LABORATÓRIO.....	18
3.2	PROCEDIMENTOS DE BIOENSAIOS TOXICOLÓGICOS.....	18
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE <i>Chrysodeixis includens</i> A FLUBENDIAMIDA	19
3.4	ESTABILIDADE DA RESISTÊNCIA DE <i>Chrysodeixis includens</i> A FLUBENDIAMIDA EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO.....	19
3.5	CUSTO ADAPTATIVO DA RESISTÊNCIA DE <i>Chrysodeixis includens</i> A FLUBENDIAMIDA	20
4	RESULTADOS.....	22
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE <i>Chrysodeixis includens</i> A FLUBENDIAMIDA	22
4.2	ESTABILIDADE DA RESISTÊNCIA DE <i>Chrysodeixis includens</i> A FLUBENDIAMIDA EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO.....	22
4.3	CUSTO ADAPTATIVO DA RESISTÊNCIA DE <i>Chrysodeixis includens</i> A FLUBENDIAMIDA	24
5	DISCUSSÃO	29
6	CONCLUSÃO	32

1 INTRODUÇÃO

A soja, *Glycine max* (L.) Merrill, é uma das principais plantas cultivadas no mundo. No que se refere ao Brasil, atualmente o país é detentor da maior produção mundial, com cerca de 154,6 milhões de toneladas de grãos em 44,1 milhões de hectares na safra 2022/23 (CONAB, 2024). Estima-se que os danos causados pelos insetos-praga causam redução de aproximadamente 5% da produção brasileira de soja (OERKE, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2014). Dessa forma, para que as lavouras atinjam o máximo potencial produtivo, uma das medidas necessárias é adotar as táticas de controle estabelecidas pelo Manejo Integrado de Pragas (MIP) (BUENO *et al.*, 2021; ZALUCKI; ADAMSON; FURLONG, 2009).

Em termos de presença e dano econômico, *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) é considerada uma das espécies da subfamília Plusiinae de maior importância na soja no Brasil (MORAES; LOECK; BELARMINO, 1991; SILVA *et al.*, 2020). Comumente chamada de lagarta-falsa-medideira, essa praga é polífaga e tem mais de 170 espécies hospedeiras, dentro de 30 famílias botânicas (SPECHT; DE PAULA-MORAES; SOSA-GÓMEZ, 2015). O dano de *C. includens* deixa as folhas de soja com aspecto rendilhado, pois se alimenta apenas do limbo foliar, deixando as nervuras intactas (ÁVILA; GRIGOLLI, 2014; PERINI *et al.*, 2021).

Para o controle de *C. includens* uma das principais estratégias adotadas é o uso de inseticidas químicos, porém, ocorrem com frequência falhas de controle nas lavouras (PERINI *et al.*, 2019). Que por sua vez, podem ocorrer pela dificuldade de atingir o inseto com inseticidas, que tem o hábito de permanecer no terço inferior das plantas de soja (ZULIN; ÁVILA; SCHLICK-SOUZA, 2018) ou devido a evolução da resistência por conta da pressão de seleção. Casos de resistência de *C. includens* a diversos inseticidas foram relatados nos Estados Unidos da América (FELLAND *et al.*, 1990; MASCARENHAS; BOETHEL, 1997; THOMAS *et al.*, 1996), no Porto Rico (ISBILIR *et al.*, 2023) e no Brasil (CONTINI *et al.*, 2022; PERINI *et al.*, 2021; RESTELATTO *et al.*, 2021; SCHNEIDER; SOSA-GÓMEZ, 2016; STACKE *et al.*, 2019, 2020a, 2020b).

A presença de alelos de resistência pode ocasionar mudanças no custo adaptativo ou *fitness* dos insetos (BELINATO; MARTINS, 2016; KLIOT; GHANIM, 2012). O custo adaptativo pode causar desvantagem adaptativa dos insetos resistentes em comparação aos suscetíveis na ausência de pressão de seleção

(BELINATO; MARTINS, 2016). Assim, é possível manejar populações de insetos-praga, mesmo com alta frequência de indivíduos resistentes (BIRD; DRYNAN; WALKER, 2020). Dessa forma, conhecer a dinâmica da resistência é fundamental para aprimorar estratégias de manejo mais assertivo, sendo possível retardar a evolução da resistência e reintegrar um inseticida que no passado apresentava falhas no controle devido a evolução da resistência (ENDERSBY; RIDLAND; HOFFMANN, 2008; LIU et al., 2021).

Esse estudo foi conduzido com base na seguinte hipótese: a resistência de *C. includens* a flubendiamida é instável e está associada a custo adaptativo. O objetivo desse trabalho foi estudar a estabilidade da resistência *C. includens* a flubendiamida e avaliar a presença de custo adaptativo em parâmetros biológicos do ciclo de vida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DE *Chrysodeixis includens*

A ordem Lepidoptera desempenha papel importante na manutenção dos ecossistemas, atuando na polinização e ciclagem de nutrientes (RESH; CARDÉ, 2009). No entanto, os mesmos autores relatam que há espécies que em alta densidade populacional desempenham papel como inseto-praga em diversas culturas. A principal família dessa ordem é a Noctuidae, com mais de 35.000 espécies catalogadas, divididas em 29 subfamílias e 4.200 gêneros (SIVASANKARAN *et al.*, 2011).

Entre essas subfamílias pode-se destacar Plusiinae, que tem distribuição cosmopolita com mais de 400 espécies (ZAHIRI; FIBIGER, 2008). Esses insetos têm como característica uma mancha prateada no meio das asas (TWINKLE; SHASHANK; CHATTOPADHYAY, 2018). No contexto brasileiro *C. includens* é a espécie da subfamília Plusiinae de maior importância econômica, mas há outras espécies que coexistem no mesmo habitat, como *Rachiplusia nu* (Guenée, 1852) e *Trichoplusia ni* (Hübner, 1803) (GRECCO; POLANCZYK; PRATISSOLI, 2010; MORAES; LOECK; BELARMINO, 1991). *C. includens* se encontra desde o norte dos Estados Unidos até o sul da América do Sul (ALFORD; HAMMOND, 1982), sendo que no hemisfério norte as populações apresentam comportamento migratório, habitando em regiões tropicais e subtropicais durante o inverno, local onde se reproduzem o ano todo (MASON; JOHNSON; WOODRING, 1989).

C. includens, comumente chamada de lagarta-falsa-medideira, distingue-se por sua forma de locomoção, simulando a medição de palmas devido à presença de dois pares de pernas abdominais e uma perna anal (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2014). Seu ciclo de desenvolvimento é por holometabolía, que abrange as fases de ovo, lagarta, pré-pupa, pupa e adulto, com uma duração variável de 23 a 46 dias (CZEPAK; ALBERNAZ, 2014; WILLE *et al.*, 2017).

A lagarta de *C. includens*, em seu último instar, atinge tamanho de aproximadamente 40 a 45 mm e exibe coloração verde claro, cuja tonalidade varia em consonância com a alimentação. Pontuações pretas e listras longitudinais brancas são características proeminentes ao longo de seu corpo (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2014). As mariposas de *C. includens* apresentam envergadura de asas de 35 mm com tufos de

cerdas próximos à cabeça. As asas, tanto as anteriores quanto as posteriores, exibem colorações específicas, com o primeiro par destacando-se por uma coloração marrom com duas manchas prateadas distintas na parte central, enquanto o segundo par apresenta tonalidade marrom-clara com bordos escuros (CZEPAK; ALBERNAZ, 2014). A oviposição dessas mariposas são realizadas de maneira individual na face inferior das folhas, sendo que os ovos, de formato globular, possuem um diâmetro de aproximadamente 0,5 mm e uma coloração inicial creme-clara, transformando-se em marrom-clara próximo ao período de eclosão (MASCARENHAS; PITRE, 1997).

A espécie é considerada polífaga, com mais de 170 espécies de plantas hospedeiras pertencentes a 30 famílias botânicas distintas, incluindo tanto culturas cultivadas como espécies silvestres (SANTOS *et al.*, 2017; SPECHT; DE PAULA-MORAES; SOSA-GÓMEZ, 2015). Além do mais, sua relevância agrícola é notória, sendo considerada uma das principais pragas da soja e de outras culturas (SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2020). No primeiro e segundo instar, a lagarta se alimenta raspando as folhas de soja, enquanto a partir do terceiro instar, perfura as folhas, deixando as nervuras centrais e laterais intactas, conferindo-lhes um aspecto rendilhado, que distingue o dano causado à cultura de outros desfolhadores (ÁVILA; GRIGOLLI, 2014).

Até a década de 1990, *C. includens* era classificada como praga secundária na cultura da soja, sendo controlada naturalmente por meio de fungos entomopatogênicos e outros inimigos naturais (MORAES; LOECK; BELARMINO, 1991). Entretanto, a expansão agrícola alterou os biomas brasileiros, proporcionando maior disponibilidade de alimento aos insetos-praga (FEARNSIDE, 2001; SILVA *et al.*, 2020). A partir da safra 2003/04, surtos populacionais foram identificados nos estados do Mato Grosso do Sul e São Paulo. Uma das hipóteses é atribuir ao aumento do uso de fungicidas não seletivos no controle de *Phakopsora pachyrhizi*, agente causal da ferrugem-asiática da soja, resultando na redução de fungos entomopatogênicos nas lavouras, como *Metharhizium rileyi*, conseqüentemente, favorecendo o desenvolvimento de *C. includens* (BALDIN; LOURENÇÃO; SCHLICK-SOUZA, 2014; SPECHT; DE PAULA-MORAES; SOSA-GÓMEZ, 2015). Desde então, *C. includens* é considerada uma praga-chave na cultura da soja em todo o território brasileiro (BERNARDI *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2020).

2.2 DIAMIDAS

As diamidas são um grupo químico de inseticidas amplamente utilizado para o controle de insetos da ordem Lepidoptera (KADALA; CHARRETON; COLLET, 2020). Além disso, é um grupo químico que possui baixo risco ambiental, quando comparado a outros inseticidas (LI *et al.*, 2019).

O desenvolvimento das diamidas se deu a partir de extrato da casca de *Ryania speciosa*, que tinha histórico de utilização pelos nativos da América do Sul e Central. A descoberta das diamidas como inseticida se deu a partir de estudos na década de 1940, que verificaram a capacidade da molécula paralisar os insetos (EDWARDS *et al.*, 1948; JEFFERIES; YU; CASIDA, 1999).

Porém, considera-se como um grupo de inseticidas sintéticos recente, pois foi desenvolvido e introduzido no mercado em 2008 (LIU *et al.*, 2010). É classificado pelo Comitê de Ação à Resistência de Inseticidas (IRAC) como o grupo 28 (Moduladores do Receptor de Rianodina). A nível de Brasil, passou a ser utilizada em 2009 a partir do registro do ingrediente ativo (i.a.) flubendiamida (KUSHNIR; MARKS, 2012).

Caracteriza-se por ser um grupo químico inovador, pois atuam de forma seletiva sobre os receptores de rianodina (RyR) dos canais de cálcio, nos tecidos musculares dos insetos. O flubendiamide exerce sua ação no canal de RyR, promovendo a abertura desse canal e resultando em uma liberação descontrolada de íons de cálcio (Ca^{+2}) do retículo sarcoplasmático para o citosol das células musculares, o que acaba por provocar paralisia muscular (CORDOVA *et al.*, 2006). Além disso, os receptores de RyR nos insetos são diferentes dos presentes em outros animais, fazendo com que diamidas possuam baixa toxicidade, sejam menos agressivos ao ambiente e seletivos a mamíferos, peixes e aos inimigos naturais (LIN *et al.*, 2022; TEIXEIRA; ANDALORO, 2013).

As diamidas ao inibirem os receptores de RyR comprometem o bom funcionamento dos músculos e do sistema nervoso dos insetos. Porquanto ao se ligar ao receptor causa liberação descontrolada de íons de cálcio nas células musculares dos insetos. Esta ação desencadeia uma série de processos no organismo do inseto, que leva a contínua contração muscular dos insetos e resulta na morte devido a paralisia (UESUGI *et al.*, 2021).

Duas classes de inseticidas sintéticos relacionados à diamida são amplamente utilizadas no controle de insetos, as diamidas ftálicas (flubendiamida) e as diamidas antranílicas (clorantraniliprole, cyclaniliprole e ciantraniliprole).

O primeiro produto a ser desenvolvido a base de diamidas derivado do ácido ftálico foi através de estudos das empresas Nihon Nohyaku em parceria com a Bayer CropScience em 1998 (JEANGUENAT, 2013; SATTELLE; CORDOVA; CHEEK, 2008), juntas as empresas originaram a flubendiamida, uma molécula com alta atividade inseticida principalmente sobre a ordem Lepidoptera (SEO *et al.*, 2007; TOHNISHI *et al.*, 2005).

Dando continuidade aos estudos com a molécula diamídica foram lançados outros dois inseticidas, o clorantraniliprole e ciantraniliprole (LAHM *et al.*, 2005), expressando um aspecto mais amplo quando comparados a flubendiamida, passando a ser utilizado no controle de Coleoptera, Diptera e Isoptera (LAHM; CORDOVA; BARRY, 2009).

No entanto, o desafio da resistência em insetos aos derivados de diamidas representa um desafio que atrelado as preocupações ambientais muitas vezes obriga o agricultor a escolher produtos novos ou alternativos. Uma medida eficaz, portanto, é avaliar a presença e a magnitude dos custos adaptativos para poder desenvolver métodos eficientes com o intuito de evitar o aumento da resistência bem como preconizar a manutenção da suscetibilidade.

2.3 RESISTÊNCIA DE INSETOS A INSETICIDAS

A nível mundial o Brasil é o país que concentra a maior produção de soja, sendo que na safra 2022/23 produziu 154,6 milhões de toneladas de grãos em 44,1 milhões de hectares (CONAB, 2024). Estima-se que essa produção poderia ser maior se não houvesse dano por insetos (OERKE, 2006). Os insetos-praga causam perdas de aproximadamente 5% na soja produzida no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Para reduzir as consequências dos danos dos insetos-praga na cultura da soja é necessário a adoção de técnicas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (ZALUCKI; ADAMSON; FURLONG, 2009). Esse programa promove uma agricultura mais sustentável e economicamente eficaz, devido ao uso racional de métodos de controle de insetos-praga (BUENO *et al.*, 2021). O MIP busca o reequilíbrio do ecossistema e conta com diferentes tipos de controle que devem ser utilizados em harmonia: químico, cultural,

biológico, genético, comportamental e vegetal (PROKOPY; KOGAN, 2003). O controle químico é um dos pilares do MIP sendo muito utilizado por ser caracterizado como uma ferramenta de fácil manejo de aplicação e eficiente mortalidade de insetos-praga. Atualmente as principais formas de controle de *C. includens* são o uso de inseticidas químicos sintéticos (PERINI *et al.*, 2019; RAMOS *et al.*, 2017) e plantas transgênicas que expressam proteína inseticida de *Bacillus thuringiensis* (BERNARDI *et al.*, 2012; HORIKOSHI *et al.*, 2021). Também vem sendo utilizado baculovirus (*Chrysodeixis includens* nucleopolyhedrovirus – ChinNPV) (Grupo IRAC: 31) como forma de controle de *C. includens* (GODOY *et al.*, 2019).

As falhas de controle de *C. includens* são observadas com frequências nas lavouras (BERNARDI *et al.*, 2012). Um dos aspectos que torna desafiador o controle desse inseto-praga, é a dificuldade de atingir o alvo com o uso de inseticidas devido ao comportamento predominante de permanecer no terço inferior do dossel da planta de soja, reduzindo sua exposição (ZULIN; ÁVILA; SCHLICK-SOUZA, 2018). Além do mais, existe em alguns insetos a capacidade de se desintoxicar, como a *C. includens*, que tem capacidade de excretar os componentes químicos antes mesmo da ativação do inseticida. Outro fator que dificulta o controle é que essa espécie tem maior tolerância a alguns ingredientes ativos (DOWD; SPARKS, 1986). Além do mais, há um crescente aumento dos casos de resistência de insetos em todo o mundo (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2023; NAUEN *et al.*, 2019).

O primeiro caso de resistência de *C. includens* a um inseticida foi registrado a resistência a permetrina, nos Estados Unidos no ano de 1987 (LEONARD *et al.*, 1990). Outros casos foram registrados na base de dados da Universidade Estadual de Michigan (www.pesticide.resistance.org), com resistência a DDT e BHC, acefato, paration-metilico, metomil e tiocarbe, cipermetrina, fenvelerato, permetrina e teflutrina (FELLAND *et al.*, 1990; MASCARENHAS; BOETHEL, 1997; THOMAS *et al.*, 1996). Também foi relatado baixo nível de resistência de *C. includens* a clorantraniliprole no Porto Rico (ISBILIR *et al.*, 2023).

A resistência de *C. includens* foi relatada no Brasil pela primeira vez na região Centro-Oeste com razão de resistência (RR) de 217 vezes a flubendiamida (SCHNEIDER; SOSA-GÓMEZ, 2016). Para o mesmo inseticida, na região Sul foram identificadas populações com RR de 70,1 e 24,2 vezes (CONTINI *et al.*, 2022; RESTELATTO *et al.*, 2021). Casos de resistência a inseticidas de outros grupos químicos também foram detectados, com RR a teflubenzurom (Grupo IRAC: 15) de

mais de 36.300 vezes (STACKE *et al.*, 2020b), resistência a lambda-cialotrina (Grupo IRAC: 3A) na região Centro-Oeste, com RR de 73,3 vezes (STACKE *et al.*, 2020a) e 28,9 vezes (PERINI *et al.*, 2021).

O manejo da resistência de insetos a inseticidas (MRI) tem como foco retardar a evolução de insetos-praga aos inseticidas e seu sucesso depende do monitoramento da resistência das populações a (BUSH *et al.*, 1993; OMER *et al.*, 1993). A evolução da resistência de insetos evidencia a necessidade da descoberta de novos inseticidas ou utilização de mecanismos de ação pouco explorados.

O manejo da resistência de insetos torna-se essencial, e estratégias baseadas na rotação de mecanismos de ação são destacadas (ENDERSBY; RIDLAND; HOFFMANN, 2008; LIU *et al.*, 2021). Portanto, a efetividade do controle químico está diretamente ligada com o uso consciente de inseticidas. A remoção momentânea de um inseticida pode retardar a evolução da resistência, para que aumente sua vida útil.

2.4 ESTABILIDADE DA RESISTÊNCIA DE INSETOS A INSETICIDAS E CUSTO ADAPTATIVO

A resistência de insetos a inseticidas é um fenômeno complexo que envolve a presença de alelos conferindo resistência e do custo adaptativo associado a esse genótipo. A identificação do padrão da resistência e do custo adaptativo é importante para compreender a direção da evolução da resistência (BELINATO; MARTINS, 2016; KLIOT; GHANIM, 2012). A presença do custo adaptativo pode levar a desvantagens adaptativas nos indivíduos resistentes em comparação aos suscetíveis na ausência de pressão de seleção (BELINATO; MARTINS, 2016).

Para avaliar o custo adaptativo, é possível observar a diminuição da frequência de alelos resistentes em populações mantidas em laboratório sem pressão de seleção e migração (BELINATO; MARTINS, 2016; BOURGUET; GENISSEL; RAYMOND, 2000; GASSMANN; CARRIÈRE; TABASHNIK, 2009). A estabilidade da resistência também pode ser monitorada ao longo do tempo no ambiente, tanto em condições naturais quanto em ambientes controlados, sem pressão de seleção com inseticidas (BIRD; DRYNAN; WALKER, 2020).

A análise dos parâmetros estimados da tabela de vida de fertilidade, como Taxa Líquida de Reprodução (R_0), Intervalo Médio entre Gerações (IMG), Tempo de Duplicação (TD), Taxa Intrínseca de Crescimento (r_m), e Razão Finita de Crescimento

(λ), fornece informações sobre a dinâmica populacional (SILVEIRA NETO *et al.*, 1976).

Estudos específicos com insetos-praga da família Noctuidae evidenciam custo adaptativo associado à resistência a diamidas. *Spodoptera exigua* ao longo das gerações a população resistente de campo mostrou diminuição na CL₅₀, evidenciando o custo adaptativo (RABELO; SANTOS; PAULA-MORAES, 2022). Em estudo com *S. exigua* verificou-se o aumento da duração dos estágios imaturos, diminuição de fecundidade de ovos, levando a redução de taxa líquida de reprodução e taxa finita de crescimento (LIU *et al.*, 2021).

O conceito de custo adaptativo, amplamente reconhecido na resistência de insetos a inseticidas, destaca a importância de entender os fatores adversos associados ao desenvolvimento da resistência. A avaliação desses custos é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo, considerando a variabilidade dos custos adaptativos, influenciados por fatores ambientais e genéticos (FFRENCH-CONSTANT; BASS, 2017; HUANG *et al.*, 2019; STACKE *et al.*, 2020a). O entendimento do custo adaptativo em diferentes condições ambientais e populações de insetos é essencial para a formulação de estratégias de manejo de resistência mais eficazes (SHAH; SHAD, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CRIAÇÃO DAS POPULAÇÕES DE *Chrysodeixis includens* EM LABORATÓRIO

A população suscetível de referência de *C. includens* (SUSCI-15) foi coletada no município de Engenheiro Coelho-SP, no ano de 2015, e fornecida pela empresa PROMIP Ltda. Essa população foi mantida em laboratório sem pressão de seleção por inseticidas. Já a população de *C. includens* resistente a flubendiamida (CiResFlu) foi coletada no município de Londrina, PR, no ano de 2018 e desde então, entre intervalos de duas gerações, foi submetida a pressão de seleção com aplicação de flubendiamida usando a concentração de 0,5053 µg i.a. cm⁻².

Os insetos adultos foram acondicionados em canos de PVC de 200 x 200 mm, com face superior fechada com tecido *voile*. Os canos foram revestidos com papel sulfite amarelo, como substrato de oviposição. Em cada gaiola foi mantido cerca de 30 insetos de *C. includens*. A alimentação foi fornecida em três placas de Petri (50 mm) com algodão, uma placa contendo mel diluído a 10% com adição de ácido sórbico e nipagin a 0,1%, outra placa com mistura de cerveja com solução de mel diluído a 1%, açúcar a 10% e adição de ácido sórbico e nipagin a 0,1% e outra com apenas água destilada.

O papel sulfite com ovos foi recortado em tiras e acondicionado em potes plásticos de 500 mL, contendo dieta artificial a base de feijão (GREENE; LEPPLA; DICKERSON, 1976). O papel foi fixado com fita adesiva para impedir o contato com a dieta. Ao atingirem terceiro instar três lagartas foram transferidas para recipiente plástico de 50 mL (copo de café), contendo dieta e fechada com tampa de acrílico. As pupas foram desinfestadas em solução de cobre a 1%, transferidas para caixa Gerbox com papel toalha umedecido e acondicionadas em gaiolas dos adultos.

A criação de *C. includens* foi mantida em sala climatizada de 25 ± 2 °C, umidade relativa de 60 ± 10% e fotofase de 14 horas.

3.2 PROCEDIMENTOS DE BIOENSAIOS TOXICOLÓGICOS

Para os bioensaios toxicológicos foi usado o i.a. flubendiamida (Grupo IRAC: 28), pelo método de bioensaio de ingestão com aplicação de inseticida na superfície da dieta. Em placas de acrílico (Costar®, modelo 3526, Cambridge, Massachusetts,

EUA) foram inseridas cerca de 1,5 mL de dieta artificial. Após a geleificação da dieta, foi aplicada sobre a sua superfície 30 μ L da solução inseticida diluído em água destilada contendo 0,1% do espalhante adesivo Triton X-100® (Labsynth Produtos para Laboratório). O tratamento controle foi composto apenas por água destilada.

Após a secagem do inseticida na superfície da dieta, foi transferida uma lagarta de terceiro instar para cada célula com auxílio de uma pinça. A avaliação da mortalidade foi realizada após 96 horas, considerando como critério de mortalidade a ausência de locomoção após toque com a pinça no dorso da lagarta (CONTINI *et al.*, 2022; OWEN *et al.*, 2013).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* A FLUBENDIAMIDA

Para caracterizar a resistência o ingrediente ativo flubendiamida foram utilizadas seis a sete concentrações espaçadas logaritmicamente. As concentrações foram definidas para que a mortalidade fosse de 5 a 95%. Cada repetição foi composta por uma placa de acrílico com vinte e quatro lagartas e cada tratamento teve quatro repetições preparadas ao longo do tempo.

Os dados foram submetidos a análise de Probit para estimar as concentrações letais 50 e 95 (CL₅₀ e CL₉₅) de ambas as populações, utilizando o software estatístico SAS na versão acadêmica (SAS On Demand for Academics). A RR foi obtida através da razão entre CL₅₀ da população CiResFlu pela CL₅₀ da população SUSCI-15. A CL₉₅ da população SUSCI-15 foi definida como concentração diagnóstica. As regressões provenientes da análise de Probit foram utilizadas para testar as hipóteses de paralelismo e igualdade, utilizando o software PoloPlus (versão 1.0).

3.4 ESTABILIDADE DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* A FLUBENDIAMIDA EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO

A estabilidade da resistência de *C. includens* a flubendiamida foi avaliada ao longo de oito gerações. Para esse experimento foram utilizadas pupas das populações SUSCI-15 e CiResFlu. A partir dessas duas populações foi estabelecida uma terceira população (SusRes) constituída com 50% de pupas das populações SUSCI-15 e

CiResFlu. Para todas as populações foram montadas duas gaiolas contendo 52 pupas com igualdade de proporção entre machos e fêmeas.

Em cada geração as lagartas de terceiro instar foram submetidas a bioensaios com concentração diagnóstica de 0,5053 µg i.a. cm⁻². Cada repetição foi composta por duas placas de acrílico, totalizando 48 lagartas. Foram realizadas cinco repetições por tratamento. Os dados de mortalidade foram avaliados e corrigidos pela fórmula de Abbott (ABBOTT, 1925).

A análise estatística foi conduzida utilizando o software estatístico SAS, com o procedimento PROC GLM (Modelos lineares generalizados). Primeiramente, foi realizada análise de variância (ANOVA) para investigar os efeitos dos tratamentos e sua interação. Para realizar a decomposição de efeitos simples, foi utilizado a opção “slice”, que permitiu analisar as variações específicas dentro da interação dos tratamentos. Por meio de contrastes ortogonais foram realizadas comparações entre as populações. Para avaliar o ajuste dos dados a um modelo de regressão em relação a sobrevivência foram realizados contrastes ortogonais para cada população (CERUTTI *et al.*, 2023).

3.5 CUSTO ADAPTATIVO DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* A FLUBENDIAMIDA

Para o experimento do custo adaptativo foram utilizadas 288 lagartas neonatas de cada população (SUSCI-15 e CiResFlu) individualizadas em placas de acrílico (Costar®, modelo 3526, Cambridge, Massachusetts, EUA). Ao atingirem o terceiro instar foram transferidas para copo plástico de 50 mL. Em ambos os recipientes contendo dieta artificial. Posteriormente as pupas foram individualizadas em copo plástico de 50 mL invertidos sobre bandeja forrada com papel germitest umedecido com água destilada até a emergência dos adultos. Na fase adulta foram formados pelo menos 14 casais por tratamento, mantidos em gaiola de PVC (200 x 200 mm) fechados no topo com tecido *voile* e revestidos com papel sulfite amarelo (substrato de oviposição). As posturas foram retiradas diariamente para contagem do número de ovos. Foram avaliados diariamente os parâmetros de duração (dias) e viabilidade (%) dos períodos embrionário, larval, pupal e longevidade de adulto. Para a avaliação da viabilidade dos ovos foi contabilizado o número de neonatas eclodidas na segunda postura.

A análise estatística foi realizada pelo procedimento PROC GLIMMIX (Modelos Lineares Mistos Generalizados) do software estatístico SAS. A opção deste procedimento foi inerente a variável duração em dias e viabilidade das estimativas dos parâmetros biológicos não serem normalmente distribuídas. Isso em função da origem intrínseca destas variáveis, pois apresentam em sua mensuração a particularidade do ato de contagem, fazendo esses dados se enquadrarem na distribuição de Poisson.

As estimativas dos parâmetros avaliados foram utilizadas para compor a tabela de vida de fertilidade para estimar taxa líquida de reprodução (R_0), intervalo médio entre gerações (IMG), tempo de duplicação (TD), taxa intrínseca de crescimento (R_m) e razão finita de crescimento (λ). Essas estimativas dos parâmetros populacionais foram obtidas através do método Jackknife, sendo as médias comparadas pelo teste t ($P < 0.05$), utilizando o software estatístico SAS (MAIA; LUIZ; CAMPANHOLA, 2000).

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* A FLUBENDIAMIDA

A partir curva de dose-resposta estimou-se os valores de CL₅₀ de 0,064 (0,049 – 0,082) µg i.a. cm⁻² para SUSCI-15 e 2,518 (2,139 – 2,977) µg i.a. cm⁻² para CiResFlu. Não houve sobreposição entre os intervalos de confiança, indicando diferença significativa de suscetibilidade entre as duas populações, sendo constatada rejeição da hipótese de igualdade ($\chi^2 = 327$; gl = 2; P < 0,05) e aceitação de paralelismo ($\chi^2 = 0,60$; gl = 1; P > 0,05) entre os coeficientes angulares e interceptos entre as populações. A RR estimada foi de 39 vezes, com base na CL₅₀. A CL₉₅ da SUSCI-15 foi de 0,778 (0,529 – 1,355) µg i.a. cm⁻² e para a CiResFlu foi de 28,121 (20,067 – 42,247) µg i.a. cm⁻² (Tabela 1).

Tabela 1 — Curva de dose-resposta a flubendiamida em populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu)

População	n	Coefficiente angular (±EP)	CL ₅₀ (IC 95%)	X ²	RR
SUSCI-15	504	1,51 (±0,13)	0,064 (0,049 - 0,082)	2,51	-
CiResFlu	936	1,57 (±0,11)	2,518 (2,139 - 2,977)	4,88	39,17

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

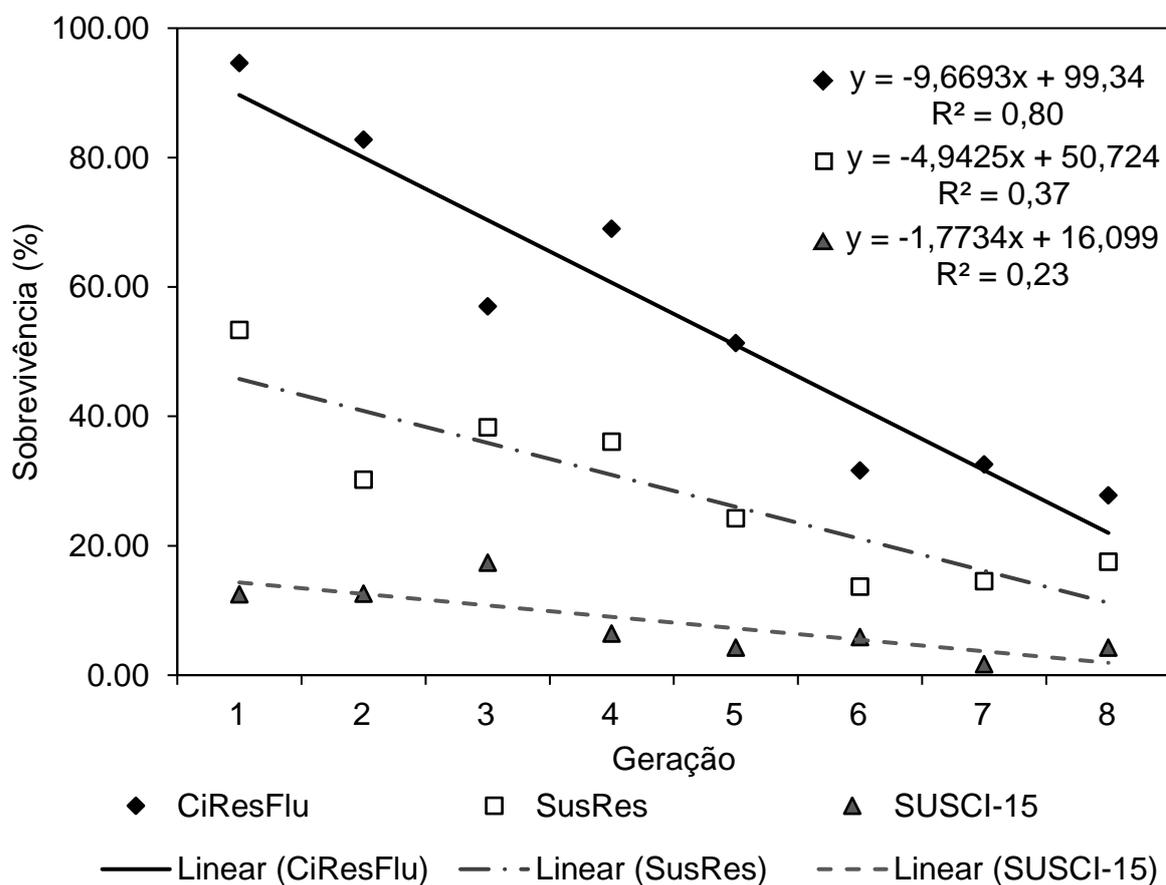
4.2 ESTABILIDADE DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* A FLUBENDIAMIDA EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO

Os resultados indicaram diferenças significativas para as variáveis população (F = 189,16; gl = 2; P < 0,0001), geração (F = 23,78; gl = 7; P < 0,0001) e na interação entre população e geração (F = 5,40; gl = 14; P < 0,0001) (Apêndice A). Desta forma, foi fundamental realizar a descrição qualitativa da interação, verificando a variação atribuível ao fator população separadamente para cada um dos níveis do fator geração. Essa decomposição revelou que a variação de mortalidade das populações ao longo das gerações foi significativa para as populações SusRes (F = 7,83; gl = 7;

$P < 0,0001$) e CiResFlu ($F = 25,55$; $gl = 7$; $P < 0,0001$), já para a população SUSCI-15 não houve alteração no padrão de mortalidade ao longo das gerações, pois as diferenças não foram significativas ($F = 1,20$; $gl = 7$; $P = 0,3083$) (Apêndice B). A comparação por meio dos contrastes ortogonais evidenciou que houve diferença na sobrevivência ao longo das gerações, pois a população CiResFlu com a SusRes diferiram da SUSCI-15 ($F = 254,91$; $gl = 1$; $P < 0,0001$) e a mortalidade da população CiResFlu foi diferente da SusRes ($F = 123,41$; $gl = 1$; $P < 0,0001$) (Apêndice C). O ajuste dos dados por meio de contrastes ortogonais indicou que o modelo linear foi o que melhor se ajustou para as três populações, para SUSCI-15 ($F = 5,45$; $gl = 1$; $P = 0,0217$), CiResFlu ($F = 162,01$; $gl = 1$; $P < 0,0001$) e SusRes ($F = 43,33$; $gl = 1$; $P < 0,0001$) (Apêndice D).

A partir dessas diferenças observadas entre as populações constata-se que houve restabelecimento da suscetibilidade após oito gerações nas populações resistentes a flubendiamida. Para a CiResFlu na primeira geração houve 94,6% de sobrevivência e na oitava geração 27,8%. A população SusRes também apresentou redução na sobrevivência com o passar das gerações, que foi de 53,3% na primeira geração para 17,5% na oitava geração (Figura 1).

Figura 1 — Regressão linear para o comportamento da mortalidade das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae), suscetível (SUSCI-15) resistente a flubendiamida (CiResFlu) e 50% SUSCI-15 com 50% CiResFlu (SusRes) ao longo de oito gerações sem pressão de seleção



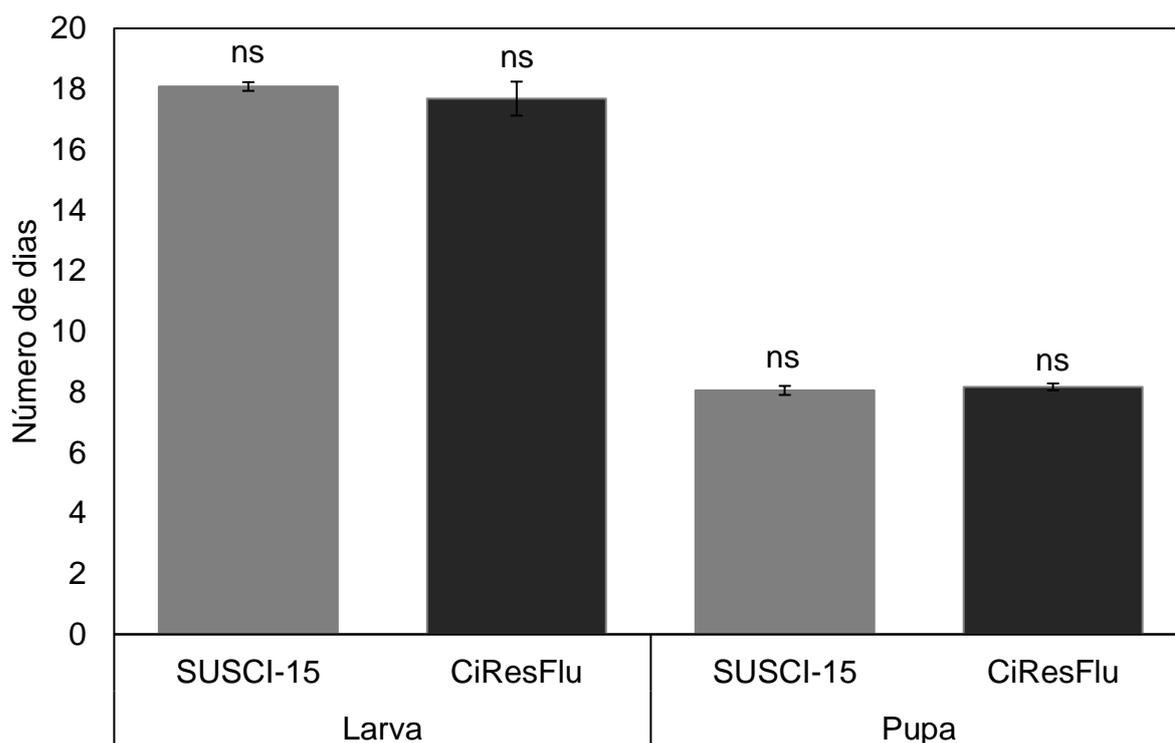
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

4.3 CUSTO ADAPTATIVO DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* A FLUBENDIAMIDA

Não houve diferença significativa entre as populações no período de desenvolvimento larval, a população CiResFlu teve média de $17,7 \pm 0,11$ dias (variando de 16 a 31 dias) e a população SUSCI-15 apresentou média de $18,1 \pm 0,15$ dias (variando de 15 a 27 dias) ($F = 0,89$; $glt = 1$; $gle = 411$; $P = 0,3472$). Para o período de pupa não houve diferença significativa entre a população SUSCI-15 e CiResFlu, que apresentaram média de $8,1 \pm 0,07$ (variando entre 6 e 10 dias) e $8,2 \pm 0,05$ dias (variando entre 5 e 10 dias), respectivamente ($F = 0,15$; $glt = 1$; $gle = 373$; $P = 0,6990$). Vale ressaltar, que não houve diferença significativa para o peso de pupa, onde a

população SUSCI-15 teve média de $0,264 \pm 0,002$ g e a CiResFlu de $0,27 \pm 0,002$ g ($F = 0,49$; $gl = 1$; $P = 0,484$) (Figura 2).

Figura 2 — Duração em dias das fases imaturas das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente flubendiamida (CiResFlu)

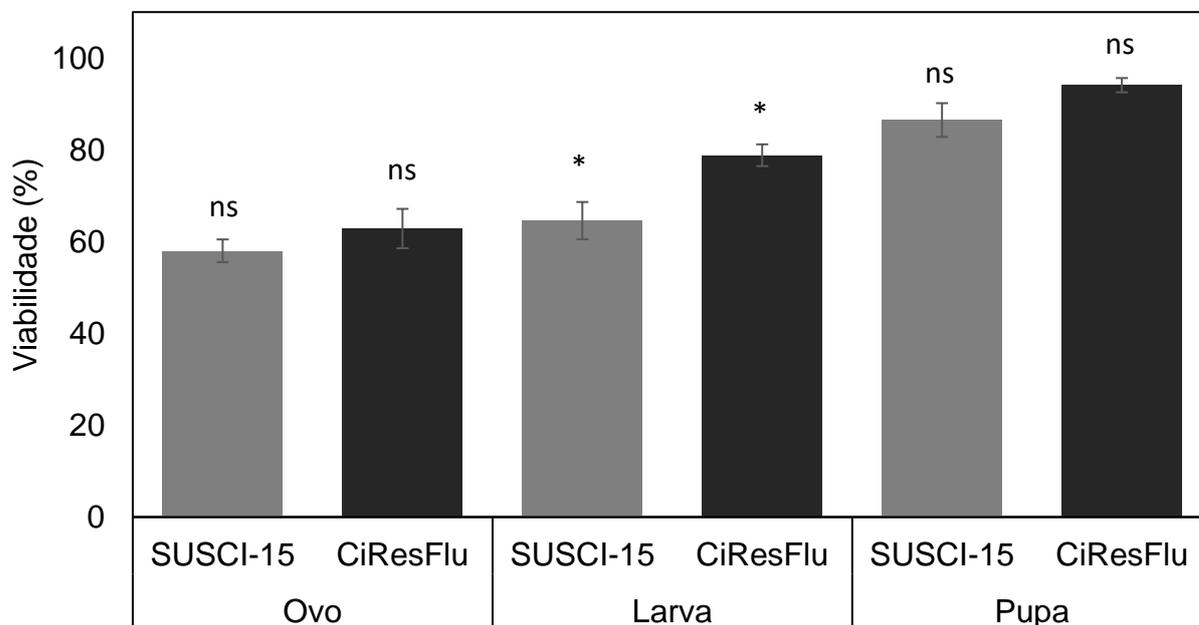


^{ns}diferença entre a média dos tratamentos não significativa ($P < 0,05$).

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A viabilidade da fase embrionária não apresentou diferenças significativas entre as populações, sendo de $58,0 \pm 2,48$ % na SUSCI-15 e $62,85 \pm 4,29$ % na CiResFlu ($F = 1,80$; $glt = 1$; $gle = 19$; $P = 0,1959$). No período larval a viabilidade foi significativamente menor na população SUSCI-15, que apresentou $64,58 \pm 4,05$ % contra $78,8 \pm 2,38$ % da CiResFlu ($F = 16,90$; $glt = 1$; $gle = 22$; $P = 0,0005$). Na fase de pupa não houve diferença significativa, onde a população SUSCI-15 $86,49 \pm 3,68$ % e a CiResFlu teve $94,1 \pm 1,55$ % ($F = 3,83$; $glt = 1$; $gle = 22$; $P = 0,0633$) (Figura 3).

Figura 3 — Viabilidade das fases imaturas das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu)



*diferença significativa e ^{ns}não significativa ($P < 0,05$) entre as médias dos tratamentos.

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A longevidade dos adultos machos não diferiu entre as populações SUSCI-15 e CiResFlu ($F = 0,07$; $glt = 1$; $gle = 25$ $P = 0,7992$). A SUSCI-15 teve média de $17,8 \pm 0,8$ dias e a CiResFlu $17,4 \pm 1,3$ dias. Para os adultos fêmeas também não houve diferença ($F = 0,34$; $glt = 1$; $gle = 29$; $P = 0,5632$). A SUSCI-15 teve média de $19,2 \pm 0,6$ e a CiResFlu $20,2 \pm 0,9$. As populações não apresentaram diferença significativa para idade da primeira postura, sendo a SUSCI-15 com $31,9 \pm 0,4$ e CiResFlu com $34,3 \pm 0,3$ dias ($F = 22,08$; $glt = 1$; $gle = 32$; $P = 0,2472$). Quanto a fecundidade, o número total de ovos por fêmea foi diferente entre as populações, a SUSCI-15 teve um total de $1.295 \pm 258,2$ ovos por fêmea e a CiResFlu $1.807 \pm 257,9$ ($F = 1.340$; $glt = 1$; $gle = 32$; $P = 0,0001$) (Tabela 2).

Tabela 2 — Parâmetros biológicos dos adultos das populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu)

Parâmetros biológicos	População	
	SUSCI-15	CiResFlu
Longevidade do adulto		
Macho (dias)	17,8 ($\pm 0,8$) ^{ns}	17,4 ($\pm 1,3$) ^{ns}
Fêmea (dias)	19,3 ($\pm 0,6$) ^{ns}	20,2 ($\pm 0,9$) ^{ns}
Idade da primeira postura (dias)	31,9 ($\pm 0,4$) ^{ns}	34,3 ($\pm 0,3$) ^{ns}
Total de ovos / fêmea	1.295 ($\pm 258,2$)*	1.807 ($\pm 257,9$)*

Médias (\pm erro padrão).

*diferença significativa e ^{ns}não significativa ($P < 0,05$) entre as médias dos tratamentos.

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O resultado do estudo do ciclo biológico possibilitou a construção da tabela de vida de fertilidade estimando os parâmetros de crescimento populacional das populações SUSCI-15 e CiResFlu de *C. includens* a flubendiamida. Com relação a taxa líquida de reprodução (R_0), houve diferença entre as duas populações, onde a CiResFlu apresentou valor de $379,1 \pm 54,09$ e a SUSCI-15 $222,4 \pm 44,3$ ($P = 0,03219$). Para os demais parâmetros da tabela de vida de fertilidade não houve diferenças significativas. O intervalo médio entre gerações (IMG) foi de $37,4 \pm 0,36$ dias para CiResFlu e $38,2 \pm 0,78$ dias para SUSCI-15 ($P = 0,3806$). O tempo de duplicação (TD) foi de $4,3 \pm 0,14$ dias para CiResFlu e $4,8 \pm 0,24$ dias para SUSCI-15 ($P = 0,0734$). A taxa intrínseca de crescimento (r_m) foi de $0,16 \pm 0,005$ para CiResFlu e $0,14 \pm 0,007$ para SUSCI-15 ($P = 0,0569$). A razão finita de crescimento (λ) foi de $1,17 \pm 0,006$ para CiResFlu e $1,15 \pm 0,008$ para SUSCI-15 ($P = 0,0561$) (Tabela 2).

A comparação da taxa intrínseca de crescimento e da razão finita de crescimento mostra muita similaridade entre as populações, evidenciando a ausência de custo adaptativo da população CiResFlu.

Tabela 3 — Estimativa dos parâmetros da tabela de vida de fertilidade para as populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15) e resistente a flubendiamida (CiResFlu)

População	R_0 (♀/♀)	IMG (dias)	TD (dias)	r_m (♀/♀*dia)	λ
SUSCI-15	222,4 (±44,3)b	38,2 (±0,78)a	4,8 (±0,24)a	0,14 (±0,007)a	1,15 (±0,008)a
CiResFlu	379,1 (±54,09)a	37,4 (±0,36)a	4,3 (±0,14)a	0,16 (±0,005)a	1,17 (±0,006)a

Médias (\pm) erro padrão. Médias dentro da coluna com diferentes letras são significativamente diferentes pelo teste t ($P < 0,05$).

R_0 = taxa líquida de reprodução; **IMG** = intervalo médio entre gerações; **TD** = tempo de duplicação; R_m = taxa intrínseca de crescimento; λ = razão finita de crescimento.

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

5 DISCUSSÃO

O estudo da dinâmica da resistência a inseticidas é fundamental para que sejam tomadas decisões assertivas com base no MIP. O presente trabalho foi o primeiro a relatar instabilidade da resistência de *C. includens* à flubendiamida. A instabilidade da resistência de insetos-praga a diamidas foi verificada em outras espécies de lepidópteros. Populações de *S. exigua* resistentes ao clorantraniliprole da China e dos Estados Unidos da América apresentaram restabelecimento da suscetibilidade (LIU *et al.*, 2021; RABELO; SANTOS; PAULA-MORAES, 2022). O grupo químico das diamidas é um dos principais para o controle de Lepidoptera devido ao seu mecanismo de ação único, sua efetividade, baixa toxicidade e seletividade a mamíferos, peixes e aos inimigos naturais (LIN *et al.*, 2022; TEIXEIRA; ANDALORO, 2013).

Embora *C. includens* tenha apresentado instabilidade da resistência a flubendiamida, não foi detectado custo adaptativo conforme parâmetros biológicos e tabela de vida de fertilidade. Se poucos parâmetros forem avaliados é possível que não seja detectado o custo adaptativo entre as populações (FREEMAN *et al.*, 2021). Possivelmente, o custo adaptativo da população resistente é baixo ou está em um parâmetro não avaliado, como parâmetros comportamentais, produção de feromônios, número de espermatóforos e diferentes hospedeiros.

Já foi relatado custo adaptativo de *C. includens* associado a resistência a lambda-cialotrina, sendo de característica autossômica e tendo dominância incompleta (STACKE *et al.*, 2020a). Para outras espécies da ordem Lepidoptera, como por exemplo, *S. exigua* resistente a clorantraniliprole constatou-se custo adaptativo associado aos parâmetros da tabela de vida de fertilidade e na diminuição de acasalamento, por causa da superexpressão do neuropeptídeo *SeNPF* (GONG *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2021). Em estudos com *Spodoptera frugiperda* resistente a clorpirifós (GARLET *et al.*, 2021) e as plantas que expressam proteínas inseticidas de *B. thuringiensis* (GARLET *et al.*, 2022) foi constatado que o custo adaptativo comparando parâmetros biológico é influenciado pela planta hospedeira utilizada na alimentação das lagartas, possivelmente, devido a qualidade nutricional da planta.

No Brasil foram detectados casos de resistência de *C. includens* a diamidas em populações coletadas entre os anos 2013 e 2018 (CONTINI *et al.*, 2022; RESTELATTO *et al.*, 2021; SCHNEIDER; SOSA-GÓMEZ, 2016). A partir do ano 2013

houve a implantação comercial de lavouras de soja que expressam a proteína Cry1Ac de *B. thuringiensis* para o controle de algumas espécies de lepidópteros na soja. Atualmente, o nível de adoção dessa tecnologia corresponde a cerca de 80% da soja brasileira. Segundo Horikoshi *et al.* (2021), a expressão da proteína inseticida na soja não tem ocasionado falhas no controle de *C. includens*. Assim, considerando a eficácia do controle proporcionado pela proteína inseticida e associada a instabilidade da resistência à flubendiamida, é possível inferir que, atualmente, a frequência de resistência seja baixa nas populações de *C. includens*, tornando-as suscetíveis a esse inseticida.

Essa hipótese pode ser sustentada por algumas evidências como relatado na China para populações de *Helicoverpa armigera* resistente aos inseticidas lambda-cialotrina, foxim (Grupo IRAC: 1B) e endossulfam (Grupo IRAC: 2A) (WU *et al.*, 2005). Após o início do cultivo de algodão com a inserção do gene de *B. thuringiensis* possibilitou a redução da razão de resistência em populações de campo evidenciando ausência de resistência cruzada. Além do mais, no Brasil não há registros de *C. includens* resistentes a *B. thuringiensis*. No entanto, *Rachiplusia nu* e *Crosidosema aporema* são considerados insetos-praga secundários na cultura da soja, mas já apresentaram casos de evolução da resistência para a proteína inseticida de *B. thuringiensis* (HORIKOSHI *et al.*, 2021). Portanto, estudos proativos que monitorem a evolução da resistência de *C. includens* aos inseticidas sintéticos e *B. thuringiensis* fornecem informações primordiais para o MRI.

Além da adoção de plantas geneticamente modificadas, outras estratégias também são fundamentais para explorar a instabilidade da resistência de *C. includens* a flubendiamida, buscando maximizar a longevidade das diamidas. Também contribui para redução de pressão de seleção por inseticidas sintéticos o uso de inseticidas a base de baculovirus (Grupo IRAC: 31), porque não apresentou relação de resistência cruzada com populações de *C. includens* resistentes a teflubenzurom e lambda-cialotrina (GODOY *et al.*, 2019). O uso de baculovirus pode contribuir para o controle em áreas de refúgio e em outras culturas hospedeiras, uma vez que *C. includens* é inseto-praga polífago (SPECHT; DE PAULA-MORAES; SOSA-GÓMEZ, 2015).

Como o uso de inseticidas químicos é uma das principais formas de controle de *C. includens* (PERINI *et al.*, 2019; RAMOS *et al.*, 2017), outra ferramenta eficaz para o MRI é a rotação de inseticidas baseado no mecanismo de ação (BERNARDI *et al.*, 2012; STACKE *et al.*, 2020a). Em trabalho abordando o efeito residual de

clorantraniliprole e ciantraniliprole para o controle de *C. includens* resistente a flubendiamida foi detectado um possível caso de resistência cruzada (CONTINI *et al.*, 2022). Para população de *C. includens* resistente a lambda-cialotrina (RR = 73 vezes) houve relação de resistência cruzada com deltametrina e cipermetrina que são do mesmo mecanismo de ação (Grupo IRAC: 3A), com RR entre 6 e 22 vezes, provavelmente pela similaridade química dessas moléculas (STACKE *et al.*, 2020a). No caso de *C. includens* resistente a teflubenzurom (RR = 36.361 vezes), houve resistência cruzada com outros ingredientes ativos do mesmo mecanismo de ação (Grupo IRAC: 15), como novalurom e lufenurom (RR entre 953 e 6.147 vezes). Mas, para ingredientes ativos de outros mecanismos de ação, como metoxifenoazida, flubendiamida e indoxacarbe foi considerado baixo (RR inferior a três vezes) (STACKE *et al.*, 2020b). Isso evidencia que é necessário realizar rotação de inseticidas com mecanismos de ação diferentes para evitar a evolução da resistência em função da relação de resistência cruzada.

Assim, para retardar a evolução da resistência de insetos a inseticidas, além de estudos que busquem a detecção de populações resistentes, é importante avaliar a estabilidade da resistência e as relações de resistência cruzada para aprimorar as recomendações de MRI.

6 CONCLUSÃO

A resistência de *C. includens* é instável e não associada ao custo adaptativo para parâmetros biológicos e da tabela de vida de fertilidade.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265–267, 1925.
- ALFORD, R. A.; HAMMOND, A. M. Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) Populations in Louisiana Soybean Ecosystems as Determined with Loop lure-Baited Traps. **Journal of Economic Entomology**, v. 75, n. 4, p. 647–650, 1982.
- ÁVILA, C. J.; GRIGOLLI, J. F. J. Pragas de soja e seu controle. Em: LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLLI, J. F. J.; MELOTTO, A. M.; PITOL, C.; GITTI, D. de C.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologia e produção: Soja 2013/2014**. p. 109–168, 2014.
- BALDIN, E. L. L.; LOURENÇÃO, A. L.; SCHLICK-SOUZA, E. C. Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 458–465, 2014.
- BELINATO, T. A.; MARTINS, A. J. Insecticide Resistance and Fitness Cost. Em: **Insecticides Resistance**. InTech, 2016.
- BERNARDI, O. *et al.* Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatalis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1083–1091, 2012.
- BIRD, L. J.; DRYNAN, L. J.; WALKER, P. W. Relative fitness and stability of resistance in a near-isogenic strain of indoxacarb resistant *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, v. 76, n. 12, p. 4077–4085, 2020.
- BOURGUET, D.; GENISSEL, A.; RAYMOND, M. Insecticide Resistance and Dominance Levels. **Journal of Economic Entomology**, v. 93, n. 6, p. 1588–1595, 2000.
- BUENO, A. F. *et al.* Challenges for Adoption of Integrated Pest Management (IPM): the Soybean Example. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 1, p. 5–20, 2021.
- BUSH, M. R. *et al.* Azinphosmethyl Resistance in the Tufted Apple Bud Moth (Lepidoptera: Tortricidae): Reversion, Diagnostic Concentrations, Associated Esterases, and Glutathione Transferases. **Journal of Economic Entomology**, v. 86, n. 2, p. 213–225, 1993.
- CERUTTI, P. H. *et al.* **Análise de experimentos agronômicos com o uso do software SAS®: uma abordagem acadêmica e prática**. Rio de Janeiro: Letras e Versos, 2023.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: terceiro levantamento, dezembro de 2023 – safra 2023/2024. 2024.

CONTINI, R. E. *et al.* Characterization of the resistance of *chrysodeixis includens* to diamides. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 2, p. 288–298, 2022.

CORDOVA, D. *et al.* Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 84, n. 3, p. 196–214, 2006.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C. Manejo avançado: Surtos de falsa-medideira. **Cultivar Grandes Culturas**, n 178, p. 20–24, 2014.

DOWD, P. F.; SPARKS, T. C. Characterization of a Trans-permethrin hydrolyzing enzyme from the midgut of *Pseudoplusia includens* (Walker). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 25, n. 1, p. 73–81, 1986.

EDWARDS, G. A. *et al.* The Action of Ryanodine on the Contractile Process in Striated Muscle. **Science**, v. 108, n. 2804, p. 330–332, 1948.

ENDERSBY, N. M.; RIDLAND, P. M.; HOFFMANN, A. A. The effects of local selection versus dispersal on insecticide resistance patterns: longitudinal evidence from diamondback moth (*Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)) in Australia evolving resistance to pyrethroids. **Bulletin of Entomological Research**, v. 98, n. 2, p. 145–157, 2008.

FEARNSIDE, P. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 23–38, 2001.

FELLAND, C. M. *et al.* Resistance to Pyrethroid Insecticides in Soybean Looper (Lepidoptera: Noctuidae) in Mississippi. **Journal of Economic Entomology**, v. 83, n. 1, p. 35–40, 1990.

FFRENCH-CONSTANT, R. H.; BASS, C. Does resistance really carry a fitness cost? **Current Opinion in Insect Science**, v. 21, p. 39–46, 2017.

FREEMAN, J. C. *et al.* Fitness studies of insecticide resistant strains: lessons learned and future directions. **Pest Management Science**, v. 77, n. 9, p. 3847–3856, 2021.

GARLET, C. G. *et al.* Fitness Cost of Chlorpyrifos Resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Different Host Plants. **Environmental Entomology**, v. 50, n. 4, p. 898–908, 2021.

GARLET, C. G. *et al.* Assessing fitness costs of the resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyramided Cry1 and Cry2 insecticidal proteins on different host plants. **Bulletin of Entomological Research**, v. 112, n. 5, p. 575–583, 2022.

GASSMANN, A. J.; CARRIÈRE, Y.; TABASHNIK, B. E. Fitness Costs of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, v. 54, n. 1, p. 147–163, 2009.

GODOY, D. N. *et al.* No cross-resistance between ChinNPV and chemical insecticides in *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 164, p. 66–68, 2019.

GONG, C. *et al.* Fitness Costs of Chlorantraniliprole Resistance Related to the SeNPf Overexpression in the *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 9, p. 5027, 2021.

GRECCO, E. D.; POLANCZYK, R. A.; PRATISSOLI, D. Seleção e caracterização molecular de *Bacillus thuringiensis* berliner com atividade tóxica para *trichoplusia ni* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 4, p. 685–692, 2010.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean Caterpillar: A Rearing Procedure and Artificial Medium¹²³. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487–488, 1976.

HORIKOSHI, R. J. *et al.* Resistance status of lepidopteran soybean pests following large-scale use of MON 87701 × MON 89788 soybean in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 21323, 2021.

HUANG, Q. *et al.* Effects of bistrifluron resistance on the biological traits of *Spodoptera litura* (Fab.) (Noctuidae: Lepidoptera). **Ecotoxicology**, v. 28, n. 3, p. 323–332, 2019.

ISBILIR, S. *et al.* Molecular characterization and expression patterns of a ryanodine receptor in soybean looper, *Chrysodeixis includens*. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v. 114, n. 3, 2023.

JEANGUENAT, A. The story of a new insecticidal chemistry class: the diamides. **Pest Management Science**, v. 69, n. 1, p. 7–14, 2013.

JEFFERIES, P. R.; YU, P.; CASIDA, J. E. Structural modifications increase the insecticidal activity of ryanodine. **Pesticide Science**, v. 51, n. 1, p. 33–38, 1999.

KADALA, A.; CHARRETON, M.; COLLET, C. Flubendiamide, the first phthalic acid diamide insecticide, impairs neuronal calcium signalling in the honey bee's antennae. **Journal of Insect Physiology**, v. 125, p. 104086, 2020.

KLIOT, A.; GHANIM, M. Fitness costs associated with insecticide resistance. **Pest Management Science**, v. 68, n. 11, p. 1431–1437, 2012.

KUSHNIR, A.; MARKS, A. R. Ryanodine Receptor Patents. **Recent Patents on Biotechnology**, v. 6, n. 3, p. 157–166, 2012.

LAHM, G. P. *et al.* Insecticidal anthranilic diamides: A new class of potent ryanodine receptor activators. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 15, n. 22, p. 4898–4906, 2005.

LAHM, G. P.; CORDOVA, D.; BARRY, J. D. New and selective ryanodine receptor activators for insect control. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 17, n. 12, p. 4127–4133, 2009.

LEONARD, R. B. *et al.* Variations in Response of Soybean Looper (Lepidoptera: Noctuidae) to Selected Insecticides in Louisiana. **Journal of Economic Entomology**, v. 83, n. 1, p. 27–34, 1990.

LI, W. *et al.* Residue analysis of tetraniliprole in rice and related environmental samples by HPLC/MS. **Microchemical Journal**, v. 150, p. 104168, 2019.

LIN, L. *et al.* Calmodulin Modulation of Insect Ryanodine Receptors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 70, n. 51, p. 16156–16163, 2022.

LIU, M. *et al.* Design, Synthesis, and Insecticidal Activities of Phthalamides Containing a Hydrazone Substructure. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 11, p. 6858–6863, 2010.

LIU, S. *et al.* Fitness costs associated with chlorantraniliprole resistance in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, v. 77, n. 4, p. 1739–1747, 2021.

MAIA, A. DE H. N.; LUIZ, A. J. B.; CAMPANHOLA, C. Statistical Inference on Associated Fertility Life Table Parameters Using Jackknife Technique: Computational Aspects. **Journal of Economic Entomology**, v. 93, n. 2, p. 511–518, 2000.

MASCARENHAS, R. N.; BOETHEL, D. J. Responses of Field-Collected Strains of Soybean Looper (Lepidoptera: Noctuidae) to Selected Insecticides Using an Artificial Diet Overlay Bioassay. **Journal of Economic Entomology**, v. 90, n. 5, p. 1117–1124, 1997.

MASCARENHAS, R. N.; PITRE, H. N. Oviposition Responses of Soybean Looper (Lepidoptera: Noctuidae) to Varieties and Growth Stages of Soybean. **Environmental Entomology**, v. 26, n. 1, p. 76–83, 1997.

MASON, L. J.; JOHNSON, S. J.; WOODRING, J. Seasonal and Ontogenetic Examination of the Reproductive Biology of *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Environmental Entomology**, v. 18, n. 6, p. 980–985, 1989.

MORAES, R. R.; LOECK, A. E.; BELARMINO, L. C. Inimigos naturais de *Rachiplusia nu* (Guenée, 1852) e de *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) (Lepidoptera: Noctuidae) em soja no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 57–64, 1991.

MOTA-SANCHEZ D.; WISE J. C. The Arthropod Pesticide Resistance Database. **Michigan State University**, 2023.

NAUEN, R. *et al.* **Insectice Resistance and Mode-of-action Classification of Insecticides**, 2023.

- OERKE, E.C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31–43, 2006.
- OLIVEIRA, C. M. *et al.* Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50–54, 2014.
- OMER, A. D. *et al.* Sweetpotato whitefly resistance to insecticides in Hawaii: intra-island variation is related to insecticide use. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 67, n. 2, p. 173–182, 1993.
- OWEN, LUCAS. N. *et al.* Susceptibility of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Reduced-Risk Insecticides. **Florida Entomologist**, v. 96, n. 2, p. 554–559, 2013.
- PERINI, C. R. *et al.* Challenges in chemical management of soybean looper (*Chrysodeixis includens*) using several insecticides. **Australian Journal of Crop Science**, n. 13(10):2019, p. 1723–1730, 2019.
- PERINI, C. R. *et al.* Transcriptome Analysis of Pyrethroid-Resistant *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) Reveals Overexpression of Metabolic Detoxification Genes. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 1, p. 274–283, 2021.
- PROKOPY, R. J.; KOGAN, M. Integrated pest management. In: RESH, V. H.; CARDÉ, R. T., **Encyclopedia of Insects**. New York: Academic Press, 2003. p. 4–9.
- RABELO, M. M.; SANTOS, I. B.; PAULA-MORAES, S. V. *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) Fitness and Resistance Stability to Diamide and Pyrethroid Insecticides in the United States. **Insects**, v. 13, n. 4, p. 365, 2022.
- RAMOS, R. S. *et al.* Toxicity of insecticides to *Chrysodeixis includens* and their direct and indirect effects on the predator *Blaptostethus pallescens*. **Journal of Applied Entomology**, v. 141, n. 9, p. 677–689, 2017.
- RESH, V. H.; CARDÉ, R. T. **Encyclopedia of Insects**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2009.
- RESTELATTO, S. S. *et al.* Intraspecific variation in the *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) susceptibility to insecticides. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, 2021.
- SANTOS, S. R. DOS *et al.* Interseasonal variation of *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]) (Lepidoptera: Noctuidae) populations in the Brazilian Savanna. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 61, n. 4, p. 294–299, 2017.
- SATTELLE, D. B.; CORDOVA, D.; CHEEK, T. R. Insect ryanodine receptors: molecular targets for novel pest control chemicals. **Invertebrate Neuroscience**, v. 8, n. 3, p. 107–119, 2008.

- SCHNEIDER, J. A.; SOSA-GÓMEZ, D. R. Suscetibilidade de populações de *Chrysodeixis includens* e *Helicoverpa armigera* a inseticidas do grupo das diamidas. Resumos expandidos da **XXXV Reunião de Pesquisa de Soja**, Londrina, 2016.
- SEO, A. *et al.* Flubendiamide, a New Insecticide Characterized by Its Novel Chemistry and Biology. Em: **Pesticide Chemistry**. Wiley, 2 p. 127–135.
- SHAH, R. M.; SHAD, S. A. House fly resistance to chlorantraniliprole: cross resistance patterns, stability and associated fitness costs. **Pest Management Science**, v. 76, n. 5, p. 1866–1873, 2020.
- SILVA, C. S. *et al.* Population expansion and genomic adaptation to agricultural environments of the soybean looper, *Chrysodeixis includens*. **Evolutionary Applications**, v. 13, n. 8, p. 2071–2085, 2020.
- SILVEIRA NETO, S. *et al.* **Manual de ecologia dos insetos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1976.
- SIVASANKARAN, K. *et al.* A Checklist of Noctuidae (Insecta: Lepidoptera: Noctuoidea) of India. **Records of the Zoological Survey of India**, v. 111, n. 3, p. 79, 2011.
- SOSA-GÓMEZ, D. R. *et al.* Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja. **Embrapa Soja**, v. 269, n. 3, 2014.
- SPECHT, A.; DE PAULA-MORAES, S. V.; SOSA-GÓMEZ, D. R. Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 59, n. 4, p. 343–345, out. 2015.
- STACKE, R. F. *et al.* Susceptibility of Brazilian Populations of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Selected Insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 3, p. 1378–1387, 2019.
- STACKE, R. F. *et al.* Inheritance of lambda-cyhalothrin resistance, fitness costs and cross-resistance to other pyrethroids in soybean looper, *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Crop Protection**, v. 131, p. 105096, 2020a.
- STACKE, R. F. *et al.* Field-evolved resistance to chitin synthesis inhibitor insecticides by soybean looper, *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae), in Brazil. **Chemosphere**, v. 259, p. 127499, 2020b.
- TEIXEIRA, L. A.; ANDALORO, J. T. Diamide insecticides: Global efforts to address insect resistance stewardship challenges. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 106, n. 3, p. 76–78, 2013.
- THOMAS, J. D. *et al.* Factors Influencing Pyrethroid Resistance in a Permethrin-Selected Strain of the Soybean Looper, *Pseudoplusia includens* (Walker). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 55, n. 1, p. 1–9, 1996.

TOHNISHI, M. *et al.* Flubendiamide, a Novel Insecticide Highly Active against Lepidopterous Insect Pests. **Journal of Pesticide Science**, v. 30, n. 4, p. 354–360, 2005.

TWINKLE, P. R.; SHASHANK; CHATTOPADHYAY, P. C. Taxonomy of agriculturally important plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae). **Indian Journal of Entomology**, v. 80, n. 3, p. 748, 2018.

UESUGI, R. *et al.* Origin, selection, and spread of diamide insecticide resistance allele in field populations of diamondback moth in east and southeast Asia. **Pest Management Science**, v. 77, n. 1, p. 313–324, 2021.

WILLE, P. E. *et al.* Natural resistance of soybean cultivars to the soybean looper larva *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 1, p. 18–25, jan. 2017.

WU, K. *et al.* Regional reversion of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) is associated with the use of Bt cotton in northern China. **Pest Management Science**, v. 61, n. 5, p. 491–498, 2005.

ZAHIRI, R.; FIBIGER, M. The Plusiinae of Iran (Lepidoptera: Noctuidae). **SHILAP Revista de Lepidopterología**, v. 36, n. 143, p. 301–339, 2008.

ZALUCKI, M. P.; ADAMSON, D.; FURLONG, M. J. The future of IPM: whither or wither? **Australian Journal of Entomology**, v. 48, n. 2, p. 85–96, 2009.

ZULIN, D.; ÁVILA, C. J.; SCHLICK-SOUZA, E. C. Population Fluctuation and Vertical Distribution of the Soybean Looper *Chrysodeixis includens* in Soybean Culture. **American Journal of Plant Sciences**, v. 09, n. 07, p. 1544–1556, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A — Análise de variação e teste de significância dos efeitos da população, da geração e da interação população x geração sobre a mortalidade de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae)

Fonte de variação	GL	SQ	QM
População	2	45.847	22923*
Geração	7	20.171	2881*
População x Geração	14	9.166	654*
Resíduo	96	11.634	121

* Significativo a 5% conforme teste P.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE B — Análise da variação com a decomposição dos efeitos simples da variável população de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) atribuível à interação entre população e geração

Fonte de variação	GL	SQ	QM
SUSCI-15	7	1.021	146
SusRes	7	6.644	949*
CiResFlu	7	21672	3096*
Resíduo	96	11.634	121

* Significativo a 5% conforme teste P.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE C — Análise de variação dos contrastes ortogonais para exploração dos efeitos simples, da interação entre as população e geração de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae)

Fonte de variação	GL	SQ	QM
População	2	45847	22923*
C1 - CiResFlu + SusRes vs SUSCI-15	1	30891	30891*
C2 - CiResFlu vs SusRes	1	14955	14955*
Resíduo	96	11.634	121

* Significativo a 5% conforme teste P.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE D — Teste de significância dos contrastes ortogonais da sobrevivência das populações ao longo das gerações. Foram utilizadas as populações de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível (SUSCI-15), resistente a flubendiamida (CiResFlu) e 50% SUSCI-15 com 50% CiResFlu (SusRes) a flubendiamida

Fonte de variação	GL	SQ	QM
CiResFlu	7	21672	3096*
C1 - linear – CiResFlu	1	19634	19634*
C2 - quadrática – CiResFlu	1	324	324
C3 - cúbica – CiResFlu	1	4	4
...
SUSCI-15	7	1021	146
C4 - linear – SUSCI-15	1	660	660*
C5 - quadrática – SUSCI-15	1	2	2
C6 - cúbica – SUSCI-15	1	133	133
...
SusRes	7	6644	949*
C7 - linear – SusRes	1	5130	5130*
C8 - quadrática – SusRes	1	206	206
C9 - cúbica - SusRes	1	25	25
Resíduo	96	11.634	121

* Significativo a 5% conforme teste P.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).