



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIENCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

ANTONIA KARINE MESQUITA FERNANDES

**CUSTO ADAPTATIVO ASSOCIADO À RESISTENCIA DE *Spodoptera frugiperda* (J.
E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) A METOMIL**

FORTELEZA

2023

ANTONIA KARINE MESQUITA FERNANDES

CUSTO ADAPTATIVO ASSOCIADO À RESISTENCIA DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) A METOMIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof^ª. Rosilene Oliveira Mesquita, *D. Sc.*

Coorientador: Prof. Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.*

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F398c Fernandes, Antonia Karine Mesquita.
Custo adaptativo associado à resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a metomil / Antonia Karine Mesquita Fernandes. – 2023.
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientação: Prof. Dr. Patrik Luiz Pastori.

1. Carbamato. 2. Lagarta-do-cartucho. 3. Controle químico. 4. Tabela de vida. I. Título.

CDD 630

ANTONIA KARINE MESQUITA FERNNADES

CUSTO ADAPTATIVO ASSOCIADO À RESISTENCIA DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) A METOMIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof^ª. Rosilene Oliveira Mesquita, *D. Sc.*

Coorientador: Prof. Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.*

Aprovada em: 22/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Rosilene Oliveira Mesquita, *D. Sc.*
Universidade Federal do Ceará
Orientadora

Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.*
Universidade Federal da Grande Dourados
Coorientador

Raimundo Henrique F. Rodrigues, *M. Sc.*
Corteva Agriscience do Brasil LTDA

Karolina Rafrana da S. de Araújo, *M. Sc.*
Universidade Federal do Ceará

A Deus.

Aos meus pais, e ao meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo e por tanto. A nossa senhora, por sempre proteger e passar na frente por todo meu caminho. Ao meu irmão, Samuel, por ser meu coração fora do peito e aos meus pais, Célia e Ernandes, vocês são a base da minha vida e o motivo do meu esforço.

A Messias, pelo amor, companheirismo, cuidado, paciência, por sonhar junto comigo e segurar minha mão em todos os momentos.

Aos meus familiares, avós, tias(os), primas(os), padrinhos, madrinhas e especialmente a Samara e Sabrina por todo incentivo e suporte nessa caminhada.

Aos meus amigos e colegas de estudos, que compartilharam comigo as alegrias e desafios deste percurso acadêmico, agradeço por tornarem esses anos mais significativos e memoráveis. Brena, Iago, Mirelysia, Otaviano, Késsia, Natanael (biscoito), Egídio. A minha “panelinha” (Beatriz, Breno, Brenna, Dejaime, Dylia, Ivan, Jennifer (e Olivia) e Nicolle, nossa amizade foi essencial.

Ao meu eterno amigo, Hiago, que me ajudou no processo, mas infelizmente não chegou no final dele. Uma despedida pode causar muita dor, mas não diminui as alegrias que foram vividas até a hora do adeus.

Ao professor Raul Shiso e GEPESOLOS pela primeira oportunidade na carreira acadêmica na UFC.

Ao PET e membros, que compartilharam conhecimentos, recursos e debates enriquecedores. A colaboração de vocês desempenhou um papel crucial na minha formação. Além das amizades que me foram concedidas, que levarei para a vida.

A equipe LEA, que compartilharam conhecimentos e experiências. Foram bons momentos, desde experimentos demorados até um papo na hora do almoço, além da companhia diária. Especialmente agradeço ao Henrique, Karolina, Ádson e Valentine.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade de chegar até aqui e por proporcionar boas oportunidades durante minha formação acadêmica.

Aos participantes da banca examinadora, pelas sugestões e por todo tempo dedicado a leitura do trabalho. Professora Rosilene por cada “Sim” e por ser inspiração. Professor Patrik por sempre acreditar e apoiar. Henrique e Karolina, a colaboração de vocês foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

Minha gratidão a todas as pessoas e instituições que desempenharam um papel, direta ou indiretamente, fundamental na conclusão deste trabalho.

“Deus não poderia me inspirar desejos irrealizáveis.”

Santa Terezinha do menino Jesus.

RESUMO

O uso incorreto de inseticidas químicos sintéticos tem apresentado falhas no controle e promovido a seleção de populações de espécies-praga resistentes, como é o caso de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), espécie que representa uma ameaça constante para a agricultura mundial. A resistência dos insetos aos inseticidas pode apresentar custo adaptativo, prejudicando seu desenvolvimento em comparação aos indivíduos suscetíveis na ausência de pressão de seleção do inseticida. Identificar a presença ou ausência desse custo é crucial para adoção de estratégias de manejo da resistência. Assim, o objetivo foi avaliar a existência de custos adaptativos associados a resistência de *S. frugiperda* à Metomil. A população suscetível (SUS) de *S. frugiperda* foi coletada em campo e mantida no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da UFC. Para obtenção da população Metomil-resistente, parte do quantitativo de lagartas da população SUS passaram a ser alimentadas com folhas de milho tratadas com o princípio ativo Metomil, sendo mantidas sobre pressão de seleção, expostas à CL_{50} , por seis gerações. Foram avaliados os parâmetros da tabela de vida e de fertilidade das duas populações de *S. frugiperda*. A longevidade de cada estágio de vida (larva-pupa, pupa-adulto), a massa das pupas e parâmetros biológicos como: a taxa de sobrevivência, a razão sexual, a fertilidade, a fecundidade e a razão de resistência (RR) foram analisadas. De acordo com os resultados, a CL_{50} de Metomil obtida para a população suscetível foi menor que a CL_{50} da população resistente após 6 gerações indicando resposta à pressão de seleção com Metomil. A população apresentou baixa resistência, de acordo com o valor de razão de resistência. Os valores para a duração do período larval, larva-adulto diferiram, sendo maiores na população Metomil-resistente, sendo o tempo de geração maior na população resistente em 3,3 dias. A massa de pupas foi menor na população resistente. A menor porcentagem de sobrevivência das fases foi verificada na população resistente. Os parâmetros da tabela de fertilidade: Relação taxa intrínseca (r) e finita (λ) de aumento e taxa reprodutiva líquida (R_0) da população resistente foram significativamente menores. O valor de R_f , baseado na taxa líquida reprodutiva, foi menor que 1, o que indica presença de custos adaptativos na população resistente de *S. frugiperda*. Observou-se redução da fertilidade na população resistente em relação a suscetível. É possível concluir que existe custo adaptativo associado à resistência à Metomil na população de *S. frugiperda* estudada.

Palavras-chave: Carbamato; Lagarta-do-cartucho; Controle químico; Tabela de vida.

ABSTRACT

The incorrect use of synthetic chemical insecticides has shown control failures and promoted the selection of populations of resistant pest species, such as *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a species that represents a constant threat to world agriculture. Insect resistance to insecticides may have an adaptive cost, impairing their development compared to susceptible individuals in the absence of insecticide selection pressure. Identifying the presence or absence of this cost is crucial for the adoption of resistance management strategies. Thus, the objective was to evaluate the existence of adaptive costs associated with the resistance of *S. frugiperda* to Methomyl. The susceptible population (SUS) of *S. frugiperda* was collected in the field and kept at the Laboratory of Applied Entomology (LEA) of UFC. To obtain the Methomyl-resistant population, part of the number of caterpillars of the SUS population started to be fed with corn leaves treated with the active ingredient Methomyl, being kept under selection pressure, exposed to LC50, for six generations. The parameters of the life and fertility table of the two populations of *S. frugiperda* were evaluated. The longevity of each life stage (larva-pupa, pupa-adult), pupal mass and biological parameters such as survival rate, sex ratio, fertility, fecundity and resistance ratio (RR) were analyzed. According to the results, the LC50 of Methomyl obtained for the susceptible population was lower than the LC50 of the resistant population after 6 generations, indicating a response to selection pressure with Methomyl. The population presents low resistance, according to the resistance ratio value. The values for the duration of the larval, larva-adult period differed, being higher in the methomyl-resistant population, and the generation time was longer in the resistant population by 3.3 days. Pupal mass was lower in the resistant population. The lowest percentage of survival of the phases was observed in the resistant population. The parameters of the fertility table: Intrinsic (r) and finite (λ) rate of increase and net reproductive rate (R_0) ratio of the resistant population were significantly lower. The R_f value, based on the net reproductive rate, was less than 1, which indicates the presence of adaptive costs in the resistant population of *S. frugiperda*. A reduction in fertility was observed in the resistant population compared to the susceptible population. It is possible to conclude that there is an adaptive cost associated with resistance to Methomyl in the population of *S. frugiperda* studied.

Keywords: Carbamate; Fall armyworm; Chemical control; Life table.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Identificação por sexo de pupas de *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae) (BUTT; CANTU, 1962) 15
- Figura 2 – Esquema ilustrativo das etapas de exposição das lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) aos tratamentos com Metomil e água destilada + adjuvante (Testemunha) 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Concentração Letal (CL50) estimada de Metomil, sobre <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) após exposição à seis (6) gerações consecutivas	30
Tabela 2	– Duração média \pm erro padrão (dias) do ciclo de vida para machos e fêmeas das populações suscetível e Metomil-resistente de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)	31
Tabela 3	– Sobrevivência (%) das fases e razão sexual das populações suscetível e Metomil-resistente de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)	31
Tabela 4	– Parâmetros da tabela de vida das populações suscetível e Metomil-resistente de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IRAC	Comitê de Ação de Resistência a Inseticidas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LISTA DE SÍMBOLOS

- ® Marca Registrada
- % Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	13
2.1	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	13
2.1.1	<i>Danos e manejo integrado</i>	16
2.1.2	<i>Metomil</i>	17
2.2	Resistência de insetos-praga a inseticidas	18
3	Custo adaptativo associado à resistência	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	Local do experimento	25
4.2	Coleta e criação de <i>S. frugiperda</i>	25
4.3	Produtos utilizados e preparo da solução	26
4.4	Bioensaio de toxicidade larval	26
4.5	Determinação da concentração letal	27
4.6	Bioensaio de custo adaptativo	27
4.7	Parâmetros avaliados	28
4.8	Delineamento experimental e análise estatística	29
5	RESULTADOS	29
6	DISCUSSÃO	32
7	CONCLUSÕES	35
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é um dos cereais mais cultivados no mundo sendo produzido em diferentes escalas e regiões, com expressiva importância econômica e social em vários países. No entanto, diversos fatores podem limitar a produção de milho em campo, entre eles o ataque de pragas (ESTABELE et al., 2021).

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) tem-se tornado, em toda a América, um fator limitante na produção de milho, pela sua constância e severidade, iniciando seu ataque desde plantas recém-emergidas até fase reprodutiva da cultura (CRUZ, 2018). No Brasil, é considerada a principal praga da cultura do milho (ROSA et al., 2019). Além dos danos a cultura do milho, esse inseto causa perdas substanciais de produção e impactos econômicos significativos a várias culturas agrícolas como em soja (*Glycine max L.*) e, em algodão (*Gossypium hirsutum L.*) (OMOTO, 2023). Além da polifagia, o sucesso desta espécie é atribuído às características biológicas como alta capacidade de dispersão dos adultos e capacidade reprodutiva, com a produção de várias gerações por ano e ciclo curto (OKUMA et al., 2018). As perdas, em lavouras de milho, devido ao ataque da lagarta, podem reduzir a produção em até 60% (CRUZ, 2021).

O controle de *S. frugiperda* é realizado em maior parte, por duas técnicas, sendo o plantio de sementes geneticamente modificadas gerando plantas que expressam toxinas da bactéria *Bacillus thuringiensis (Bt)* Berliner, e o uso de inseticidas químicos, mas no Brasil existem diversos produtos biológicos registrados (CRESPO et al., 2021). Porém, o uso incorreto destas ferramentas de controle pode gerar falhas no manejo e, ao longo do tempo, resultando na seleção de populações resistentes a tecnologia *Bt* presentes no mercado e a uma gama de inseticidas o que torna ainda mais difícil o controle da espécie-praga (YU; NGUYEN; ABO-ELGHAR, 2003; ESTABELE et al., 2021).

Spodoptera frugiperda possui alta capacidade de desenvolver resistência aos inseticidas químicos e às plantas transgênicas que expressam proteínas de *Bt* (MURARO et al., 2021). Isso ocorre por que além da capacidade intrínseca da espécie como a plasticidade genética e alta fecundidade, fatores como a má utilização das ferramentas de controle por não seguir as recomendações técnicas, como por exemplo: ausência de plantio de áreas de refúgio, e particularmente, por induzir a pressão de seleção intensiva (CRESPO et al., 2021) favorecem o desenvolvimento de populações resistentes. O aumento no número de aplicações, por vezes incorretas, sendo desprezados critérios técnicos para definição da época de aplicação, da escolha dos bicos dos equipamentos, da dose e do tipo de inseticida, do volume de calda, do

tipo de equipamento e do estágio de desenvolvimento da planta, resultando justamente nestas falhas de controle e favorecendo o aumento da frequência de indivíduos-praga resistentes à alguns inseticidas (CRUZ, 2018). De acordo com a literatura a existe a probabilidade de falha de controle de *S. frugiperda*, com a utilização dos princípios ativos Clorraniliprole, Metomil e Clorpirifós, os três causaram mortalidades de 12%, 0% e 12%, respectivamente e somente o princípio ativo Espinosade resultaria em taxas aceitáveis (100%) de controle (BARCELOS et al., 2022). A resistência aos inseticidas pode ser entendida como a seleção de organismos que estão propensos geneticamente a sobreviver às doses que são letais para a maioria da população suscetível e ocorre devido a frequência de aplicação de um mesmo inseticida o que impede que seja atingido o nível de controle (IRAC, 2022).

Populações resistentes à inseticidas podem apresentar custo adaptativo e isso afeta o seu desenvolvimento em comparação aos indivíduos da mesma população que são suscetíveis, especialmente na ausência de pressão de seleção, ou seja, na ausência da aplicação do inseticida que ativo o mecanismo resistência. Identificar a presença ou ausência desse custo é crucial para estratégias de manejo da resistência e isso é particularmente relevante para *S. frugiperda*, uma vez que esse inseto-praga ataca diferentes culturas importantes no Brasil, onde são utilizados diversos produtos químicos para o controle (PADOVEZ, 2021). Portanto, faz-se necessário estudar a ocorrência frequente de populações de *S. frugiperda* resistentes à inseticidas e os impactos ocasionados. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o custo adaptativo de uma população de *S. frugiperda* resistente à Metomil, investigando como os parâmetros biológicos se relacionam com a sobrevivência e o sucesso reprodutivo. A compreensão dessas adaptações é fundamental para desenvolver estratégias de manejo de resistência de pragas viabilizando o controle eficaz e sustentável.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 *Spodoptera frugiperda* (*Lepidoptera: Noctuidae*)

A lagarta-do-cartucho, também conhecida como lagarta-militar, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma espécie móvel de hábito polífago que causa danos econômicos a várias culturas agrícolas importantes (OKUMA et al., 2018). Além de ser uma praga de importância econômica e ampla distribuição no continente americano (YÁÑEZ LOPEZ et al., 2019), este inseto-praga nativo das Américas, foi recentemente relatado

como praga invasora na África, Ásia e Oceania, sendo atribuído o status de uma praga de relevância global (MURARO et al., 2021).

No Brasil, esse inseto é considerado a principal praga da cultura do milho, por causar significativas perdas de produtividade (ROSA et al., 2019). Essa praga, destaca-se também nas culturas de soja (*Glycine max* L.) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.), onde se alimenta tanto de órgãos vegetativos quanto de órgãos reprodutivos das plantas (OMOTO, 2023).

O resultado favorável da *S. frugiperda* em campo é atribuído a características biológicas como dispersão de adultos, polifagia e alta capacidade reprodutiva, com a produção de várias gerações por ano (OKUMA et al., 2018). Isto ocorre, devido a praga não sofrer diapausa, como também, por apresentar ciclo de vida relativamente curto quando comparado a outras pragas, variando de 25 - 30 dias, a média diária de 25°C (AHISSOU et al., 2022).

Para fazer a correta identificação da praga em campo, devemos levar em consideração algumas características específicas que a *S. frugiperda* apresenta quando na fase de lagarta, como o “Y” invertido em sua cápsula cefálica, formado por uma sutura frontal, apresentando faixa dorsal clara com pontos pretos (pináculos) distribuídos, em pares, em cada lado dos segmentos do corpo, com quatro pontos pretos no último segmento abdominal dispostos em forma de quadrado (SOSA-GÓMEZ et al., 2014).

As mariposas fêmeas ovipositam aproximadamente 1000 ovos, em massa, sub-esféricos de coloração variável, mas geralmente acinzentada e cobertos por escamas provenientes do abdome da fêmea, cada massa contem de 100 a 200 ovos (SOSA-GÓMEZ et al., 2014). Em campo, os ovos geralmente podem ser encontradas na parte adaxial das folhas da cultura atacada (GALLO et al., 2002). Cerca de três dias após a postura dos ovos as larvas neonatas eclodem (BARROS et al., 2010), onde se movimentam por caminhamento ou por meio de balonismo, que é o ato das larvas de tecerem “teias”, formadas por fios de seda produzidos por glândulas de seda labiais, que, com o auxílio do vento, possibilita a colonização de cerca de 6 a 7 plantas, dependendo do espaçamento. Contudo ao atingirem instares mais avançados a movimentação se dá unicamente por meio de do caminhamento, devido ao aumento de peso das lagartas pela alimentação (ZALUCKI et al., 2002).

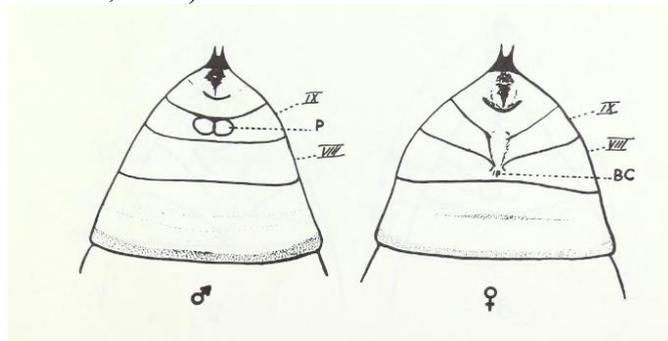
Durante o desenvolvimento larval, *S. frugiperda* passa por seis instares, podendo ser caracterizados pela idade (dias após a eclosão dos ovos) ou através do comprimento (ROSA; BARCELOS, 2012). A idade em dias inicia-se a partir da eclosão até cerca de quinze dias, com comprimento variando de 1 mm a 30 mm ou mais (BOREGAS et al., 2013). A duração dos instares é significativamente alterada em diferentes hospedeiros e épocas, sendo observado

ciclo mais curto em gramíneas, onde se destaca o trigo, e mais longo em o algodão e soja (SILVA et al., 2010). Conforme BARROS et al. (2010), o período de desenvolvimento larval é maior para lagartas alimentadas em maçã de algodoeiro (22,3 dias), enquanto no milho as larvas apresentam o tempo de desenvolvimento de 14,5 dias.

Em campo, normalmente é observado a presença de apenas uma lagarta desenvolvida por cartucho, pois esta espécie possui o hábito de canibalismo, mas quando as lagartas se encontram em instares diferentes é possível observar mais de uma, em um mesmo cartucho, separadas pelas lâminas das folhas (RUBIN, 2009).

Após o período larval, as lagartas penetram no solo para se transformarem em pupa. Esta fase dura cerca de 10 dias (BARROS et al., 2010), podendo sofrer variações de acordo com a temperatura do ambiente. A pupa no início possui coloração verde-clara, mas após alguns minutos a cor muda para alaranjada e depois para marrom-avermelhada, escurecendo, quando próximo à emergência dos adultos. (CONCEIÇÃO, 2019). As pupas apresentam diferença entre os sexos (Figura 1), em que observam-se diferentes caracteres morfológicos localizados nos urômeros genitais (LUGINBILL, 1928; BUTT; CANTU, 1962).

Figura 1- Identificação por sexo de pupas de *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae) (BUTT; CANTU, 1962)



Por fim, ocorre a emergência dos insetos adultos que medem cerca de 35 mm de envergadura e possuem dimorfismo sexual, sendo diferenciadas nesta fase pela coloração do primeiro par de asas. Os machos apresentam a coloração mais escura e listras mais claras próximas da margem da asa e pontos brancos próximos a parte central. Já as fêmeas não apresentam um padrão de cor definido, sendo predominantemente cinzas-amarronzadas. As asas posteriores em ambos os sexos são branco-prateadas, suas veias são evidentes, e sua margem externa possui uma banda marrom e estreita próxima da borda (PAROLIN, 2012; SOSA-GÓMEZ et al., 2014).

2.1.1 Danos e manejo integrado

Quando se fala em *S. frugiperda*, a fase larval é a que representa o período de maior preocupação da presença dessa praga em campo, por ser o estágio de desenvolvimento possível causar danos as culturas. No milho, as lagartas apresentam preferência por folhas mais jovens durante o período vegetativo, podendo danificar todas as estruturas aéreas da cultura (BUNTIN, 1986). Se o ataque ocorrer nos estádios iniciais da cultura, a lagarta pode levar a planta à morte. As partes reprodutivas também podem ser atacadas nas fases de pendramento e espigamento, neste caso leva a perdas diretas de produção além de favorecer o desenvolvimento de fungos e presença de micotoxinas nos grãos ocasionando a perda da qualidade dos grãos (CONCEIÇÃO, 2019).

Logo após a eclosão, as larvas neonatas começam a se alimentar raspando o tecido foliar deixando áreas translúcida e mantendo a epiderme do lado oposto ao ataque, intacta, causando o sintoma de folhas raspadas (GALLO et al., 2002; ZALUCKI et al., 2002). No segundo instar, as lagartas se alimentam de áreas maiores provocando a formação de perfurações nas folhas. No terceiro instar, até alcançar a fase de pré-pupa, a larva é capaz de consumir grande parte da área foliar, afetando a capacidade fotossintética e o potencial produtivo da planta (ROSA, 2011; SCOTON, 2022).

Com o desenvolvimento larval, a lagarta se dirige para o cartucho da planta, causando destruição do mesmo, mas de forma geral, se alimentam de todas as fases de crescimento da planta, possuindo preferência por cartuchos de plantas jovens (BUSATO et al., 2002). *Spodoptera frugiperda* também podem ser encontradas atacando plântulas, com hábito semelhante ao da lagarta rosca, além de atacar espigas e, perfurar a base da planta, atingindo o ponto de crescimento e provocando o sintoma de "coração morto", típico da lagarta elasmô. Outro sinal de sua presença é a observação de excreções das lagartas nas plantas (KOPPERT, 2022).

De forma geral, as perdas devido ao ataque da lagarta podem reduzir a produção da cultura do milho em até 60% (CRUZ et al., 2021). Na cultura do milho, o estágio mais sensível ao ataque é o vegetativo 8 a 10 (CRUZ et al., 2021) e a época ideal para realizar medidas para o controle é a presença de 20% plantas com notas maior ou igual a 3 na escala Davis (IRAC, 2023).

Spodoptera frugiperda é um inseto-praga polífago, que se alimenta de mais de 356 espécies de plantas e 76 famílias de plantas e utiliza-se de hospedeiros alternativos para se manter nos agroecossistemas (PASHLEY; MARTIN, 1987; MONTEZANO et al., 2018). Esse

fator, contribui para a dificuldade do manejo pois, a ampla oferta de hospedeiros que o inseto tem à disposição ao longo do ano torna difícil interromper o ciclo da praga, em virtude da sucessão de culturas, ou de plantios escalonados de culturas com fenologia diferente, mas em áreas próximas, como é o caso de culturas já citadas anteriormente, milho, soja e algodão (SÁ et al., 2009). Estas culturas são cultivadas no verão e devido à intensa exposição dessas plantas à pressão populacional desses insetos, vão sendo selecionadas novas preferências alimentares. Assim, esta praga vem se tornando um grande problema econômico em diversas culturas, onde antes era apenas do milho (SILVA et al., 2010).

Além disso, os danos provocados pela *S. frugiperda* podem se agravar devido às modificações no sistema de produção, tais como cultivos sucessivos de plantas hospedeiras da praga (“pontes verdes”), permitindo sua sobrevivência nas áreas de produção (IRAC 2023).

Uma análise do ciclo e do período de suscetibilidade das principais espécies cultivadas no verão, na safrinha e no inverno, nos diversos agrossistemas brasileiros, revelou a abundância de alimento disponível para a lagarta durante todo o ano (WAQUIL, 2006). Desse modo, nas gerações tropicais, onde a temperatura não limita o desenvolvimento do inseto, ocorre superposição de gerações e o crescimento populacional depende da adaptação da lagarta aos diferentes tipos de hospedeiros e da ação de agentes de controle, como os inimigos naturais ou uso do controle químico (ROSA; BARCELOS, 2012).

No que se refere ao controle, atualmente tem sido realizado principalmente com o plantio de lavouras geneticamente modificadas de plantas que expressam toxinas da bactéria *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (CRESPO et al., 2021). Alternativas de controle podem ser utilizadas como o uso inimigos naturais: artrópodes, vírus, bactérias, fungos e nematoides, que contribuem para o equilíbrio populacional da lagarta-do-cartucho (WAQUIL, 2006).

Um outro método de controle consolidado é a utilização de inseticidas químicos sintéticos. Contudo, é necessário considerar que embora ao longo dos anos o controle químico, venha desempenhando um papel importante no manejo desta praga, devido à aplicação inadequada da técnica como a sua utilização contínua e em doses não recomendadas, aliado a plasticidade genética da praga, sua alta fecundidade e particularmente a pressão de seleção intensiva, tem-se observado o desenvolvimento de populações resistentes às principais classes de inseticidas disponíveis no mercado (YU; NGUYEN; ABO-ELGHAR, 2003).

2.1.2 Metomil

Os inseticidas registrados para o controle de *S. frugiperda* são direcionados para a

fase que causa danos (lagarta), tendo destaque no controle os inseticidas com os ingredientes ativos alfa-cipermetrina, clorantniliprole + lambda-cialotrina, clorantniliprole, espinosade, deltametrina, metomil e clorfenapir (SILVA, 2018).

Metomil é um ingrediente ativo pertencente ao grupo químico principal dos inibidores da acetilcolinesterase, através de sua fosforilação, com amplo espectro de ação, da classe dos inseticidas sistêmicos e de contato. A acetilcolinesterase quando inibida, promove a desativação hidrolítica da acetilcolina, levando ao acúmulo de acetilcolina nos receptores pós-sinápticos e consequente hiperexcitação das terminações nervosas, tornando inadequada a transmissão de seus estímulos às células musculares, glandulares, ganglionares e do Sistema Nervoso Central (SNC), causando a morte do inseto (VAN SCOY, 2013).

Metomil pertence ao grupo químico metilcarbamato de oxima e a classe acaricida/inseticida. Possui 23 produtos comerciais registrados com esse ingrediente ativo. Sendo indicado para o controle de pulgões, tripses, coleópteros, mas em sua grande maioria, voltados a lepidópteros. Essa molécula, possui recomendação de uso, em sua maioria nas culturas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), batata (*Solanum tuberosum* L.), brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*), couve (*Brassica oleracea*), milho (*Zea mays*), repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), soja (*Glycine max* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.). (AGROFIT, 2023).

2.2 Resistência de insetos-praga a inseticidas

Além do potencial de se tornar pragas-chave de outras grandes culturas fora o milho, outra grande preocupação com a ocorrência da *S. frugiperda* nos cultivos é a resistência a inseticidas. De acordo com Muraro et al (2021), esta praga possui alta capacidade de desenvolver resistência a inseticidas químicos e a plantas transgênicas que expressam proteínas de *B. thuringiensis* (*Bt*).

No mundo foram registrados de 250 casos de resistência para *S. frugiperda* a 47 ingredientes ativos diferentes (IRAC, 2023). No Brasil tem-se registros de 76 casos relatados, sendo 17 ingredientes ativos diferentes (IRAC, 2023). A espécie também registrou resistência a várias tecnologias *Bt* (IRAC, 2023).

O primeiro relato de caso de resistência em populações de insetos foi do entomologista Melander (MELANDER, 1914). Desde então, o uso indiscriminado de inseticidas orgânicos sintéticos para controlar artrópodes-praga e vetores de doenças resultou

na resistência a pesticidas entre mais de 450 espécies de insetos-praga (KARUNAMOORTHY, 2013; IRAC, 2023).

A resistência a inseticidas pode ser definida como “uma mudança hereditária na sensibilidade de uma população de pragas que se reflete na falha repetida de um produto em atingir o nível de controle esperado quando usado de acordo com a recomendação do rótulo para essa espécie de praga” (IRAC, 2022). Ou seja, é a seleção de organismos que estão propensos geneticamente a sobreviver às doses que são letais para a maioria da população suscetível (IRAC, 2022). Segundo Guedes (2017), falhas de controle da praga alvo, quando todos os fatores que afetam a eficiência da pulverização dos inseticidas são adequados, é um dos sinais de que uma população possivelmente está se tornando resistente.

“A verdadeira resistência não ocorre a menos que uma mudança genética estrutural que é hereditário ocorra. Portanto, a resistência a inseticidas é um fenômeno evolutivo, da presença de novos biocidas no ambiente dessas populações. Resistência a inseticidas é diferente da tolerância a inseticidas. Tolerância é a capacidade natural de uma população de resistir ao efeito tóxico de um determinado inseticida. Pode ser desenvolvido dentro de uma geração como resultado de adaptação fisiológica, por exemplo, indução enzimática. Neste caso, a tolerância é perdida quando os insetos não estão mais expostos a um produto químico (ou seja, indutor)” (YU, 2015).

Por definição, existem dois tipos de resistência: a resistência múltipla e cruzada.

A resistência cruzada refere-se aos casos em que um único mecanismo de defesa confere resistência a dois ou mais inseticidas, produtos estes geralmente relacionados, ou seja, ambos pertencentes ao mesmo grupo. A resistência múltipla refere-se aos casos em que pelo menos dois diferentes mecanismos de defesa conferem resistência a dois ou mais inseticidas, produtos estes geralmente não relacionados, ou seja, pertencentes a grupos distintos (IRAC, 2022).

Em geral, a resistência múltipla se deve à seleção sequencial de populações com inseticidas de reposição. Cada novo inseticida selecionou um ou mais mecanismos de resistência, e cada mecanismo geralmente confere resistência cruzada a vários outros inseticidas (YU, 2015).

A resistência cruzada é a situação em que uma cepa se torna resistente a um inseticida e autodesenvolve resistência a outros inseticidas aos quais não foi exposto. Por exemplo, um estudo realizado por Riskallah et al., 1983, em que a seleção de uma cepa de *Spodoptera littoralis* (Boisduval, 1833) (Lepidoptera: Noctuidae) exposta a fenvalerato resultou em um aumento de 33 vezes na resistência. Essa mesma cepa resistente também

mostrou resistência a outros piretróides (11 a 36 vezes) e DDT (menor que para os piretróides) (YU, 2015).

Em relação à resistência cruzada, quando testada a suscetibilidade de uma população de *S. frugiperda* tratada com metomil exposta a lambdacialotrina, foi observado que a Razão da Resistência (RR) 50 teve valor de 19,1 vezes em relação a população susceptível. Enquanto a suscetibilidade da população exposta a metomil obteve uma taxa de resistência 13,3 vezes maior que a susceptível. Esses resultados sugerem que os mecanismos de resistência aos piretróides e carbamatos podem estar sendo estimulados em ambas as situações de pressão de seleção (MORILLO, 2001).

Em condições de laboratório, a seleção da resistência de *S. frugiperda* a spinosad resulta em resistência cruzada com spinetoram. Também foi confirmada resistência cruzada em populações de campo coletadas nas safras de 2006/2007 em seis diferentes regiões do Brasil (DOURADO, 2009).

Além disso, também foi detectada presença de resistência cruzada entre flubendiamida e diamidas antranílicas (clorantraniliprole, ciantraniliprole e tetraniliprol), em um estudo realizado em mais de 70 populações de *S. frugiperda* coletadas nas culturas de milho e algodão nas safras de 2018/19 a 2020/21, em oito estados brasileiros (OKUMA, 2022).

Já na resistência múltipla, a defesa é contra inseticidas através de mecanismos de resistência múltiplos e coexistentes. Pelo menos 71,5% das espécies exóticas de insetos e ácaros de importância agrícola resistentes presentes no Brasil apresentam resistência múltipla. Entre as espécies nativas, apenas a *S. frugiperda* apresentou resistência a ingredientes ativos pertencentes a três grupos de modo de ação. Entre as espécies-praga introduzidas no país, duas espécies apresentaram resistência a produtos com três modos de ação diferentes que atuam em diferentes sítios de ação, o que indica resistência múltipla, sendo elas: *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) e *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae). *T. urticae* e *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) são as espécies de pragas introduzidas que apresentam resistência a um maior número de ingredientes ativos diferentes (OLIVEIRA, 2017).

A resistência a inseticidas é um problema grave cuja incidência continua a aumentar. De acordo com o IRAC (Comitê de Ação de Resistência a Inseticidas), o aumento da frequência de resistência em *S. frugiperda* vem sendo documentado no decorrer das safras. Nas safras de 2019/2020 a frequência de resistência a inseticidas carbamatos (Grupo 1A), spinosinas (Grupo 5), avermectinas (Grupo 6), pyrroles (Grupo 13), diacilhidrazinas (Grupo 18), oxadiazinas (Grupo 22A) e semicarbazonas (Grupo 22B) apresentaram-se relativamente

baixa (< 20%) nas últimas safras. Porém, ressalta-se que ainda nas regiões da Bahia, Goiás e Mato Grosso, em algumas localidades, as sobrevivências a inseticidas diamidas (Grupo 28) atingiram valores > 20%. As frequências de resistência a inseticidas piretroides (Grupo 3) e inibidores de síntese de quitina (Grupo 15) continuam altas (> 40%) em algumas regiões produtoras do Brasil.

Com a introdução de plantas com tecnologia *Bt* no Brasil, principalmente o milho *Bt* em 2007, foi observada redução significativa na pulverização de inseticidas para o controle de *S. frugiperda*, verificando-se um restabelecimento da suscetibilidade de populações de *S. frugiperda* a alguns inseticidas. Por outro lado, com o aumento do plantio de cultivos *Bt* como milho, algodão e soja sem a adoção de áreas de refúgio que é uma das principais estratégias de Manejo da Resistência de Insetos (MRI), a evolução da resistência de *S. frugiperda* a algumas proteínas *Bt* (Grupo 11) já foi documentada, após 4 anos da introdução de milho *Bt* no Brasil, o que tem comprometido outras tecnologias de plantas *Bt* devido à resistência cruzada entre algumas proteínas *Bt* do grupo Cry1 (OMOTO, 2023).

Um outro conceito importante envolve os mecanismos relacionados a resistência. Os principais mecanismos pelos quais os insetos expressam a resistência são: mecanismos fisiológicos em que a resistência é conferida devido diminuição na penetração cuticular do produto químico, aumento da taxa de desintoxicação do produto químico pelo metabolismo e a redução na sensibilidade do sítio de ação (LIN et al., 2012) mecanismo moleculares que ocorre devido a insensibilidade do sitio alvo, mediada por alterações na carga genética do organismo (ONSTAD, 2014) e o mecanismo comportamental, que ocorre pelo desenvolvimento da capacidade do inseto de evitar uma área tratada (SPARKS et al., 1989; YU, 2015; ZALUCKI; FURLONG, 2017; IRAC,2022).

A chamada resistência cuticular assim chamada devido a diminuição da penetração dos inseticidas, aparenta ser um fenômeno comum dentre as três. E quando em conjunto com outro mecanismo tem efeito otimizado em relação a alguns inseticidas. Porém individualmente apresenta apenas uma leve resistência (YU, 2015).

Uma das características observadas em insetos com modificações na cutícula é o retardamento da penetração dos inseticidas para o interior do corpo do inseto, devido a dois mecanismos: o espessamento da cutícula e a alteração da composição da cutícula. Estas modificações são atribuídas à superexpressão de genes ou proteínas diversificadas, que pertencem a componentes estruturais (principalmente proteínas cuticulares), enzimas que catalisam reações enzimáticas (CYP4G16 e lacase 2) ou transportadores ABC que promovem a translocação cuticular (BALABANIDOU et al, 2018).

Na resistência por desintoxicação ou metabolização do inseticida por enzimas, são conhecidos três grupos. São elas: as monooxigenases do citocromo P450, hidrolases e GSTs (Glutathione S-Transferases), bem como transportadores ABC, (YU, 2011). A variação no número de cópias dos genomas de insetos constitui-se de uma rica fonte de polimorfismos potencialmente adaptativos que podem permitir a transcrição elevada de enzimas associadas à resistência a inseticidas (WEETMAN et al., 2018). Na resistência do tipo insensibilidade do local alvo aos inseticidas existem seis tipos: insensibilidade nervosa, acetilcolinesterase, redução na ligação do sítio alvo no intestino médio, mutação na cadeia de transporte de elétrons mitocondrial, mutação na quitina sintase e mutação em enzimas biossintéticas de lipídios (YU, 2015).

Além destes mecanismos fisiológicos citados anteriormente, existe também a resistência comportamental. No que se refere a essa resistência, existe a dependência de um estímulo, sendo uma questão que envolve a hipersensibilidade ou hiperirritabilidade. Insetos que apresentam esse tipo de resistência respondem a menores concentrações de inseticida do que insetos normais, indicando que estes podem conter receptores que detectam melhor inseticidas, sendo mais sensíveis à detecção (YU, 2015).

Para trabalhar o problema da resistência de pragas a defensivos agrícolas há necessidade de um esforço conjunto, entre produtores agrícolas, instituições de pesquisa e extensão rural, para a criação e implantação de estratégias efetivas para o manejo da resistência a defensivos (SATO, 2009).

Insetos resistentes podem apresentar um custo adaptativo, prejudicando seu desenvolvimento em comparação com os suscetíveis, especialmente na ausência de pressão de seleção. Isso atua como um freio natural, mantendo baixa frequência de alelos de resistência na população. Na ausência de custo adaptativo, os resistentes têm vantagem competitiva, mesmo sem pressão seletiva. Identificar a presença ou ausência desse custo em diferentes hospedeiros de importância agrícolas é crucial para estratégias de manejo da resistência. Isso é particularmente relevante para *S. frugiperda*, que afeta culturas importantes no Brasil, onde são usados diversos produtos químicos para controle dessa praga (PADOVEZ, 2021).

3 Custo adaptativo associado à resistência

Custo adaptativo é definido como um “trade-off”, onde os alelos que conferem maior adaptação em um determinado ambiente, por exemplo, presença de um tóxico, reduzem a adaptação em um ambiente alternativo (por exemplo, ausência de um tóxico) (YU, 2015).

Pode ser interpretado ainda como custo ecológico ou biológico que esses organismos que possuem os alelos de resistência apresentam (GOMES, 2020). Esse custo resulta, de forma geral, em insetos resistentes com adaptação inferior quando comparados a insetos suscetíveis na ausência de pressão de seleção de inseticida (YU, 2015). Sendo determinado como um fator genético, na qual, influência na velocidade e intensidade da evolução da resistência (KLIOT; GHANIM, 2012; PADOVEZ, 2021).

A avaliação da existência de custos adaptativos é normalmente feita por comparação entre características de desenvolvimento da praga, como: mudanças nas taxas de sobrevivência, peso das pupas, tempo de desenvolvimento, fecundidade/fêmea e porcentagem de eclosão de ovos entre as populações resistentes e suscetíveis (ABBAS, 2014).

De forma aplicada, pode-se analisar os custos de aptidão através do estudo da tabela de vida dos insetos. O estudo da tabela de vida de fertilidade é de grande valia para a compreensão da dinâmica populacional de uma espécie, uma vez que permite uma visão integrada das características biológicas de uma população, sob condições ambientais determinadas. Segundo Silveira Neto et al. (1976) cada indivíduo na tabela de vida apresenta sua própria velocidade de desenvolvimento, longevidade e fecundidade, sendo tais fatores expressos em termos médios da população. A taxa de natalidade e de mortalidade em uma população de insetos é determinada por várias condições: qualidade do alimento, temperatura, umidade relativa e fotoperíodo. Tais fatores governam as características biológicas em condições controladas ou não (BUSATO et al., 2004).

Além destes parâmetros biológicos, o custo pode também ser avaliado pelo monitoramento da estabilidade da resistência na ausência de pressão de seleção (JAKKA et al., 2014). Em 77 estudos, envolvendo 18 espécies de insetos, 62% detectaram custos adaptativos associados ao desenvolvimento, 15,5% na sobrevivência, 7,4% no tempo de desenvolvimento e 2,5% no peso dos insetos (GASSMAN, 2009).

Em uma população de *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775) foram investigados o custo adaptativo, a herdabilidade ao imidacloprido e a resistência cruzada ao imidacloprido, acetamiprid, lambdacialotrina e metomil. E após 14 gerações de seleção com imidacloprid, foi observado o desenvolvimento da resistência de 137,48 vezes ao inseticida. O bioensaio revelou que esta cepa apresentou resistência cruzada ao acetamiprid e à lambdacialotrina, mas observou-se resistencia cruzada negativa a metomil (ABBAS; SHAD; RAZAQ, 2012).

Estudos na área de avaliação dos custos de resistência vêm sendo feitos para desenvolver melhores estratégias de manejo da resistência em *S. frugiperda*.

Em outro estudo, foi selecionada uma cepa de *S. frugiperda* resistente a espinosinas e avaliada a herança e os custos adaptativos da resistência. Foi constatada uma resistência autossômica, parcialmente recessiva e poligênica ao spinosad em *S. frugiperda* e custos de adequação associados a essa resistência (OKUMA et al., 2018).

Muraro et al., (2021) também selecionou uma cepa de *S. frugiperda* resistente ao benzoato de emamectina em condições de laboratório para entender os padrões de herança, resistência cruzada e sinergismo envolvidos na resistência. Os resultados mostraram um alto risco de evolução de resistência de *S. frugiperda* ao benzoato de emamectina, com base na herança dominante incompleta.

No estudo de Barbosa et al (2020) larvas de *S. frugiperda* foram expostas alternadamente a Spinetoram e Metaflumizone com resposta inseticida e biológica determinada. A frequência de resistência aumentou após cinco gerações de pressão de seleção com os inseticidas utilizados. No entanto, a rotação de inseticidas reduziu a frequência de resistência em cerca de 50% ao longo das gerações. Indivíduos oriundos de exposições sucessivas aos inseticidas apresentaram atraso na incubação dos ovos, maior percentual de pupas com deformação, período larval e pupal mais longos e redução na taxa de emergência e longevidade dos adultos, sugerindo custos adaptativos associados à resistência.

Os custos de aptidão relacionados à resistência a inseticidas ocorrem onde o desenvolvimento de resistência a um inseticida é acompanhado por alto custo de energia ou desvantagem significativa que diminui a aptidão do inseto em comparação com suas contrapartes suscetíveis na população (KLIOT; GHANIM 2012).

É importante destacar que a intensidade do custo adaptativo é influenciada pelo efeito do ambiente sobre o inseto e por suas características genéticas sob pressão, e isso pode definir a sobrevivência e estabelecimento de populações de insetos resistentes (CARRIÈRE et al., 2010).

As desvantagens de aptidão que resultam da resistência a inseticidas podem desempenhar um papel importante em retardar ou mitigar a evolução da resistência e podem ser usadas como uma ferramenta para o manejo da resistência (YU, 2015). Visto que a evolução da resistência pode ser influenciada pela intensidade dos custos adaptativos associados às populações de insetos pragas (TABASHNIK et al., 2005).

O sistema comumente mais utilizado para retardar a resistência a inseticidas é a estratégia de refúgio de alta dose que utiliza áreas de refúgio livres de toxinas para abrigar genótipos suscetíveis. A estratégia depende da herança recessiva de genes de resistência em heterozigotos que são gerados em cruzamentos suscetíveis ou resistentes. A taxa de aumento

na frequência de resistência depende de fatores como a frequência inicial de alelos de resistência e os custos de aptidão. Os alelos que conferem resistência são raros antes da exposição ao inseticida e presume-se que exerçam efeitos negativos na aptidão na ausência de inseticida (YU, 2015).

Diante dos problemas expostos acerca do aparecimento frequente de resistência a inseticidas em lagarta-do-cartucho e os impactos ocasionados, como o crescente número de culturas atacadas pela lagarta do cartucho e as dificuldades de controle. No presente trabalho, as lagartas foram expostas a pressão de seleção com o inseticida metomil, para que fosse avaliado os custos de resistência para *S. frugiperda*. Objetivou-se avaliar o custo adaptativo de uma população resistente com relação a parâmetros biológicos de uma população susceptível. Além de fornecer bases para a elaboração de um programa de manejo de resistência de *S. frugiperda* ao metomil.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil, em condições controladas ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 horas).

4.2 Coleta e criação de *S. frugiperda*

A população de *S. frugiperda* foi coletada em campo, na cidade de Guaraciaba do Norte, Estado do Ceará, na safra 2020/2021. A coleta dos insetos foi feita por meio da obtenção de ovos e lagartas, recolhidos em copos plásticos (200 mL) com tampa e, acondicionadas em caixas de isopor, sendo levados para o Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) logo na sequência.

As lagartas coletadas foram submetidas a uma triagem inicial e posterior estabelecimento da criação. Os ovos de *S. frugiperda* foram acondicionados em placas de Petri (9 cm Ø) até a emergência das larvas. Após emergirem, as lagartas foram transferidas, com auxílio de um pincel de cerdas finas, para tubos de vidro (100 x 25 mm), previamente esterilizados em estufa por duas horas, contendo dieta artificial (KASTEN; PRECETTI; PARRA, 1978). Os tubos contendo as lagartas foram posteriormente tamponados com algodão

hidrofóbico e acomodados em uma sala sob condições controladas ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h), até que atingissem a fase de pupa.

Ao atingir a fase de pupa, estas foram coletadas e transferidas para placas de Petri (9 cm Ø) e acondicionadas no interior de gaiolas de PVC (10 x 25 cm). As gaiolas foram fechadas nas extremidades com tecido “voil” e revestidas internamente com papel toalha, utilizado como substrato para oviposição. Os adultos foram alimentados com solução de mel a 10% embebido em algodão, sendo substituída no momento da coleta de ovos, que ocorreu a cada dois dias.

4.3 Produtos utilizados e preparo da solução

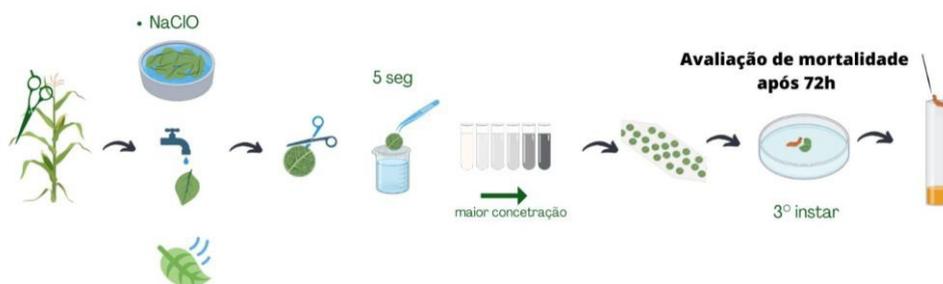
O princípio ativo Metomil (BAZUKA 216 SL[®]) foi diluído em água destilada e adicionado de 0,01% (v/v) de adjuvante surfactante não-iônico Triton[™] X-100. As soluções foram preparadas em béqueres de 100 mL.

4.4 Bioensaio de toxicidade larval

Plantas de milho (BRS 3046[®]) foram cultivadas em casa-de-vegetação, localizadas nas dependências da Universidade Federal do Ceará - UFC, sem aplicação de defensivos agrícolas até o estágio de desenvolvimento V₆. As folhas das plantas foram destacadas e levadas ao laboratório, onde foram limpas por imersão em solução de hipoclorito de sódio e secas ao ar. A metodologia de aplicação dos tratamentos adotada foi o que preconiza o Comitê de Ação de Resistência a Inseticidas (IRAC) método nº 007 (INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE, 2014), sendo este adaptado para a *S. frugiperda* na cultura do milho.

Discos foliares de milho foram mergulhados individualmente nas respectivas caldas correspondente ao tratamento por 5 segundos e, posteriormente, colocados para secar sobre papel alumínio. A testemunha consistiu no uso da água destilada com adjuvante. Após a secagem, os discos foliares foram colocados em tubos de plástico (2,5 Ø x 3,0 cm) e, em cada tubo, foi colocada uma lagarta de *S. frugiperda* de 3º instar (aproximadamente 5 dias de vida) e tampado. A mortalidade foi avaliada após 72 horas de exposição aos tratamentos. As lagartas foram consideradas mortas quando não apresentavam movimentos aparentes quando tocadas com um pincel de cerdas finas.

Figura 2 - Esquema ilustrativo das etapas de exposição das lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) aos tratamentos com Metomil e água destilada + adjuvante (Controle)



Fonte: Elaborada pela autora.

4.5 Determinação da concentração letal

As concentrações utilizadas para determinação da Concentração Letal (CL_{50}) foram obtidas com a realização de um pré-teste, no qual foram testadas concentrações entre 61,74 e 101,36 μg , que proporcionaram mortalidades mínimas e máximas de 5% e 95%, respectivamente (ROBERTSON et al., 2017; YU, 2015). A metodologia de aplicação e avaliação de mortalidade foi descrita no tópico anterior. O experimento foi conduzido utilizando 75 lagartas por concentração (25 lagartas/repetição). Os bioensaios referentes a cada repetição foram realizados em dois dias consecutivos (repetição/dia). Os dados de mortalidade foram submetidos à análise PROBIT usando o software Polo Plus (LEORA, 2003). Os testes de paralelismo e igualdade de constantes de regressão foram realizados, conforme o descrito por Robertson et al. (ROBERTSON et al., 2017). A população coletada em campo foi dividida em duas, sendo metade dos insetos mantidos sem exposição a inseticida Metomil (Suscetível) e a outra metade foi exposta à CL_{50} de Metomil (Resistente) por 6 gerações sucessivas. Os bioensaios foram conduzidos seguindo a metodologia de aplicação descrita no tópico bioensaio de toxicidade larval em *S. frugiperda*. Após a exposição, as lagartas sobreviventes foram mantidas em dieta artificial seguindo a metodologia de criação.

4.6 Bioensaio de custo adaptativo

O custo adaptativo associado à resistência ao princípio ativo Metomil foi avaliado através da investigação dos insetos provenientes da 7ª geração, oriundos da população resistente à Metomil e comparados a população suscetível. Ovos de cada população foram coletados nas

gaiolas, e colocados em placas de Petri (9 cm Ø), sendo observados diariamente até a emergência. As lagartas neonatas foram transferidas para tubos de vidro (2.5 × 8.5 cm) contendo aproximadamente 5 mL de dieta artificial. As lagartas foram avaliadas diariamente até completarem o ciclo de vida, sendo observada a mortalidade e a duração de cada estágio de vida.

A sobrevivência larval foi avaliada diariamente até as lagartas atingirem o estágio de pupa. A longevidade de cada fase de vida (larva-pupa, pupa-adulto), também foram avaliadas. As pupas obtidas foram pesadas em até 24 horas após sua formação, separadas por sexo e transferidas para placas de Petri (9 cm Ø) revestidas com papel filtro e, avaliadas diariamente até a emergência dos adultos. O número de lagartas que se tornaram pupas e o número de adultos emergidos das pupas foram utilizados para estimar a sobrevivência das lagartas e das pupas, respectivamente. A sexagem das pupas foi realizada segundo a metodologia de Butt e Cantu (1962). A razão sexual foi estimada pela divisão do número de pupas fêmeas pelo número total de pupas fêmeas e machos. Após a sexagem, os adultos recém-emergidos foram agrupados em casais e alimentados com solução de mel a 10%, mantidos em gaiolas de PVC (15 cm de altura/ 10 cm Ø), revestidas com papel toalha e fechadas na extremidade inferior com papelão e superior com tecido do tipo “voil”, preso com elástico. Foram utilizadas, no mínimo, 20 gaiolas por tratamento (cada gaiola representando uma repetição). As gaiolas foram distribuídas aleatoriamente sobre prateleiras mantidas em sala com ambiente controlado ($25 \pm 3^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h). A coleta e contagem dos ovos foi realizada diariamente. Para contagem foi utilizado um microscópio estereoscópio. Foram registrados os períodos de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição. A sobrevivência dos adultos também foi avaliada a cada 24 horas.

4.7 Parâmetros avaliados

Os dados referentes aos períodos de pré-oviposição, de oviposição, de pós-oviposição, a sobrevivência dos adultos e a fertilidade foram utilizados para estimar a tabela de vida de fertilidade usando o software TWO-SEX-MSChart (CHI, 2021), baseado na teoria dos estágios de idade, da tabela de vida de dois sexos (CHI; LIU, 1985) e o método descrito por Chi (1988), obtendo-se os parâmetros: Período de pré-oviposição adulto (APOP), período de pré-oviposição total (TPOP), tempo para dobrar a população (TD), r : taxa intrínseca de aumento (d^{-1}), λ : taxa finita de aumento (d^{-1}), GRR: taxa bruta de reprodução e R_0 : taxa líquida de reprodução (filho/indivíduo).

4.8 Delineamento experimental e análise estatística

Os experimentos foram conduzidos em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 5 repetições (20 lagartas/ repetição). Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variâncias paramétricas de Levene, sendo também verificada a presença de *outliers*. Posteriormente as medias foram comparadas utilizando o teste-t para amostras independentes ($t \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando Software R Version 4.3.0 (R CORE TEAM, 2023).

A razão de resistência (RR) foi calculada por: (CL_{50} da população resistente/ CL_{50} da população suscetível de referência) e, a classificação do nível de resistência a inseticidas das populações foi realizada de acordo com Shen e Wu (1995), onde considerou-se como suscetível ($RR < 3,0$), baixa resistência ($RR = 3,1-5,0$), resistência média ($RR = 5,1-10,0$), resistência moderada ($RR = 10,1-40,0$), alta resistência ($RR = 40,1-160$) e resistência extremamente alta ($RR > 160,0$). O custo adaptativo foi calculado utilizando valores de R_0 ($R_f = R_0$ da população resistente/ R_0 da população suscetível), onde $R_f > 1$ sugere que a taxa de reprodução líquida da população resistente aumenta, enquanto que $R_f < 1$ sugere que a população resistente tem um custo de aptidão relativa (LI et al., 2000; CAO; HAN, 2006; ABBAS et al., 2014).

5 RESULTADOS

A CL_{50} de Metomil obtida para a população suscetível foi 25,5% menor que a CL_{50} da população resistente após 6 gerações (Tabela 1), indicando resposta à pressão de seleção com Metomil da população de *S. frugiperda*.

Tabela 1- Concentração Letal (CL_{50}) estimada de Metomil, sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) após exposição à seis (6) gerações consecutivas

População (geração)	η	Slope (\pm EP)	Intercepto (\pm EP)	χ^2 (GL)	P	CL_{50} (IC 95%) $\mu\text{g i.a. mL}^{-1}$	RR (IC 95%)
Suscetível	551	$2,47 \pm 0,23$	$-3,54 \pm 0,37$	5,16 (6)	0,52	20,76 a (14,51-29,94)	-
Metomil-RES (G6)	554	$2,36 \pm 0,24$	$-4,51 \pm 0,50$	6,34 (6)	0,38	81,44 c (61,74-101,36)	3,92 (2,88-5,34)

η : Número de indivíduos; GL: Graus de Liberdade; χ^2 : Chi-quadrado; P: Significância; CL: Concentração letal; IC: Intervalo de confiança; Os valores de CL_{50} seguidos pela mesma letra não diferem significativamente devido à não sobreposição de intervalos de confiança de 95% (ICs); RR: Razão de resistência= CL_{50} da população resistente/ CL_{50} da população suscetível.

A duração do período de incubação dos ovos de *S. frugiperda* foi de cerca de 3 dias (Tabela 2) não sendo observada diferença significativa entre a população resistente e suscetível.

O estágio larval diferiu entre as populações (Suscetível e Metomil-Resistente) mas, não diferiu entre machos e fêmeas (Tabela 2), sendo mais longo para a população resistente, cerca de 17,02% maior que na população suscetível (Tabela 2).

Os estágios de pré-pupa e de pupa não diferiram entre as populações Suscetível e Metomil-Resistente, sendo em média, 1,9 e 10,44 dias, respectivamente (Tabela 2).

O período entre larva-adulto variou entre as populações (Suscetível e Metomil-Resistente) mas, não entre machos e fêmeas (Tabela 2). O maior período larva-adulto foi detectado para machos na população Metomil-resistente, com 12,35% acima do menor período observado na população suscetível (Tabela 2).

A massa das pupas diferiu entre as populações (Suscetível e Metomil-Resistente) (Tabela 2). A população suscetível apresentou valores mais altos, ou seja, pupas maiores, em relação às pupas formadas na população Metomil-resistente, sendo 12,46% menor a massa das pupas (Tabela 2).

Tabela 2 - Duração média \pm erro padrão (dias) do ciclo de vida para machos e fêmeas das populações suscetível e Metomil-resistente de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

Estágio (dias)*	Fêmea		Macho	
	Suscetível	Metomil-Resistente	Suscetível	Metomil-Resistente
Ovo	3,00 \pm 0,00 a			
Larva	14,73 \pm 0,27 b	16,98 \pm 0,41 a	14,69 \pm 0,24 b	17,19 \pm 0,41 a
Pré-pupa	1,87 \pm 0,05 a	1,95 \pm 0,05 a	1,83 \pm 0,08 a	1,92 \pm 0,12 a
Pupa	10,04 \pm 0,31 a	9,77 \pm 0,26 a	11,14 \pm 0,18 a	10,83 \pm 0,15 a
Larva-adulto	26,64 \pm 0,3 b	28,7 \pm 0,43 a	27,65 \pm 0,15 b	29,93 \pm 0,25 a
Massa das pupas (mg)	242,75 \pm 7,68 a	221,32 \pm 5,31 b	250,46 \pm 6,75 a	219,25 \pm 5,21 b

*Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A população Metomil-resistente apresentou aumento de 3,3 dias na duração total do ciclo quando comparada à população suscetível.

Todas as lagartas da população suscetível atingiram a fase de pupa (100,0%) e, da fase de pupa para a fase adulta a taxa foi de 98,0%, taxa essa que fechou o ciclo completo larva - adulto (Tabela 3). Na população Metomil-resistente, apenas 68,6% das larvas atingiram a fase de pupa e, destas, 88,7% atingiram a fase adulta (pupa - adulto). O ciclo completo larva - adulto

fechou em 60,8% (Tabela 3). Na comparação, observou-se que a porcentagem de sobreviventes foi 37,2% maior na população suscetível (Tabela 3).

Os dados demonstraram que não houve interferência na razão sexual nas duas populações (Suscetível e Metomil-Resistente) de *S. frugiperda* (Tabela 3).

Tabela 3 - Sobrevivência (%) das fases e razão sexual das populações suscetível e Metomil-resistente de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

Parâmetros ^a	Suscetível	Metomil-Resistente
% Larva-Pupa	100 ± 0 a	68.63 ± 3.62 b
% Pupa-Adulto	98 ± 1.26 a	88.73 ± 1.4 b
% Larva-Adulto	98 ± 1.26 a	60.78 ± 2.91 b
Razão Sexual	0.54 ± 0.05 a	0.46 ± 0.08 a

^aMédias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Os parâmetros da tabela de fertilidade: Relação taxa intrínseca (r) e finita (λ) de aumento e taxa reprodutiva líquida (R_0) da população suscetível foram significativamente maiores sendo 22,22; 4,16 e 72,34%, respectivamente, do que os valores da população Metomil-resistente (Tabela 4).

A taxa reprodutiva bruta (GRR) foi o único parâmetro da tabela de vida e de fertilidade que não apresentou diferença significativa entre as populações suscetível e Metomil-resistente de *S. frugiperda* (Tabela 4).

A população Metomil-resistente produziu cerca de 165 indivíduos em 37 dias, enquanto a população suscetível produziu, aproximadamente, 600 indivíduos por geração (R_0) em um tempo médio de geração (d) de 35 dias (Tabela 4). Isso representa redução de 28% no número de fêmeas geradas por fêmea na população resistente em uma geração quando comparada com a população suscetível (Tabela 4).

A população resistente apresentou taxa intrínseca de crescimento populacional de 0,14, assim como taxa finita de aumento populacional de 1,15 (Tabela 4). Isso significa que, para cada fêmea da população Metomil-resistente viva em 24 horas, espera-se 1,15 indivíduos gerados no dia seguinte. Na população suscetível, a taxa intrínseca foi de 0,18 e, para cada fêmea da população suscetível viva em 24 horas, espera-se 1,2 indivíduos no dia seguinte (Tabela 4).

O tempo de geração foi de 37 dias para a população Metomil-resistente, e de aproximadamente 35 dias para a população suscetível (Tabela 4). Assim, detectou-se que o

custo adaptativo da população resistente foi de 0,28 e a razão de resistência, baseado na CL_{50} , foi de 3,92.

Tabela 4 - Parâmetros da tabela de vida das populações suscetível e Metomil-resistente de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

Parâmetros ^a	Suscetível	Metomil-Resistente
Tempo de geração (d)	35.45 ± 0.29 b	37.34 ± 0.42 a
TD (d)	3.84 ± 0.08 b	5.06 ± 0.22 a
Fertilidade (n)	1154.04 ± 46.79 a	589.45 ± 71.07 b
Taxa intrínseca de aumento, r	0.18 ± 0 a	0.14 ± 0.01 b
Taxa finita de aumento, λ (day ⁻¹)	1.2 ± 0 a	1.15 ± 0.01 b
Taxa Reprodutiva Bruta GRR	711.31 ± 74.6 a	511.02 ± 204.85 a
Taxa reprodutiva líquida R_0	600.1 ± 62.48 a	165.96 ± 32.75 b

^aMédias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

6 DISCUSSÃO

Entender como os custos adaptativos afetam os parâmetros biológicos e reprodutivos, bem como sua interferência no controle de determinado inseto-praga é ponto importante para traçar estratégias de manejo da resistência de forma eficiente. De forma geral, o custo adaptativo ocorre devido ao desvio de recursos normalmente investidos em características biológicas para manutenção dos mecanismos de resistência (CARRIÈRE et al 1994; GASSMANN et al 2009).

No presente estudo, a resposta a pressão de seleção é confirmada devido ao incremento de aproximadamente 3 vezes no valor da CL_{50} da população resistente em comparação a suscetível. Este comportamento já era esperado para uma população resistente onde, em geral, se utilizam maiores concentrações do inseticida para causar mortalidade (IRAC, 2022). Já para a população suscetível, a capacidade de o produto causar mortalidade é maior, pois ao longo das gerações, houve pouca ou nenhuma exposição dos indivíduos ao ingrediente ativo.

Os custos adaptativos da população de *S. frugiperda* resistente a Metomil foram destacados na interferência negativa em algumas características biológicas, como aumento no ciclo de vida, redução no peso das pupas, menor fertilidade e crescimento da população. Essa interferência sugere custos adaptativos associados à resistência (JAKKA et al., 2014; BARBOSA, 2020).

O aumento no período de desenvolvimento observado na população resistente ao Metomil em relação a suscetível pode influenciar o intervalo de renovação da população, resultando em uma capacidade reduzida de crescimento populacional (SABER et al., 2013). Assim como maior tempo de exposição das lagartas às condições do ambiente e ação de inimigos naturais (DMITRIEW; ROWE 2005).

Para a duração do período de ovo, quando avaliado os custos adaptativos de *S. frugiperda* a Spinosad e a Lambda-Cialotrina, também não foi observada diferença entre as populações suscetível e resistente de *S. frugiperda* alimentadas com dieta artificial (~3 dias) (DIEZ-RODRIGUEZ, 2000; OKUMA et al., 2018), semelhantemente ao observado no presente estudo.

No que se refere ao estágio larval, resultados equivalentes já foram observados em diferentes linhagens de *S. frugiperda* resistentes a Diamidas e a Espinosinas, onde houve maior duração do período larval da população resistente em comparação com a população suscetível, sendo a duração do estágio larval da população resistente, 4 dias maior que a da suscetível (OKUMA et al., 2018; PADOVEZ, 2021).

Dentre os estágios de desenvolvimento, a fase de pupa apresentou maior duração, resultando em um aspecto positivo considerando que nesta fase a lagarta-do-cartucho não causa prejuízo pois não se alimenta e como fica sésil, estão mais exposta às ações antrópicas e do ambiente. Além disso, o aumento de um dia na duração da fase de pupa dos machos em relação às fêmeas, em populações resistentes, já foi um comportamento observado (DIEZ-RODRIGUEZ, 2000; OKUMA et al., 2018). Essa alteração pode interferir no acasalamento entre indivíduos provenientes de mesma progênie, uma vez que os machos de *S. frugiperda* procuram as fêmeas para cópula logo após a emergência (CROCOMO; PARRA, 1985).

No que se refere ao peso das pupas, cabe destacar que pupas fêmeas, são naturalmente mais pesadas, mas perdem mais peso em comparação com as pupas que se tornam machos. Isso está relacionado à produção de órgãos reprodutivos mais complexos nas fêmeas, que requer material biológico, como gorduras e carboidratos, para sua formação. No entanto, as pupas fêmeas não terminam com um tamanho corporal inferior às pupas machos. Isso destaca a importância da fase de pupa no desenvolvimento de estruturas especializadas, como os órgãos reprodutivos (PEREIRA; PONTES, 2015).

Ao ser avaliado a sobrevivência dos diferentes estágios de desenvolvimento das duas populações, observa-se novamente o impacto da resistência no desenvolvimento dos indivíduos, uma vez que, a uma redução significativa na porcentagem de indivíduos

sobreviventes da população resistente em relação a suscetível. Essa mesma resposta foi observada em *S. litura* resistente a Profenofós e *Heliothis virescens* (Fabricius, 1781) (Lepidoptera: Noctuidae) resistente a Indoxacarb e Deltamethrin, em que sugere-se que esse efeito está associado a uma espécie de “troca” da distribuição de recursos entre resistência e custo de aptidão (SAYYED; AHMAD; CRICKMORE, 2008; ABBAS et al., 2014).

Os dados apresentados demonstraram que o parâmetro razão sexual não foi alterado pela presença da resistência nos indivíduos, isso porque de forma geral, o efeito da resistência de manifesta como mudanças relacionadas ao desenvolvimento dos insetos, tais como: sobrevivência, número de ovos postos por fêmea, tempo de desenvolvimento e peso da pupa (BREWER; TRUMBLE, 1991; GROETERS et al., 1994; ROUSH, 1994; IDRIS; GRAFIUS, 1996; ABBAS et al., 2014).

A resposta da população resistente à Metomil foi baixa nos parâmetros de crescimento populacional (taxa reprodutiva líquida (R_0), taxa finita de aumento (λ dia⁻¹) e na taxa intrínseca de aumento (r), ou seja, a população aumenta o número de indivíduos de forma lenta e com maior tempo. De forma semelhante, uma população de *S. frugiperda* resistente à Metaflumizona também apresentou baixos valores para os parâmetros de crescimento populacional (taxa líquida de reprodução (R_0), taxa finita de aumento (λ) e tempo necessário para a população dobrar em número de indivíduos (TD) e aptidão relativa (BARBOSA et al., 2020). O mesmo também foi observado em *S. frugiperda* resistente a Spinosad, onde a população suscetível produziu mais indivíduos em menos tempo, sendo observado que a população resistente produziu 158 fêmeas por fêmea recém-nascida por geração (R_0) em um tempo médio de geração (T) de 39 dias, enquanto a população suscetível e cruzamentos recíprocos produziram aproximadamente 321 fêmeas por fêmea em cerca de 34 dias (OKUMA et al., 2018). Esses resultados sugerem que, na ausência de pressão seleção, a população resistente terá menor desempenho em relação à população suscetível e, portanto, haverá maior chance de restabelecimento da população suscetível ao produto (BARBOSA et al., 2020). Os alelos que conferem resistência tornam-se pouco comuns dentro das populações quando não há pressão seletiva, visto que frequentemente estão ligados a impactos negativos na influência biológica na ausência do inseticida (HOFFMANN; PARSONS 1991; HOLLINGSWORTH et al., 1997).

O prolongamento do tempo de geração da população resistente a Metomil quando comparado a população suscetível, é resultado do impacto negativo do custo adaptativo. De forma similar, *S. frugiperda* exposta a pressão de seleção com Spinetoram apresentou o tempo de uma geração (T) com intervalo de tempo maior entre cada geração, correspondendo a um

aumento ~ 1,8 dias em comparação com a população suscetível (BARBOSA et al., 2020). Esses resultados reforçam que o aumento no tempo de geração é reflexo da manutenção da resistência, uma vez que para manter essa capacidade, podem ocorrer interferências no processo de desenvolvimento e sobrevivência de organismos resistentes quando não há presença de inseticidas resultando em maior tempo de geração (ARNOLD et al., 2002; LIU et al., 2002; GASSMANN et al., 2009).

Outro custo adaptativo que pode ser observado é o comprometimento da capacidade reprodutiva (fertilidade e fecundidade) (ARNOLD et al., 2002; LIU et al., 2002; GASSMANN et al., 2009), observado na menor fertilidade das fêmeas resistentes ao Metomil em comparação com as suscetíveis. De forma geral, as fêmeas resistentes geralmente têm menor fecundidade (ABBAS, 2014).

Os resultados relacionados à taxa intrínseca de crescimento populacional refletem diretamente na taxa finita de aumento (λ) populacional, demonstrando que para cada fêmea oriunda da população de *S. frugiperda* resistente a Metomil será esperado menor número de indivíduos no dia seguinte quando comparado com a população suscetível avaliada. Resultados semelhantes também foram relatados nos estudos com *S. frugiperda* resistente a Spinosade, em que a população apresentou uma taxa intrínseca de aumento populacional menor que o observado para as fêmeas da população suscetível ou cruzamentos recíprocos, sendo esperado respectivamente 1,11 e 1,20 indivíduos no dia seguinte para cada fêmea presente em um dia (OKUMA et al., 2018). O mesmo efeito significativo ($p < 0,05$) foi observado em *S. frugiperda* resistente a Metaflumizona, tendo a população resistente, taxa finita com valor inferior em relação à população suscetível (BARBOSA et al., 2020).

Uma das possibilidades para justificar o custo adaptativo observado nas populações resistentes é o aumento do gasto energético para reposição de células danificadas em insetos resistentes (CASTAGNOLA; JURAT-FUENTES, 2016).

7 CONCLUSÕES

Houve resposta à pressão de seleção, após 6 gerações de exposição a Metomil para seleção de uma população resistente.

Os dados biológicos indicam que existe custo adaptativo associado à resistência de *S. frugiperda* a Metomil.

O ciclo de vida e parâmetros de desenvolvimento da praga são afetados devido ao custo adaptativo, diferindo entre a população resistente ao Metomil e suscetível.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resistência de insetos aos inseticidas pode resultar em aumento no número de aplicações de produtos, muitas vezes mais caros e tóxicos, o que compromete os programas de Manejo Integrado de Pragas, além de causar prejuízos ambientais pelo uso excessivo de inseticidas com ingredientes ativos diferentes na tentativa de controlar a praga, agora resistente. Essa exposição da população resistente a diferentes ingredientes ativos, antes efetivos, pode levar a perda de eficácia de mais inseticidas, diminuindo assim o número de produtos liberados para o controle da praga.

Portanto, adotar práticas corretas de manejo das pragas, como a rotação de inseticidas com diferentes modos de ação, no caso do estudo, de grupos diferentes do grupo 1A, que sejam efetivos e liberados para a praga-alvo. Uma vez que o controle químico continua sendo a principal estratégia para o manejo de *S. frugiperda* em condições de campo. Também é necessário destacar o uso das tecnologias de milho *Bt*, sendo que nas áreas é preciso adotar o plantio de áreas de refúgio e outras táticas do MIP, para retardar a evolução da resistência de *S. frugiperda* às proteínas *Bt* e inseticidas em campo.

É necessário também seguir as recomendações de bula, adotar outras táticas de controle, previstas no Manejo Integrado de Pragas (MIP) como rotação de culturas, controle biológico, controle por comportamento etc., sempre que disponível e apropriado. Consultar sempre um Engenheiro Agrônomo para o direcionamento das principais estratégias regionais para o manejo de resistência e para a orientação técnica na aplicação de inseticidas.

Assim, o presente trabalho demonstrou que estudar a resistência de insetos a inseticidas é importante, mas mais importante ainda é entender que existem custos adaptativos e como eles interferem no desenvolvimento da praga e na manutenção dela em campo. E fazer essas informações chegarem ao produtor, por exemplo, a informação de que na ausência de pressão de seleção, a população resistente tem menos adaptação que uma população suscetível. Fazendo-os adotar as práticas corretas do manejo da resistência.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, N.; SHAD, S.A.; RAZAQ, M.; WAHEED, A.; ASLAM, M. Resistance of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) to profenofos: Relative fitness and cross resistance. **Crop Protection**, 58:49-54, 2014.
- ABBAS, N.; SHAD, S. A.; RAZAQ, M. Fitness cost, cross-resistance and realized heritability of resistance to imidacloprid in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, [S. l.], v. 103, n. 3, p. 181–188, 2012. DOI: 10.1016/j.pestbp.2012.05.001.
- AGROFIT**. Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 01 dez 2023.
- AHISSOU, B. R.; SAWADOGO, W. M.; SANKARA, F.; BROSTAU, Y.; BOKONONGANTA, A. H.; SOMDA, I.; VERHEGGEN, F. J. Annual dynamics of fall armyworm populations in West Africa and biology in different host plants. **Scientific African**, v. 16, p. e01227, 2022.
- ARNAUD, L.; HAUBRUGE, E. Insecticide resistance enhances male reproductive success in a beetle. **Evolution**, v. 56, n. 12, p. 2435-2444, 2002.
- BALABANIDOU, V.; GRIGORAKI, L.; VONTAS, J. Insect cuticle: a critical determinant of insecticide resistance. **Current Opinion in Insect Science**, 2018; 27: 68-74.
- BARBOSA, M. G. **Estratégias no manejo de resistência de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) e de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Rotação de inseticidas e controle biológico com parasitoide**. 2019. 108p. Tese (Doutorado em Agronomia Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- BARBOSA, M. G.; ANDRÉ, T. P. P.; PONTES, A. D. S.; SOUZA, S. A.; OLIVEIRA, N. R. X.; PASTORI, P. L. Insecticide Rotation and Adaptive Fitness Cost Underlying Insecticide Resistance Management for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 49, n. 6, p. 882-892, 2020. DOI: 10.1007/s13744-020-00800-y.
- BARROS, E. M.; TORRES, J. B.; BUENO, A. F. Oviposição, desenvolvimento e reprodução de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes hospedeiros de importância econômica. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 996-1001, 2010.
- BARCELOS, J. V. P. L.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, L. V. P.; da SILVA, W. R.; PEÇANHA, L. S.; FRANÇA, T. A.; SILVA, G. A. (2022). Probabilidade de falha de controle de seis inseticidas utilizados para o controle de *Spodoptera frugiperda* em Campos dos Goitacazes. **Confict**, v. 14, n. 1, 2022.
- BOREGAS, K. G. B.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; FERNANDES, G. W. Estádio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia**, [S. l.], v. 72, n. 1, p. 61–70, 2013. DOI: 10.1590/S0006-87052013000100009.

BREWER, M. J.; TRUMBLE, J. T. Inheritance and fitness consequences of resistance to fenvalerate in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 84, n. 6, p. 1638-1644, 1991.

BUNTIN, G. D. A review of plant response to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), injury in selected field and forage crops. **Florida Entomologist**, p. 549-559, 1986.

BUSATO, G. R.; GRÜTZMACHER, A. D.; GARCIA, M. S.; GIOLO, F. P.; MARTINS, A. F. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz irrigado. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 525–529, 2002. DOI: 10.1590/s1519-566x2002000400003.

BUSATO, G. R.; GRTZMACHER, A.D.; OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, E. A.; ZIMEER, P. D.; KOPP, M. M.; BANDEIRA, J. D. M.; MAGALHÃES, T. R. Analysis of the molecular structure and diversity of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepdopitera: Noctuidae) populations associated to the corn and rice crops in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 33, p. 709-716, 2004.

BUTT, B. A.; CANTU, E. Sex determination of lepidopterous pupae. United States Department of Agriculture, **Agriculture Research Service**. Rep., v. 33, n. 75, p. 1-7, 1962.

CAO, G. C.; HAN, Z. J. Tebufenozide resistance selected in *Plutella xylostella* and its cross-resistance and fitness cost. **Pest Management Science**, v. 62, p. 746-751, 2006.

CARRIÈRE, Y.; CROWDER, D.W.; TABASHNIK, B.E. Evolutionary ecology of insect adaptation to Bt crops. **Evolutionary Applications**, v. 3, n. 5-6, p. 561-573, 2010.

CARVALHO. **Movimentação larval de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho cultivado no sistema Santa Fé**. 2019. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista UNESP - Campus de Jaboticabal, 2019.

CASTAGNOLA, A; JURAT-FUENTES, J. L. Intestinal regeneration as an insect resistance mechanism to entomopathogenic bacteria. **Current opinion in insect science**, v. 15, p. 104-110, 2016.

CHI, H. **Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals**. Environmental Entomology, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 26-34, 1988. DOI: 10.1093/ee/17.1.26.

CHI, H. **TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis**. 2021. Disponível em: <http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart-exe-B100000.rar>.

CHI, H; LIU, H. Two new methods for the study of insect population ecology Bull. Inst. Zool. Acad. Sin. **Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 225-240, 1985.

CROCOMO, W. B.; PARRA, J. R. P. Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae) sobre milho, trigo e sorgo. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 29, n. 2, p. 363-368, 1985.

Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas - IRAC-BR. **Grupo de Biotecnologia do IRAC-BR apresenta primeiros resultados sobre a efetividade das áreas de refúgio para culturas no Brasil.** - 2021. Disponível em https://www.illac-br.org/_files/ugd/2bed6c_ce268c4234264e3f911aacf96ccca9bb.pdf?index=true. Acesso em: 30 nov 2023.

Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas - IRAC-BR. **VOCÊ SABE O QUE É RESISTÊNCIA DAS PRAGAS AOS INSETICIDAS?.** - 2021. Disponível em: <https://www.illac-br.org/single-post/voc%C3%AA-sabe-o-que-%C3%A9-resist%C3%Aancia-das-pragas-aos-inseticidas>. Acesso em: 14 mar 2023.

CONCEIÇÃO, L. S. **Movimentação larval de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho cultivado no sistema Santa Fé.** 2019. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista UNESP - Campus de Jaboticabal, 2019.

CRESPO, A. M.; GONÇALVES, D. da C.; SOUZA, M. N.; ZANÚNCIO JUNIOR, J. S.; COSTA, H.; FAVARATO, L.; F.; RANGEL, O. J. P.; ARAÚJO, J. B. S. **CRESPO, A. M. et al. Manejo da lagarta-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*): panorama geral das atualizações no controle alternativo.** Alegre, ES, v. 6, p. 20, 2021.

CRUZ, I. **Influência do equipamento de aplicação e estágio de desenvolvimento da planta na eficiência de diferentes inseticidas no controle de lagartas de *Spodoptera frugiperda*.** 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/479093>

CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAQUIL, J. M. **Milho Pragas da fase vegetativa e reprodutiva.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA - 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/pragas-e-doencas/pragas/pragas-da-fase-vegetativa-e-reprodutiva>. Acesso em: 18 ago 2023.

DONG, J; WANG, K; LI, Y; WANG, S. Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole on *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, [S. l.], v. 136, p. 58–63, 2017. DOI: 10.1016/j.pestbp.2016.08.003.

DIEZ-RODRIGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 311-316, 2001.

DMITRIEW, C.; ROWE, L. Resource limitation, predation risk and compensatory growth in a damselfly. **Oecologia**, v. 142, p. 150-154, 2005.

DOURADO, P. M. **Resistência De *Spodoptera Frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a Spinosad No Brasil.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências - Entomologia) - Universidade Estadual de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ, 2009.

ESTABELE, D. L; BASSETTO FILHO, J. J; PINHO, C. A; OLIVEIRA, T. L. de; GOMES, L. R. O; ZAMBRANA, G. de O; PRESTES, C. F; FUGA, F; ROGGIA, S. **Controle da lagarta *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) em milho com inseticidas químicos associados a extratos de planta.** In: XVI JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA. 2021, Londrina. Resumos expandidos. n. 440, p. 140-148. Embrapa Soja, 2021.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S. S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; FILHO, E. B.; P., P. J. R.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, p. 920, 2002.

GASSMANN, A.J.; CARRIÈRE, Y.; TABASHNIK, B.E. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. 2009. **Annual review of entomology**, 54: 147-163, 2009.

GOMES, C.M. **Custo adaptativo e perda da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) resistente ao milho Bt**. 2020. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista UNESP - Campus de Jaboticabal, 2020.

GROETERS, F. R.; TABASHNIK, B. E.; FINSON, N.; JOHNSON, M. W. Fitness costs of resistance to *Bacillus thuringiensis* in the diamondback moth (*Plutella xylostella*). **Evolution**, p. 197-201, 1994.

GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, control failure likelihood and the First Law of Geography. **Pest Management Science**, v. 73, n. 3, p. 479-484, 2017.

HOFFMANN, A A.; PARSONS, P. A. Evolutionary genetics and environmental stress. **Oxford University Press**, New York, NY, 1990.

HOLLINGSWORTH, R. G.; TABASHNIK, B. E.; JOHNSON, M. W.; MESSING, R. H.; ULLMAN, D. E. Relationship between susceptibility to insecticides and fecundity across populations of cotton aphid (Homoptera: Aphididae). **Journal of Economic Entomology**, v. 90, n. 1, p. 55-58, 1997.

IDRIS, A. B.; GRAFIUS, E. Effects of wild and cultivated host plants on oviposition, survival, and development of *Diamondback moth* (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). **Environmental Entomology**, v. 25, n. 4, p. 825-833, 1996.

INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE -, I. R. A. C. IRAC. **Susceptibility Test Methods Series, Method No. 007: Leaf-eating lepidoptera (including *Heliothis*, *Helicoverpa*) and Coleoptera on cotton, vegetable and field crops**. 2014. DOI: https://irac-online.org/content/uploads/Method_007_v3.1_24july14.pdf.

JAKKA, S.R.K.; KNIGHT, V.R.; JURAT-FUENTES, J.L. Fitness costs associated with field-evolved resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). 2014, **Journal of Economic Entomology** 107:342-351, 2014..

KARUNAMOORTHY, K.; SABESAN, S. Insecticide resistance in insect vectors of disease with special reference to mosquitoes: a potential threat to global public health. 2013. **Health Scope**, 2(1), 4-18, 2013. DOI: <https://doi.org/10.17795/jhealthscope-9840>

KASTEN, P. Jr.; PRECETTI, A. A. C. M.; PARRA, J. R. P. Comparative biologic data on *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) on two artificial diets and natural substrate. **Revista de Agricultura, [S. l.]**, v. v. 53, 1978.

KLIOT, A.; GHANIM, M. Fitness costs associated with insecticide resistance. *Pest management science*, v. 68, n. 11, p. 1431-1437, 2012.

KOPPERT. **Lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda***. 2022. Disponível em: <https://www.koppert.com.br/desafios/control-de-pragas/lagartas/lagarta-do-cartucho/>. Acesso em: 14 mar 2023.

LEORA, S. Poloplus, a user's guide to probit or logit analysis. **LeOra Software, Berkeley, CA, 2003. Poloplus, a user's guide to probit or logit analysis** LeOra Software, Berkeley, CA LeOra Software Berkeley, CA, 2003.

LI, T. W.; GAO, X. W.; ZHENG, B. Z.; LIANG, P. Study on genetics of avermectins resistance and population fitness in *Plutella xylostella*. *Acta Entomologica Sinica*, v. 43, p. 255-263, 2000.

LIU, S. S.; CHEN, F. Z.; ZALUCKI, M. P. Development and survival of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology*, v. 31, n. 2, p. 221-231, 2002.

LUGINBILL, P. **The fall armyworm**. U.S. Department of Agriculture. 73 p. Technical Bulletin, n 34. 1928.

MELANDER, A. L. Can insects become resistant to sprays?. *Journal of Economic Entomology*, v. 7, p. 167, 1914.

MONTEZANO, D. G., SOSA-GÓMEZ, D. R., SPECHT, A., ROQUE-SPECHT, V. F., SOUSA-SILVA, J. C., PAULA-MORAES, S. D., PETERSON, J.A., HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African entomology*, v. 26, n. 2, p. 286-300, 2018.

MOREIRA, M. F.; MANSUR, J. F. **Resistência e Inseticidas: Estratégias, Desafios e Perspectivas no Controle de Insetos**. 2013. Tópicos Avançados em Entomologia Molecular: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Entomologia Molecular. Rio de Janeiro. p. 36-58.

MORILLO, F.; NOTZ, A. Resistência de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. *Entomotropica, Maracay*, v. 16, n. 2, p. 79-87, 2001.

MOTA-SANCHEZ, D.; WISE, J.C. 2023. **Banco de dados de resistência a pesticidas de artrópodes**. Michigan State University. Disponível em: <http://www.pesticideresistance.org> Acesso em: 12 nov 2023.

MURARO, D.S.; NETO, D. O. A.; KANNO, R. H.; KAISER, I. S.; BERNARDI, O; OMOTO, C. Inheritance patterns, cross-resistance and synergism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistant to emamectin benzoate. *Pest Management Science*, v. 77, n. 11, p. 5049-5057, 2021.2021. DOI: 10.1002/ps.6545.

OKUMA, D. M. **Resistência a inseticidas diamidas e caracterização molecular de mutações no receptor de rianodina em populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil**. 2022. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola

Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2022. DOI:10.11606/T.11.2022.tde-04012023-161918. Acesso em: 23 jun 2023.

OKUMA, D. M.; BERNARDI, D.; HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, O.; SILVA, A.P. E OMOTO, C. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. **Pest Management Science**, v. 74, n. 6, p. 1441-1448, 2018. DOI: 10.1002/ps.4829.

OLIVEIRA, I. M. O de. **Resistência de artrópodos de importância agrícola ao controle químico no Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado profissional em Defesa sanitária vegetal) - Universidade Federal de Viçosa UFV - Campus de Viçosa, 2017.

OMOTO, C. **Lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda***. Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas - IRAC-BR - 2023. Disponível em: <https://www.irac-br.org/spodoptera-frugiperda>. Acesso em: 23 jun 2023.

ONSTAD, D. W.; CARRIÈRE, Y. The role of landscapes in insect resistance management. In: **Insect resistance management**. Academic Press, 2014. p. 327-371.

PADOVEZ, F. E. O. **Custo adaptativo entre linhagens e em diferentes hospedeiros de *Spodoptera Frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) resistentes a diamidas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências - Entomologia) - Universidade Estadual de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ, 2021.

PAROLIN, F.J.T. **ASPECTOS BIOLÓGICOS DE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) EM MILHO SOB EFEITO DE SILÍCIO, ÁCIDO GIBERÉLICO GA3 E HERBIVORIA PRÉVIA**. 2012. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras - UFLA, 2021.2012.

PASHLEY, D. P.; MARTIN, J. A. Reproductive Incompatibility Between Host Strains of the Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 80, n. 6, p. 731–733, nov. 1987.

PEREIRA, C. A de M.; PONTES, W. J. T. (2015). **DIFERENÇAS NA ATIVIDADE METABÓLICA DE PUPAS DE *Neoleucinodes elegantalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)**. 2015. Disponível em: https://www.ufpe.br/documents/616030/875434/Diferen%C3%A7as_na_atividade_metabolic_a_de_pupas.pdf. Acesso em: 12 mar 23.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing** URL <https://www.R-project.org>. Org Vienna, Austria, 2021.

RISKALLAH, M.R.; ABD-ELGHAFAR, F.; ABO-ELGHAR, M.R.; NASSAR, M.E.; Development of resistance and cross-resistance in fenvalerate and deltamethrin selected strains of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). **Pesticide science**, v. 14, n. 5, p. 508-512, 1983.

ROBERTSON, J. L.; JONES, M. M.; OLGUIN, E; ALBERTS, B. **Bioassays with Arthropods**. Third edition. | Boca Raton: CRC Press, 2017.: CRC Press, 2017. DOI: 10.1201/9781315373775.

ROSA, A. P. S. A.; BARCELOS, H. T. Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 30 p., 2012. z . 30 p. - Embrapa Clima Temperado.

Documentos, 344. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67387/1/Documento-344.pdf>. Acesso em: 02 ago 2023.

ROSA, A. P. S. A.; MARTINS, J. F. DA S.; TRECHA, C. O. **Avaliação de danos da lagarta-do-cartucho à cultura do milho com base no monitoramento de plantas atacadas em três safras agrícolas.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v. 17, n. 1, p. 21-27, 31 dez. 2019.

ROUSH, R. T. Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*: can transgenic crops be better than sprays?. **Biocontrol Science and Technology**, v. 4, n. 4, p. 501-516, 1994.

RUBIN, L. A. GOMES, C.M. **Manejo da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), na cultura do milho.** 2009. Monografia (Especialização em Tecnologias inovadoras no manejo integrado de pragas e doenças de plantas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

SÁ, V. G. M. de; FONSECA, B.V.C; BOREGAS, K.G.B; WAQUIL, J.M. Sobrevivência e desenvolvimento larval de *spodoptera frugiperda* (J E smith) (lepidoptera: noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 1, p. 108–115, jan. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000100012>.

SABER, M.; PARSAEYAN, E.; VOJOU DI, S.; BAGHERI, M.; MEHRVAR, A.; KAMITA, S. G. Acute toxicity and sublethal effects of methoxyfenozide and thiodicarb on survival, development and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Crop Protection**, v. 43, p. 14–17, 2013. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.09.011.

SATO, M.E. **Resistência é um sério problema para a agricultura.** 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/resistencia/index.htm. Acesso em: 26 ago 2023.

SAYYED, A. H; AHMAD, M; CRICKMORE, N. Fitness costs limit the development of resistance to indoxacarb and deltamethrin in *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of economic entomology**, v. 101, n. 6, p. 1927-1933, 2008.

SCOTON, A.M.N. **Comportamento e danos de lagartas *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) NA SOJA *Glycine max* (L.) Merrill.** 2022. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Da Grande Dourados UFGD, 2022.

SHEN, J.; WU, Y. Resistance to *Helicoverpa armigera* to insecticides and its management. **China Agricultural Press**, pp. 1-88, 1995.

SILVA, D.M.; BUENO, A.F.; FRANÇA, L.F.T.; MANTOVANI, M.A.M.; STECCA, S.C.; LEITE, N.; OLIVEIRA, M.C.N. de.; MOSCARDI, F. Biologia e preferência alimentar de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes fontes hospedeiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012, Cuiabá. Soja: integração nacional e desenvolvimento sustentável: **Anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. [S. l.], p. 1–6, 2010

SILVA, I.H.S; GOMÈZ, I; SÁNCHEZ, J.; CASTRO, D.M; VALICENTE, F.H; SOBERÓN, M; POLANCZYK, R.A.; BRAVO, A. Identification of midgut membrane proteins from different instars of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) that bind to Cry1Ac toxin.

PLoS One, v. 13, n. 12, p. e0207789, 2018. (2018) **Identification of midgut membrane proteins from different instars of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) that bind to Cry1Ac toxin**. *PLoS One* 13:e0207789

SILVEIRA NETO, S., NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILLA NOVA, N.A. Manual de ecologia dos insetos Piracicaba: **Ceres**, p. 419, 1976. NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D. et al. Manual de ecologia dos insetos. São Paulo: **Ceres**, 1976. 419p

SOSA-GÓMEZ, D. R.[et al.]. **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja** – 3.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 100p. : il. color. ; 18 cm. - (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516- 781X; n. 269). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/991685>. Acesso em: 18 ago 2023.

SPARKS, T. C.; LOCKWOOD, J. A.; BYFORD, R. L.; GRAVES, J. B.; LEONARD, B. R. The role of behavior in insecticide resistance. **Pesticide Science**, v. 26, n. 4, p. 383-399, 1989.

TABASHNIK, B.E.; DENNEHY, T.J.; CARRIÈRE, Y. Delayed resistance to transgenic cotton in pink bollworm. 2005, **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 102:15389-15393, 2005..

VAN SCOY, A.R; YUE, M; DENG, X; TJEERDEMA, R.S. Environmental fate and toxicology of methomyl. **Rev Environ Contam Toxicol**. 2013;222:93-109, 2013.. doi: 10.1007/978-1-4614-4717-7_3. PMID: 22990946.

WAQUIL, J. M. Milho: Manejo Integrado de Pragas decisivo para sucesso da cultura. *Correio Agrícola* , São Paulo, n. 1, p. 6-13, 2006.

WEETMAN, D.; DJOGBENOU, L.S.; LUCAS, E. Copy number variation (CNV) and insecticide resistance in mosquitoes: evolving knowledge or an evolving problem? **Current Opinion in Insect Science**, 2018; 27: 82-88, 2018.

YÁÑEZ LOPEZ, R.; VAZQUEZ ORTEGA, A.; ARREGUÍN CENTENO, J. H; SÓRIA RUIZ, J.; QUIJANO CARRANZA, J. YÁÑEZ LÓPEZ, Ricardo et al. Alert system against the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Mexicana de Ciências Agrícolas**, México, ME, v. 10, n. 2 p. 405–416, 2019. DOI: 10.29312/remexca.v10i2.803.

YU, S.J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.] : CRC Press, 2015. DOI: 10.1201/b18164. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781482210613>.

YU, S.J; NGUYEN, S.N.; ABO-ELGHAR, G.E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 77, n. 1, p. 1-11, 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Pestic. Biochem. Physiol.**, 77 (2003), pp. 1-11

ZALUCKI, M. P.; CLARKE, A.R.; MALCOLM, S. B. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. **Annual review of entomology**, v. 47, n. 1, p. 361-393, 2002. **Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera**. *Ann Rev Entomol*. 2002; 47: 361–393.

ZALUCKI, M. P.; FURLONG, M. J. Comportamento como mecanismo de resistência a inseticidas: avaliação das evidências. **Opinião atual em ciência de insetos**, v. 21, p. 19-25, 2017.