



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

RAIMUNDO HENRIQUE FERREIRA RODRIGUES

DOSES SUBLETAIS DE METOMIL SOBRE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

FORTALEZA

2023

RAIMUNDO HENRIQUE FERREIRA RODRIGUES

DOSES SUBLETAIS DE METOMIL SOBRE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal Ceará (UFC), como requisito parcial à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Agronomia-Fitotecnia.
Área de concentração: Entomologia Agrícola.

Orientador: 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)

- R616r Rodrigues, Raimundo Henrique Ferreira.
Resistência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a metomil e interação com *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) / Raimundo Henrique Ferreira Rodrigues. – 2023.
105 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Patrik Luiz Pastori.
1. Carbamatos. 2. Inseticidas. 3. Parasitóides. 4. Seletividade. 5. Manejo da resistência. I. Título.

CDD 630

RAIMUNDO HENRIQUE FERREIRA RODRIGUES

RESISTÊNCIA DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) A
METOMIL E INTERAÇÃO COM *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal Ceará (UFC), como requisito parcial à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Agronomia-Fitotecnia.

Área de concentração: Entomologia Agrícola

Aprovada em: 08/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.* (Orientador)
Professor - Universidade Federal da
Grande Dourados (UFGD)

Marianne Gonçalves Barbosa, *D. Sc.*
Research Development Specialist -
BASF

Luciana Barboza Silva, *D. Sc.*
Professora - Universidade Federal
do Piauí (UFPI)

Fabricio Fagundes Pereira, *D. Sc.*
Professor - Universidade Federal da
Grande Dourados (UFGD)

Marcos Botton, *D. Sc.*
Pesquisador - Embrapa Uva e
Vinho (CNPUV)

A Deus.....

Aos meus pais, minha família e
namorada.

Meu orientador, e todos os colegas que
fiz durante o doutorado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, à Deus, por permitir esta conquista, por guiar os meus passos e projetos, pela sua proteção, pela força e coragem durante esta caminhada, por sempre estar presente nos momentos fáceis e difíceis.

Agradeço à minha saudosa mãe, Maria Salvadora, e ao meu pai, Paulo Batista, que vislumbraram esta conquista, que não mediram esforços até sua concretização. Aos meus irmãos, Thiago, Paula Caroline e Walisson, que me apoiaram em cada fase deste processo desde o sonho até o presente momento.

À minha família de modo geral, o que lhes dizer, Obrigado! Pois sem sua presença em minha vida creio que esta conquista hoje não se realizaria. Obrigado pelo amor, pelo carinho e compreensão, pelo infindável apoio em cada fase do meu desenvolvimento tanto pessoal quanto profissional.

Agradeço a minha namorada Maria, pelo carinho, amor, apoio e dedicação durante esta jornada.

Ao prof. Patrik Luiz Pastori, pela orientação, acolhimento, confiança e ensinamentos. Pela oportunidade que me fez amadurecer profissionalmente e pessoalmente.

Agradeço aos amigos do Laboratório de Entomologia Aplicada: Thais Mota, Karolina Rafrana, Thais Pinheiro, Valentine Almeida, Adson Ávila e Karine Mesquita pela paciência na transmissão dos conhecimentos, pela amizade e apoio nos momentos desta jornada.

Agradeço aos meus amigos de república, Eduardo, Vinícius, Manoel, João Guilherme e aos meus vizinhos Talita Camila e Gualberto Agamez pelo carinho, compreensão e apoio durante o caminho.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará - *Campus* Pici especialmente

aqueles a qual tive a oportunidade de conhecer pelos infindáveis ensinamentos repassados durante esta jornada. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos que contribuíram de forma direta e indireta para a conclusão desta obra.

"...O que não se publica não existe ou não foi feito..." (Behe, 1997).

"...A ciência busca a verdade e, sendo encontrada, prevalecerá..." (Behe, 1997).

RESUMO

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é praga-chave em culturas como soja e milho. A principal ferramenta de controle consiste no uso de inseticidas, dentre os quais o Metomil é comumente utilizado. No entanto, falhas como deriva ou degradação da gota podem expor os insetos a concentrações subletais e assim favorecer a seleção de populações resistentes. Outra ferramenta de controle são os inimigos naturais e o parasitoide *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) ganha destaque sendo empregado no controle de lepidópteros-praga em diversas culturas. No presente estudo foi identificada que a exposição de *S. frugiperda* a concentrações subletais (CL₅, CL₁₅ e CL₃₀) de Metomil afetam negativamente a sobrevivência larval (%) e a taxa de reprodução dos adultos. A população de *S. frugiperda* coletada em campo, no município de Guaraciaba do Norte (CE), foi exposta a concentração subletal CL₅₀ do princípio ativo Metomil por 11 gerações e, na sétima geração foram determinados os parâmetros biológicos. Detectou-se redução de 50,0 e 45,0% na fecundidade e na fertilidade das fêmeas em relação ao controle, respectivamente. Não foi observado efeito negativo das concentrações subletais de Metomil sobre *T. pretiosum*. A exposição de *S. frugiperda* a concentrações subletais de Metomil resultou em baixa resistência, de acordo com a Razão de Resistência. No entanto, mesmo sendo baixa, foi verificada a existência de custo adaptativo, sendo observado que o desenvolvimento e a reprodução da população de *S. frugiperda* resistente foram afetados de modo negativo em relação a população susceptível. A população exposta a concentrações subletais de Metomil não apresentou resistência múltipla aos princípios ativos Clorfenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom. Ovos de *S. frugiperda* da população resistente foram oferecidos ao parasitismo por *T. pretiosum*, e comparados a população susceptível. Nesse estudo, foi determinado que os ovos de *S. frugiperda* da população Metomil-Resistente não afetaram o parasitismo, a emergência e a razão sexual. A resposta funcional de *T. pretiosum* em ovos de *S. frugiperda* das populações resistente e susceptível a Metomil foram do Tipo II, e o tempo de manipulação foi o mesmo, somente a taxa de ataque foi inferior na população Metomil-Resistente. Portanto, doses subletais de Metomil afetam a biologia de *S. frugiperda*, mas não afetaram o comportamento

do parasitoide *T. pretiosum*. A exposição *S. frugiperda* a concentração subletal de Metomil após 11 gerações não resultou em resistência, mas os insetos desta população apresentaram alterações nos parâmetros biológicos sem observação de resistência múltipla aos princípios ativos. A oferta de ovos da população de *S. frugiperda* Metomil-resistente não alterou o parasitismo, a emergência e a resposta funcional de *T. pretiosum*.

Palavras-chave: carbamatos; inseticidas; parasitóides; seletividade; manejo da resistência; toxicidade.

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is a key pest in crops such as soybeans and corn. Damage includes reduction in stand, leaf area and production. The main control tool consists of the use of insecticides, of which Methomyl is commonly used. However, application failures such as droplet drift or degradation can expose insects to sublethal concentrations. These two aspects can favor the selection of resistant populations. The use of natural enemies is a tool that can be used for pest control, in which the parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), is used to control lepidopteran pests in crops such as soybeans and corn. In the present study, it was identified that the exposure of *S. frugiperda* to sublethal concentrations (LC5, LC15 and LC30) of Methomyl negatively affects the percentage of larval survival and the adult reproduction rate. A population of *S. frugiperda* collected in the field, in the city of Guaraciaba do Norte (CE), was exposed to the sublethal LC50 concentration of the active ingredient Methomil for 11 generations and, in the seventh generation, the biological parameters were determined. A reduction of 50.0 and 45.0% in the fecundity and fertility of females was detected in relation to the control, respectively. No negative effect of sublethal concentrations of Methomyl was observed on the parasitoid *T. pretiosum*. Exposure of *S. frugiperda* to sublethal concentrations of Methomyl resulted in low resistance, according to the Resistance Ratio. However, even though resistance was classified as low, the existence of an adaptive cost was verified, and it was observed that the development and reproduction of the resistant *S. frugiperda* population were negatively affected in relation to the susceptible population. The population exposed to sublethal concentrations of Methomyl did not show multiple resistance to the active ingredients Chlorfenapyr, Metaflumizone and Teflubenzuron. Eggs of *S. frugiperda* from the resistant population were offered for parasitism by *T. pretiosum*, and compared to the susceptible population. In this study, it was determined that *S. frugiperda* eggs from the Methomyl-Resistant population did not affect parasitism, emergence and sex ratio. The functional response of *T. pretiosum* in *S. frugiperda* eggs from the Methomyl-resistant and susceptible populations were Type II, and the handling time was the same, only the attack rate was lower in the Methomyl-Resistant population. Therefore,

sublethal doses of Methomyl affect the biology of *S. frugiperda*, but did not affect the behavior of the parasitoid *T. pretiosum*. Exposure of *S. frugiperda* to the sublethal concentration of Methomyl after 11 generations did not result in resistance, but the insects belonging to this population showed changes in biological parameters, and there was no multiple resistance to the active ingredients. The supply of eggs from the Methomyl-resistant *S. frugiperda* population did not alter the parasitism, emergence and functional response of *T. pretiosum*.

Keywords: carbamates; insecticides; parasitoids; selectivity; resistance management; toxicity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DAS ETAPAS DE EXPOSIÇÃO DAS LAGARTAS DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) AO TRATAMENTO COM METOMIL.....29
- Figura 2 - TAXA DE SOBREVIVÊNCIA POR FAIXA ETÁRIA (SX), TAXA DE SOBREVIVÊNCIA ESPECÍFICA POR IDADE (LX), FECUNDIDADE ESPECÍFICA POR IDADE FEMININA (FX) E FECUNDIDADE ESPECÍFICA POR IDADE POPULACIONAL (MX) DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO AS CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE METOMIL.....36
- Figura 3 - TAXA DE SOBREVIVÊNCIA (LX) ESPECÍFICA POR IDADE DE FEMEAS (FX) DE *TRICHOGRAMMA PRETIOSUM* RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO AS CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE METOMIL.....38
- Figura 4 - FECUNDIDADE ESPECÍFICA POR IDADE FÊMEA (FX) E FERTILIDADE (FTX) ESPECÍFICA POR IDADE FEMININA (FX) DE *TRICHOGRAMMA PRETIOSUM* RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO AS CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE METOMIL.....38
- Figura 5 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DAS ETAPAS DE EXPOSIÇÃO DAS LAGARTAS DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) AOS TRATAMENTOS COM METOMIL.....55
- Figura 6 - BOXPLOT REFERENTE A SOBREVIVÊNCIA DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EXPOSTA À CL₅₀ DE METOMIL POR 10 GERAÇÕES. O CÍRCULO INDICA A MÉDIA.....60
- Figura 7 - BOXPLOT - PARÂMETROS BIOLÓGICOS E SOBREVIVÊNCIA DAS POPULAÇÕES DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) DA POPULAÇÃO

RESISTENTE AO METOMIL (METOMIL-RESISTENTE) E DA POPULAÇÃO SUSCETÍVEL. O CÍRCULO INDICA A MÉDIA. ** E N.S. SIGNIFICATIVO E NÃO-SIGNIFICATIVO, RESPECTIVAMENTE, PELO TESTE T AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE.61

Figura 8 - TAXA DE SOBREVIVÊNCIA POR FAIXA ETÁRIA (SX), TAXA DE SOBREVIVÊNCIA ESPECÍFICA POR IDADE (LX), FECUNDIDADE ESPECÍFICA POR IDADE FEMININA (FX) E FECUNDIDADE ESPECÍFICA POR IDADE POPULACIONAL (MX) PARA AS POPULAÇÕES DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) RESISTENTE E SUSCETÍVEL AO METOMIL.....63

Figura 9 - A) PARASITISMO (%); B) EMERGÊNCIA (%) E, C) RAZÃO SEXUAL DE TRICHOGRAMMA PRETIOSUM RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) EM OVOS DE DUAS POPULAÇÕES DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (SUSCETÍVEL E RESISTENTE À METOMIL).81

Figura 10 - APROXIMAÇÕES EMPÍRICAS DE INTERVALOS DE CONFIANÇA DE 95% COM BASE EM AJUSTES DE MODELO BOOTSTRAPPED PARA O NÚMERO DE OVOS DE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) PARASITADOS POR TRICHOGRAMMA PRETIOSUM RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE).....83

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - CONCENTRAÇÃO LETAL (CL₅; CL₁₅; CL₃₀) ESTIMADA DE METOMIL, SOBRE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO30
- Tabela 2 - MÉDIA (\pm EP) DO TEMPO DE DESENVOLVIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DE DIFERENTES ESTÁGIOS DE VIDA DE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO AS CONCENTRAÇÕES SUBLETAS DE METOMIL33
- Tabela 3 - MÉDIA (\pm EP) DO PERÍODO (DIAS) DE PRÉ-OVIPOSIÇÃO, PRÉ-OVIPOSIÇÃO TOTAL, OVIPOSIÇÃO, LONGEVIDADE, TEMPO DE GERAÇÃO E TEMPO PARA DOBRAR A POPULAÇÃO, TAXA INTRÍNSECA E FINITA DE AUMENTO E TAXA BRUTA E LIQUIDA DE REPRODUÇÃO DE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO AS CONCENTRAÇÕES SUBLETAS DE METOMIL34
- Tabela 4 - PARASITISMO (%), EMERGÊNCIA (%) E RAZÃO SEXUAL (MÉDIA \pm EP) DE *TRICHOGRAMMA PRETIOSUM* RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO A CONCENTRAÇÕES SUBLETAS DE METOMIL NAS GERAÇÕES F1 E F237
- Tabela 5 - MÉDIA (\pm EP) DO PERÍODO DE OVIPOSIÇÃO, LONGEVIDADE, TEMPO DE GERAÇÃO E TEMPO PARA DOBRAR A POPULAÇÃO, TAXA INTRÍNSECA E FINITA DE AUMENTO E TAXA BRUTA E LIQUIDA DE REPRODUÇÃO DE *TRICHOGRAMMA PRETIOSUM* RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) APÓS EXPOSIÇÃO AS CONCENTRAÇÕES SUBLETAS DE METOMIL.....37
- Tabela 6 - CONCENTRAÇÃO LETAL (CL₅₀) ESTIMADA DE METOMIL SOBRE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) POR 11 GERAÇÕES SUCESSIVAS COMPARADA COM UMA POPULAÇÃO SUSCETÍVEL.....59
- Tabela 7 - MÉDIA (\pm EP) DO PERÍODO EM DIAS DE PRÉ-OVIPOSIÇÃO, PRÉ-OVIPOSIÇÃO TOTAL, OVIPOSIÇÃO, LONGEVIDADE, TEMPO DE

	GERAÇÃO E TEMPO PARA DOBRAR A POPULAÇÃO, TAXA INTRÍNSECA E FINITA DE AUMENTO E TAXA BRUTA E LIQUIDA DE REPRODUÇÃO PARA AS POPULAÇÕES DE <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) RESISTENTE (METOMIL-RESISTENTE) E SUSCETÍVEL AO METOMIL.....	62
Tabela 8 -	RESPOSTA CONCENTRAÇÃO-MORTALIDADE DE POPULAÇÕES DE <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) RESISTENTE (METOMIL-RESISTENTE) E SUSCETÍVEL EXPOSTAS A DIFERENTES INSETICIDAS.....	63
Tabela 9 -	CONCENTRAÇÃO LETAL (CL ₅₀) ESTIMADA DE METOMIL SOBRE <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) POR 11 GERAÇÕES COMPARADA A POPULAÇÃO SUSCETÍVEL.....	78
Tabela 10 -	PARÂMETROS DE RESPOSTA FUNCIONAL [COEFICIENTE DE TAXA DE ATAQUE (A) E TEMPO DE MANIPULAÇÃO (TH)] DE <i>TRICHOGRAMMA PRETIOSUM</i> RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) A DIFERENTES DENSIDADES DE OVOS HOSPEDEIROS DAS POPULAÇÕES DE <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) SUSCETÍVEL E RESISTENTE (METOMIL-RESISTENTE) AO METOMIL.....	83
Tabela 11 -	PARÂMETROS DE RESPOSTA FUNCIONAL [COEFICIENTE DE TAXA DE ATAQUE (A) E TEMPO DE MANIPULAÇÃO (TH)] DE <i>TRICHOGRAMMA PRETIOSUM</i> RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) A DIFERENTES DENSIDADES DE OVOS HOSPEDEIROS DAS POPULAÇÕES DE <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) SUSCETÍVEL E RESISTENTE (METOMIL-RESISTENTE) AO METOMIL.....	83
Tabela 12 -	DIFERENÇA PAREADA (\pm EP) ENTRE PARÂMETROS DE RESPOSTA FUNCIONAL DE <i>TRICHOGRAMMA PRETIOSUM</i> RILEY, 1879 (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) EM DUAS	

POPULAÇÕES DE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* (J. E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) SUSCETÍVEL E RESISTENTE (METOMIL-RESISTENTE) AO METOMIL.....84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	IMPACTO DE DOSES SUBLETAIS DE METOMIL SOBRE <i>Spodoptera frugiperda</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E NO PARASITOIDE <i>Trichogramma pretiosum</i> (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) 24	
2.1	Introdução	27
2.2	Material e métodos	28
2.2.1	Coleta e criação de <i>S. frugiperda</i>	28
2.2.1.1	Bioensaio de toxicidade larval sobre <i>S. frugiperda</i>	29
2.2.1.2	Determinação das concentrações letais.....	30
2.2.1.3	Bioensaio de efeito subletal sobre <i>S. frugiperda</i>	30
2.2.1.4	Parâmetros avaliados	30
2.2.2	Criação e manutenção de <i>T. pretiosum</i>	31
2.2.2.1	Toxicidade e efeito subletal dos produtos sobre <i>T. pretiosum</i>	32
2.2.2.2	Análise estatística	33
2.3	Resultados	33
2.4	Discussão	39
2.5	Conclusões	41
3	DOSES SUBLETAIS DE METOMIL PODEM RESULTAR NA RESISTÊNCIA DE <i>Spodoptera frugiperda</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E ALTERAR A BIOLOGIA?.....	48
3.1	Introdução.....	52
3.2	Material e métodos	54
3.2.1	Coleta e criação de <i>S. frugiperda</i>	54
3.2.2	Bioensaio de toxicidade larval sobre <i>S. frugiperda</i>	54
3.2.3	Determinação da concentração subletal	55
3.2.4	Manutenção da pressão de seleção	56
3.2.5	Custo adaptativo associado à resistência	56
3.2.6	Resistência múltipla entre Metomil e outros inseticidas	58
3.3	Resultados	58
3.4	Discussão	64
3.5	Conclusões	66
4	RESPOSTA FUNCIONAL DE <i>Trichogramma pretiosum</i> (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) EM OVOS DE <i>Spodoptera frugiperda</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) RESISTENTE A CL ₅₀ DE METOMIL.....	73
4.1	Introdução	75

4.2	Material e métodos	77
4.2.1	<i>Criação e manutenção de T. pretiosum</i>	77
4.2.2	<i>Criação de S. frugiperda</i>	77
4.2.3	<i>Resposta funcional de T. pretiosum</i>	78
4.2.4	<i>Análise estatística</i>	78
4.3	Resultados	80
4.4	Discussão	84
4.5	Conclusões	86
5	CONCLUSÕES FINAIS	92
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

Spodoptera frugiperda (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é um inseto-praga originário de regiões tropicais e subtropicais da América, com ocorrência nos continentes Asiático e, mais recentemente, Africano (CZEPAK *et al.*, 2019; TAY *et al.*, 2023). Além da capacidade de migração, outro fator que contribui para o sucesso na dispersão desse inseto-praga pelo mundo é a polifagia (XIAO *et al.*, 2020). Aproximadamente 350 espécies de plantas pertencentes a 76 famílias são hospedeiras de *S. frugiperda* (MONTEZANO *et al.*, 2018), incluindo culturas como soja, milho, algodão, aveia, trigo e tomate (SILVA *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020). O ataque de *S. frugiperda* tem início a partir da emergência das plântulas, cortando-as rente ao solo, resultando em falhas do estande. Surto populacionais de *S. frugiperda* na cultura da soja ocorrem frequentemente nos períodos mais secos (HOFFMANN-CAMPO *et al.*, 2012). Em lavouras de milho, a redução na produção é estimada em cerca de 58% quando cerca 94% das plantas estão infestadas com pelo menos uma lagarta (CHIMWETA *et al.*, 2020; HOUNGBO *et al.*, 2020).

Para reduzir os prejuízos ocasionados pela ocorrência de *S. frugiperda* em diferentes sistemas de cultivo, uma das principais medidas de controle adotadas consiste no uso de defensivos agrícolas (TAY *et al.*, 2023). Dentro desse aspecto, pode-se destacar que, dependendo das condições em que são realizadas as aplicações, os insetos podem ser expostos a diferentes doses (VRYZAS, 2018). Deriva, degradação e/ou volatilização dos inseticidas podem ocorrer (HASSAN *et al.*, 2012) assim, a concentração de inseticidas que o inseto-alvo será exposto pode ser inferior a dose letal, podendo se tornar uma dose subletal (BANTZ *et al.*, 2018). Dose/concentração subletal é definida como aquela que não induz nenhuma mortalidade aparente sobre a população (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007) no entanto, acarretam alterações fisiológicas, biológicas e comportamentais em insetos que sobreviveram após exposição (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; FRANÇA *et al.*, 2017). Outro evento que pode ocorrer é a utilização de doses acima da recomendação com aplicações sucessivas do mesmo princípio ativo resultando em problemas, sendo o mais perceptível, a perda da eficiência (ISHTIAQ *et al.*, 2014; GUEDES, 2017). O “Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas (IRAC-BR)” define a resistência a inseticidas 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. Existem diversos princípios ativos registrados para o controle de *S. frugiperda* no Brasil, sendo o Metomil um desses (AGROFIT, 2023). De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), no ano de 2022, foram feitas mais de 12 mil vendas de produtos fitossanitários com o princípio ativo Metomil, representando cerca de 8 toneladas.

O Metomil se liga ao sítio ativo da AChE, enzima responsável pela quebra do neurotransmissor acetilcolina. A inibição da AChE leva ao acúmulo de acetilcolina nas sinapses nervosas, o que acarreta uma interrupção nos impulsos nervosos normais. O acúmulo de acetilcolina leva a uma condição conhecida como toxicidade colinérgica, no qual processos fisiológicos, incluindo contração muscular, transmissão de sinais nervosos e coordenação são interrompidos. Essa interrupção reduz a capacidade de locomoção e alimentação dos insetos, levando à paralisia e morte (SIMON; YU, 2014; SPARKS; NAUEN, 2015). No AGROFIT, banco de dados de agroquímicos e afins registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) constam 23 produtos comerciais registrados a base Metomil para o controle de pragas (AGROFIT, 2023). Por outro lado, de acordo com o banco de dados “Arthropod Pesticide Resistance Database” existem cerca de 61 relatos de resistência de *S. frugiperda* a inseticidas, em 194 pontos, a 45 princípios ativos ou toxinas *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2023; ROS-DEZ; SALDAMANDO-BENJUMEA, 2011).

A resistência a inseticidas detectada em determinadas populações de insetos demanda um custo energético e, desse modo, a alocação de recursos torna-se necessária para adaptação e sobrevivência dessa população (FREEMAN *et al.*, 2021; KLIOT; GHANIM, 2012). Custo adaptativo é definido como uma compensação em que alelos conferem maior adequação em determinado ambiente e reduzem a adequação em um ambiente alternativo (ONSTAD, 2014; SIMON; YU, 2014). Normalmente insetos resistentes exibem menor aptidão quando comparados a indivíduos suscetíveis da mesma espécie, na ausência da pressão de seleção do inseticida sendo esse custo detectado principalmente no ciclo de vida e na reprodução dos insetos (OKUMA *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2020; FREEMAN *et al.*, 2021; KANNO *et al.*, 2023; OLIVEIRA PADOVEZ *et al.*, 2022).

A principal recomendação do IRAC-BR, para evitar a seleção de populações resistentes, consiste na rotação de princípios ativos com modo de ação

distintos considerando que o monitoramento dos insetos-praga e aplicações no momento correto são premissas básicas (GALLO *et al.*, 2002). Nesse contexto, para a integração do controle químico com os demais métodos de controle, destaca-se o uso do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (JARALEÑO-TENIENTE *et al.*, 2020). *T. pretiosum* é um dos principais agentes de controle biológico utilizados no Brasil (PARRA; COELHO, 2019) sendo comercializado para o controle de ovos de lepidópteros-praga em 18 hospedeiros em 13 culturas (CÔNSOLI; PARRA; ZUCCHI, 2010; PONCE, 2021). Na cultura do milho, a recomendação é a liberação de aproximadamente 250 mil adultos de *T. pretiosum* por hectare para o controle de lepidópteros-praga (PARRA; COELHO, 2019). A taxa de parasitismo de ovos de *S. frugiperda* ficou entre 10,7% a 31,4% e, portanto, a liberação dos parasitoides no campo resultou em redução significativa na taxa de danos (a proporção de plantas infestadas) e no índice de danos (PONCE, 2021). Em condições de campo, os parasitoides podem ser expostos a inseticidas químicos, bem como podem usar populações de insetos resistentes a inseticidas como hospedeiros (BARBOSA *et al.*, 2021) sendo importante compreender os efeitos sobre os parasitoides (GRANDE *et al.*, 2018; PAIVA *et al.*, 2020). Assim, os objetivos foram:

- (1) Avaliar os efeitos subletais de Metomil sobre *S. frugiperda* e *T. pretiosum*;
- (2) Manter, sob pressão de seleção, uma população de *S. frugiperda* aplicando Metomil e verificando a seleção de indivíduos resistentes e a existência de custo adaptativo;
- (3) Avaliar a resposta funcional de *T. pretiosum* em ovos de população de *S. frugiperda* resistente ao princípio ativo Metomil.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT, AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2023. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 10 out. 2020.
- BANTZ, A.; CAMON, J.; FROGER, J. A.; GOVEN, D.; RAYMOND, V.. Exposure to sublethal doses of insecticide and their effects on insects at cellular and physiological levels. **Current Opinion in Insect Science**, v. 30, p. 73-78, 2018. DOI: 10.1016/j.cois.2018.09.008.
- 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**, v. 49, p. 882-892, 2020. DOI: 10.1007/s13744-020-00800-y.
- BARBOSA, M. G.; SOUZA, S. A.; ANDRÉ, T. P. P.; PONTES, A. D. S.; TEIXEIRA, C. S.; PEREIRA, F. F.; PASTORI, P. L. Do fall armyworm's Metaflumizone resistente populations affect the activity of *Trichogramma pretiosum*? **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-6, 2021. DOI: 10.1590/1519-6984.245273.
- CHIMWETA, M.; NYAKUDYA, I. W.; JIMU, L.; BRAY MASHINGAIDZE, A. Fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers. **International Journal of Pest Management**, v. 66, p. 142-154, 2020. DOI: 10.1080/09670874.2019.1577514.
- CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on *Trichogramma***. 9. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4020-9110-0.
- CZEPAK, C.; TAY, W. T.; OTIM, M.; ROY, S. R.; GODINHO, K. C. A.; MAGALHÃES, V.; COLLIER, K. F. S. Migração acelerada: Especial *Spodoptera*. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 244, p. 26-29, 2019.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007. DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440.
- FRANÇA, S. M.; BREDAS, M. O.; BARBOSA, D.R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, C. A. The sublethal effects of insecticides in insects. **Biological Control of Pest and Vector Insects**, p. 23-39, 2017. DOI: 10.5772/66461.
- FREEMAN, J. C.; SMITH, L. B.; SILVA, J. J.; FAN, Y.; SUN, H.; SCOTT, J. G. Fitness studies of insecticide resistant strains: Lessons learned and future directions. **Pest Management Science**, v. 77, p. 3847-3856, 2021. DOI: 10.1002/ps.6306.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

GRANDE, M. L. M.; BRAZ, É. C.; DE FREITAS BUENO, A.; DA SILVA, D. Mello; DE QUEIROZ, A. P.; VENTURA, M. U. Effect of increasing rate of insecticides on its selectivity for *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, p. 933-946, 2018. DOI: 10.5433/1679-0359.2018v39n3p933.

GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, control failure likelihood and the first Law of Geography. **Pest Management Science**, v. 73, p. 479-484, 2017. DOI: 10.1002/ps.4452.

HASSAN, B. A. R.; YUSOFF, Z. B. M.; OTHMAN, M. A. H.; BIN, S. Information is available at the end of the Chapter. **We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books Built by scientists, for scientists TOP 1%**, p. 13, 2012.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, L. J.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; CORSO, I. C. Pragas que atacam plântulas, hastes e pecíolos da soja. Cap. 3. **Hoffmann-Campo, CB, BS Corrêa-Ferreira & F. Moscardi. Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga. Brasília, DF**, p. 145-212, 2012.

HOUNGBO, S.; ZANNOU, A.; AOUDJI, A.; SOSSOU, H. C.; SINZOGAN, A.; SIKIROU, R.; ZOSSOU, E.; VODOUNON, H. S. T.; ADOMOU, A.; AHANCHÉDÉ, A. Farmers' knowledge and management practices of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in Benin, West Africa. **Agriculture**, v. 10, p. 430, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10100430>.

ISHTIAQ, M.; RAZAQ, M.; SALEEM, M. A.; ANJUM, F.; NOOR UL ANE, M.; RAZA, A. M.; WRIGHT, D. J. Stability, cross-resistance and fitness costs of resistance to emamectin benzoate in a re-selected field population of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Crop Protection**, v. 65, p. 227-231, 2014. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.08.007.

JARALEÑO-TENIENTE, J.; LOMELI-FLORES, J. R.; RODRÍGUEZ-LEYVA, E.; BUJANOS-MUÑIZ, R.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, S. E. Egg parasitoids survey of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize and sorghum in Central Mexico. **Insects**, v. 11, p. 157, 2020. DOI: 10.3390/insects11030157.

KANNO, R. H.; GUIDOLIN, A. S.; PADOVEZ, Fernando E. O.; RODRIGUES, J. G.; OMOTO, C. Fitness costs associated with spinetoram resistance in *Spodoptera frugiperda* is driven by host plants. **Journal of Pest Science**, v. 96, n. 4, p. 1625-1635, 2023. DOI: 10.1007/s10340-023-01614-8.

KLIOT, A.; GHANIM, M. Fitness costs associated with insecticide resistance. **Pest Management Science**, v. 68, p. 1431-1437, 2012. DOI: 10.1002/ps.3395.

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, p. 286-300, 2018. DOI: 10.4001/003.026.0286.

MOTA-SANCHEZ, D.; WISE, J. C. **Arthropod pesticide resistance database**

(APRD). 2023. Disponível em:

<https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=41>.

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

OLIVEIRA PADOVEZ, F. E.; HIDEO KANNO, R.; ZAIA ZAMBON, G.; OMOTO, C.; SARTORI GUIDOLIN, A. The cost of resistance to Diamide insecticide varies with the host plant in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 115, p. 2041-2050, 2022. DOI: 10.1093/jee/toac160.

ONSTAD, D. W.; **Insect Resistance Management: Biology, Economics, and Prediction**. 2^a Edition ed. Wilmington: Elsevier, 2014. DOI: 10.1016/C2011-0-07259-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20110072599>.

PAIVA, A. C. R.; IOST FILHO, F. H.; PARRO, E. A.; BARBOSA, D. P. L.; YAMAMOTO, P. T. Do ready-mix insecticides cause lethal and sublethal effects on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) pupa? **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 3, p. 1227-1233, 2020. DOI: 10.1093/jee/toaa031.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 5, 2019. DOI: 10.1093/jisesa/iey112. Disponível em: <https://academic.oup.com/jinsectscience/article/doi/10.1093/jisesa/iey112/5368158>.

PONCE, F. S.; TOLEDO, C. A. L.; DE OLIVEIRA, M. D.; JÚNIOR, S. S.; DE OLIVEIRA, R. C. Cost and profitability of biological control of *Plutella Xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) using *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in kale and cabbage growth. **SSRN Electronic Journal**, 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4157421.

ROS-DEZ, J. D.; SALDAMANDO-BENJUMEA, C. I. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from central Colombia to two insecticides, methomyl and lambda-cyhalothrin: A study of the genetic basis of resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, p. 1698-1705, 2011. DOI: 10.1603/EC11079.

SILVA, D. M.; BUENO, A. de F.; ANDRADE, K.; STECCA, C. S.; NEVES, P. M. O. J.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 18-31, 2017. DOI: 10.1590/1678-992x-2015-0160.

SIMON, J. Y.; YU, S. J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.]: CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b18164.

SPARKS, T. C.; NAUEN, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 121, p. 122-128, 2015. DOI: 10.1016/j.pestbp.2014.11.014.

TAY, W. T.; MEAGHER, R. L.; CZEPAK, C.; GROOT, A. T. *Spodoptera frugiperda*: Ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 299-317, 2023. DOI: 10.1146/annurev-ento-120220-102548.

VRYZAS, Z. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 4, p. 5-9, 2018. DOI: 10.1016/j.coesh.2018.03.001.

WANG, W.; HE, P.; ZHANG, Y.; LIU, T.; JING, X.; ZHANG, S. The population growth of *Spodoptera frugiperda* on six cash crop species and implications for its occurrence and damage potential in China. **Insects**, v. 11, n. 9, p. 639, 2020., 2020. DOI: 10.3390/insects11090639.

XIAO, H.; YE, X.; XU, H.; MEI, Y.; YANG, Y.; CHEN, X.; YANG, Y.; LIU, T., YU, Y.; YANG, W.; LU, Z.; LI, F. The genetic adaptations of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* facilitated its rapid global dispersal and invasion. **Molecular Ecology Resources**, v. 20, p. 1050-1068, 2020. DOI: 10.1111/1755-0998.13182.

2 IMPACTO DE DOSES SUBLETAIS DE METOMIL SOBRE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E NO PARASITOIDE *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

RESUMO

Spodoptera frugiperda (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é praga-chave na cultura do milho e o princípio ativo Metomil é comumente utilizado como ferramenta de controle. No entanto, falhas durante a aplicação podem expor as lagartas à concentrações subletais. Os inimigos naturais, como *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) também podem ser expostos à essas concentrações subletais. O objetivo foi avaliar o impacto de concentrações subletais de Metomil sobre *S. frugiperda* e *T. pretiosum*. Para execução dos bioensaios, criações de *S. frugiperda* e de *T. pretiosum* foram mantidas em laboratório ($25 \pm 2^\circ\text{C}$; UR: $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas). Inicialmente determinou-se a CL₅, CL₁₅ e CL₃₀ de Metomil sobre *S. frugiperda*. Posteriormente, as lagartas de *S. frugiperda* foram expostas aos tratamentos (CL₅, CL₁₅ e CL₃₀ do Metomil) e comparados ao controle (água destilada) avaliando-se diariamente parâmetros biológicos como a mortalidade. Em relação aos bioensaios com *T. pretiosum*, ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae), foram inviabilizados e submersos na calda de cada tratamento, oferecidos posteriormente aos parasitoides e, avaliados os parâmetros biológicos. Em ambos os ensaios, os dados obtidos foram utilizados para estimar a tabela de vida de fertilidade, bem como outros parâmetros. A taxa de sobrevivência de lagarta-adulto de *S. frugiperda* foi reduzida em 26,6% em relação ao controle. A exposição de *S. frugiperda* às concentrações subletais de Metomil resultaram em maior período de pré-oviposição total e longevidade dos adultos, redução no período de oviposição e longevidade das fêmeas, com incremento no tempo de geração e no tempo para dobrar a população além de redução em 50,0 e 45,0% na fecundidade e na fertilidade das fêmeas em relação ao controle, respectivamente. Foram estimadas reduções de 23,0; 46,0 e 70,0%, nos parâmetros: Taxa intrínseca de aumento, taxa bruta e líquida de reprodução, respectivamente, em relação ao controle. No bioensaio com *T. pretiosum*, não foram observadas alterações nos parâmetros reprodutivos do parasitoide. Portanto, a

exposição de *S. frugiperda* às concentrações subletais CL₅, CL₁₅ e CL₃₀ de Metomil afetam, de modo negativo a biologia do inseto-praga e, não interferem na reprodução de *T. pretiosum* quando aplicados sobre ovos de *A. kuehniella*.

Palavras-chave: carbamatos; controle químico; Lagarta-do-cartucho; parasitoide.

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is a key pest in corn crops and a widely used control measure consists of the use of insecticides, among which the active ingredient Methomil is commonly used. However, failures during application can expose the caterpillars to sublethal concentrations. Natural enemies, such as the parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) can also be exposed to these sublethal concentrations. The objective was to evaluate the effect of sublethal concentrations of the active ingredient Methomil on *S. frugiperda* and the parasitoid *T. pretiosum*. To perform the bioassays, creations of *S. frugiperda* and *T. pretiosum* were kept in the laboratory ($25 \pm 2^\circ\text{C}$; RH: $70 \pm 10\%$ and photophase of 12 hours). Initially, the LC₅, LC₁₅ and LC₃₀ of Methomyl were determined on *S. frugiperda*. Subsequently, *S. frugiperda* caterpillars were exposed to treatments (CL₅, CL₁₅ and CL₃₀ of Methomyl) and compared to the control (distilled water), daily evaluating biological parameters such as mortality. In relation to the bioassays with *T. pretiosum*, eggs of *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae) were made unviable and submerged in the solution of each treatment, subsequently being offered for parasitism, and the biological parameters were evaluated. In both trials, the data obtained were used to estimate the fertility life table as well as other parameters. The adult caterpillar survival rate of *S. frugiperda* was reduced by 26.6% in relation to the control. Exposure of *S. frugiperda* to sublethal concentrations of Methomyl resulted in a longer period of total pre-oviposition and longevity of adults, a reduction in the period of oviposition and longevity of females, with an increase in generation time and time to double the population in addition to observing a reduction in female fecundity and fertility by 50.0 and 45.0% in relation to the control, respectively. Reductions of 23.0; 46.0 and 70.0% were estimated in the parameters intrinsic rate of increase, gross and net rate of reproduction, respectively, in relation to the control. In the bioassay with *T. pretiosum*, no changes were observed in the parasitoid's reproductive parameters. Therefore, exposure of *S. frugiperda* to sublethal concentrations CL₅, CL₁₅ and CL₃₀ of Methomyl negatively affects the biology of the insect pest and does not interfere with the reproduction of *T. pretiosum* when applied to *A. kuehniella* eggs.

Keywords: carbamates; chemical control; Fall armyworm; parasitoid.

2.1 Introdução

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), conhecida popularmente como lagarta-militar ou lagarta-do-cartucho do milho, é um inseto-praga polífago (MONTEZANO *et al.*, 2018) com ciclo biológico de ovo a adulto de 25 a 35 dias e com grande potencial reprodutivo (WANG *et al.*, 2020). O dano da fase jovem desse lepidóptero-praga consiste na redução da área foliar (SILVA *et al.*, 2019) e, além das folhas, as lagartas podem também atacar as espigas (ROSA; BARCELOS, 2012). Considerando uma infestação média de uma lagarta por planta, as perdas na produtividade variam de 49,0 à 58,0% milho (CHIMWETA *et al.*, 2020; HOUNGBO *et al.*, 2020).

Na cultura do milho, o controle de *S. frugiperda* é realizado com inseticidas químicos, plantas transgênicas (*Bacillus thuringiensis* - Bt) e inimigos naturais (TAY *et al.*, 2023). Um dos princípios ativos utilizados é o Metomil, o qual atua no sistema nervoso dos insetos inibindo a atividade da enzima acetilcolinesterase (YU, 2014). No sistema de banco de dados do Brasil existem cerca de 23 produtos comerciais registrados a base de Metomil (AGROFIT, 2023). A liberação de parasitoides como *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é uma prática comum para o controle de Lepidópteros-praga (PONCE, 2021; YANG *et al.*, 2022) e, na cultura do milho, libera-se de 100 à 250 mil adultos de *T. pretiosum* por hectare (PARRA; COELHO, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2020) sendo que tal tecnologia deve ser empregada em conjunto com produtos seletivos (RAKES *et al.*, 2021).

Considerando as aplicações de inseticidas em condições de campo, diferentes intempéries podem interferir e resultar na exposição dos insetos-alvo à diferentes doses, inclusive subletais (VRYZAS, 2018). Deriva, degradação e/ou volatilização dos inseticidas podem ocorrer devido aos fatores físicos, químicos e biológicos presentes no ambiente (HASSAN *et al.*, 2012). Assim, a concentração de inseticidas que o inseto-alvo será exposto pode ser inferior a dose ideal, podendo ser uma dose subletal (BANTZ *et al.*, 2018). Dose/concentração subletal é definida como aquela que não induz nenhuma mortalidade aparente sobre a população (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

Os efeitos subletais são definidos como fisiológicos, biológicos, demográficos e comportamentais em insetos que sobreviveram após exposição a

uma dose/concentração subletal de algum inseticida (DESNEUX *et al.*, 2007; FRANÇA *et al.*, 2017). Reduções na fecundidade, na fertilidade e na oviposição são comumente observadas em Lepidoptera após a exposição a doses/concentrações subletais (DONG *et al.*, 2017; VOJOU DI *et al.*, 2017). Cabe destacar que além dos insetos-praga, os inimigos naturais também podem ser expostos às doses/concentrações subletais (PAIVA; BELOTI; YAMAMOTO, 2018). Portanto, aplicações inadequadas podem interferir na eficiência dos inseticidas e afetar o comportamento dos inimigos naturais. Diante do exposto, e tendo como premissa que informações sobre os efeitos subletais de inseticidas sobre insetos-praga e inimigos naturais podem auxiliar na elaboração de estratégias de integração do controle químico com o biológico, o objetivo foi avaliar os efeitos subletais do inseticida Metomil sobre *S. frugiperda* e *T. pretiosum*.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Coleta e criação de *S. frugiperda*

A população de *S. frugiperda* utilizada nos experimentos foi coletada em lavoura de milho convencional sem histórico conhecido de uso de inseticidas para o controle de lepidópteros na safra 2020/2021, área no município de Guaraciaba do Norte (Ceará). Os insetos foram coletados nas fases de ovo e larva (lagarta), armazenadas em copos plásticos (200 mL) com tampa e, acondicionados em caixas de isopor de 50 L. O material foi transportado para o Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) na Universidade Federal do Ceará e mantidos em quarentena afim de eliminar insetos parasitados ou contaminados e posteriormente foi estabelecida a criação. Os ovos de *S. frugiperda* foram acondicionados em placas de Petri (9 cm Ø) permanecendo até a emergência das larvas (lagartas). Após a emergência, as lagartas foram transferidas, com auxílio de um pincel de cerdas finas, para tubos de vidro (100 x 25 mm), contendo dieta artificial (KASTEN; PRECETTI; PARRA, 1978). Os tubos contendo as lagartas foram tamponados com algodão hidrófobo e permaneceram em sala sob condições controladas ($25 \pm 3^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h), até a fase de pupa. As pupas foram sexadas 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%. A cada dois dias os ovos foram coletados e a solução de mel substituída.

2.2.1.1 Bioensaio de toxicidade larval sobre *S. frugiperda*

O inseticida Bazuka[®] (Metomil, 216 g de i.a. L⁻¹) foi utilizado para a condução dos experimentos. Para o preparo das soluções, o produto foi diluído em água destilada com a adição de 0,01% (v/v) de adjuvante surfactante não-iônico Triton[™] X-100 (Vetec[™]). Plantas de milho (BRS 3046[®]) foram cultivadas em casa-de-vegetação, sem aplicação de defensivos agrícolas até o estágio de desenvolvimento V₆. 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), adaptado para a *S. frugiperda* na cultura do milho. Discos foliares de milho foram mergulhados individualmente nas respectivas doses [CL₅, CL₁₅ e CL₃₀ (Tabela 1)] correspondente ao tratamento por 5 segundos e, posteriormente, foram colocados para secar. A testemunha consistiu no uso da água destilada mais adjuvante. Após secos, 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 3^o instar (aproximadamente 5 dias de vida) (Figura 1). A mortalidade foi avaliada após 72 horas de exposição aos tratamentos. As lagartas foram consideradas mortas quando não apresentaram movimentos aparentes quando tocadas com um pincel de cerdas finas.

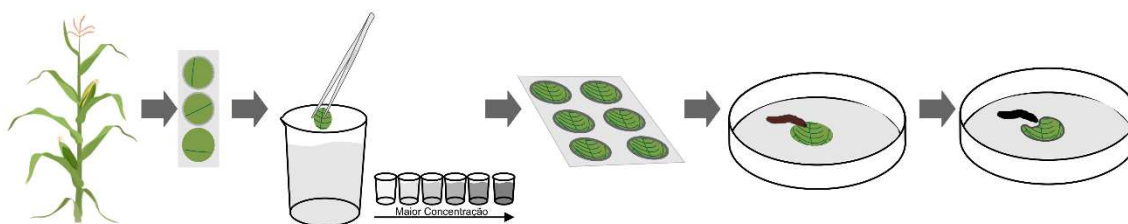


Figura 1 - Esquema ilustrativo das etapas de exposição das lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) ao tratamento com Metomil.

2.2.1.2 Determinação das concentrações letais

As concentrações utilizadas para determinação das Concentrações Letais (CL₅, CL₁₅ e CL₃₀) (Tabela 1), foram obtidas em um pré-teste, no qual foram estimadas 7 (sete) concentrações distribuídas em escala logarítmica, que proporcionaram mortalidades mínimas e máximas de 5 e 95%, respectivamente (ROBERTSON *et al.*, 2017; SIMON; YU, 2014) utilizando a mesma metodologia descrita anteriormente. O experimento foi conduzido utilizando 50 lagartas por concentração (25 lagartas/repetição) com 3 repetições. 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.*, (2017).

2.2.1.3 Bioensaio de efeito subletal sobre *S. frugiperda*

Para avaliar os efeitos subletais do princípio ativo Metomil, as concentrações CL₅, CL₁₅ e CL₃₀ foram comparadas ao controle (água destilada) (DONG *et al.*, 2017) (Tabela 1). As lagartas foram expostas aos tratamentos como já descrito anteriormente mantendo-se as lagartas sobreviventes em dieta artificial e avaliando-se diariamente até completarem o ciclo de vida. Os experimentos foram conduzidos em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 5 repetições (20 lagartas/ repetição; n= 400).

Tabela 1 - Concentração Letal (CL₅; CL₁₅; CL₃₀) estimada de Metomil, sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) após exposição

χ^2	P	Slope	Intercepto	CL ₀₅	CL ₁₅	CL ₃₀
				$\mu\text{g i.a. mL}^{-1}$ (IC 95%)		
6,32 ₍₅₎	0,27	1,62 ± 0,13	-2,15 ± 0,19	2,04 (0,92 - 3,47)	4,81 (2,69 - 7,31)	9,91 (6,40 - 14,19)

η : Número de indivíduos = 397; Entre parênteses Graus de Liberdade; χ^2 : Chi-quadrado; P: Significância; CL: Concentração letal; IC: Intervalo de confiança.

2.2.1.4 Parâmetros avaliados

A sobrevivência e a duração da fase de larva e pupa foram avaliadas diariamente até a emergência dos adultos. As pupas 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. O número de lagartas que se tornaram pupas e o número de pupas que emergiram foram utilizados para estimar a sobrevivência das lagartas e 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 dos ovos foi feita diariamente e para contagem utilizou-se um microscópio estereoscópio. Foram registrados os períodos de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição. A sobrevivência dos adultos também foi avaliada diariamente. A fertilidade foi obtida por meio da viabilidade de 25 ovos de cada casal.

2.2.2 Criação e manutenção de *T. pretiosum*

A criação de *T. pretiosum* foi mantida seguindo a metodologia descrita por Stein e Parra (1987). Ovos do hospedeiro alternativo *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae) mantidos em laboratório de acordo com a metodologia proposta por Parra (1997), foram coletados e colados em cartelas de cartolina azul celeste (5,0 x 2,0 cm) com goma arábica diluída em água (5%). Posteriormente as cartelas foram submetidas ao processo de inviabilização, por exposição a luz germicida ultravioleta por um período de 50 minutos e à distância de 15 cm da fonte de luz. Posteriormente as cartelas foram colocadas em tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo adultos de *T. pretiosum*, expondo assim os ovos ao parasitismo por 48 horas. Posteriormente as cartelas foram individualizadas em tubos de vidro (100 x 25 mm), fechados com filme plástico PVC® e mantidos em sala

sob condições controladas ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h), até a emergência dos adultos. Os adultos de *T. pretiosum* foram alimentados com uma gotícula de mel puro.

2.2.2.1 Toxicidade e efeito subletal dos produtos sobre *T. pretiosum*

O experimento foi conduzido seguindo a metodologia descrita na literatura (CARVALHO *et al.*, 2003; MOURA; CARVALHO; RIGITANO, 2005; KHAN; RUBERSON, 2017; KANNO *et al.*, 2020). Cartelas contendo 40 ovos de *A. kuehniella* foram submersas por 5 segundos em cada tratamento (CL₅, CL₁₅, CL₃₀) de Metomil e Controle (Água destilada), posteriormente mantidas em temperatura ambiente, por cerca de 30 min, até a secagem dos resíduos. Posteriormente as cartelas tratadas foram oferecidas a fêmeas dos parasitoides.

Para avaliar os efeitos subletais, em cada tratamento, foram selecionadas 15 fêmeas com até 24 h de vida, da geração F₁. As fêmeas foram individualizadas em tubos de vidro (100 x 25 mm), no qual receberam cartelas contendo 40 ovos de *A. kuehniella* (sem tratamento com o inseticida) para parasitismo (PRATISSOLI *et al.*, 2004). As cartelas foram renovadas a cada 24 h, até a morte da fêmea. As cartelas referentes a cada bioensaio foram mantidas em condições controlada ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h) e verificadas diariamente para avaliar a emergência de parasitoides.

O parasitismo (%) obtido por meio da razão entre número de ovos escuros com número total de ovos; a emergência (%), por meio da razão entre o número de adultos com número de ovos parasitados (DEGRANDE; GOMEZ, 1990) e; a razão sexual, por meio da metodologia proposta por BOWEN; STERN, (1966), onde $RS = [\text{n}^\circ \text{ de fêmeas} / (\text{n}^\circ \text{ de fêmeas} + \text{n}^\circ \text{ de machos})]$, foram os parâmetros avaliados nas gerações F₁ e F₂. Para estimar a tabela de vida e fertilidade da geração F₂, foi avaliado o número de ovos parasitados, a porcentagem acumulada de parasitismo, o número total de ovos parasitados por fêmea e a longevidade das fêmeas do parasitoide diariamente, conforme a metodologia descrita anteriormente. Os bioensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e vinte repetições para o bioensaio de efeito letal (n= 80), e quinze repetições para o bioensaio de efeito subletal (n= 60).

2.2.2.2 Análise estatística

Os dados 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 foi aplicada análise de variância (ANOVA) e, sempre que se constatou significância estatística pelo teste F ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), ou submetidas ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, quando os pressupostos da análise de variância foram atendidos. As análises estatísticas foram realizadas utilizando Software R Version 4.0.2 (R CORE TEAM, 2023).

Os dados referentes aos parâmetros reprodutivos 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), para o *T. pretiosum* não foram estimados APOP e TPOP.

2.3 Resultados

O desenvolvimento de larva-pupa, pupa-adulto e de larva-adulto da população de lagartas de 3º instar expostas inicialmente às concentrações de CL₅, CL₁₅ e CL₃₀ de Metomil não foi afetado de modo significativo para ambos os sexos (Tabela 2). Entretanto, foram observadas reduções significativas em todos os estágios de desenvolvimento avaliados (Tabela 2), sendo constada redução de 17,5% na sobrevivência de larva-pupa (CL₃₀) e, no período de pupa-adulto, a redução foi de 22,3% na sobrevivência dos machos (CL₃₀). A taxa de sobrevivência de larva-adulto foi reduzida em 26,6% (CL₅) em relação ao controle. A massa das pupas e a razão sexual não foram afetadas pela exposição das lagartas às concentrações subletais de Metomil (Tabela 2).

Tabela 2 - Média (\pm EP) do tempo de desenvolvimento e sobrevivência de diferentes estágios de vida

de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) após exposição as concentrações subletais de Metomil

Parâmetros (Dias)	Tratamentos				P (Valor)	F (Valor)
	CL ₅	CL ₁₅	CL ₃₀	Controle		
Larva-Pupa						
Macho	17,65 ± 0,98	17,7 ± 0,85	17,95 ± 1,15	17,37 ± 0,99	0,9	0,057 ^{N.S.}
Fêmea	17,34 ± 0,91	17,6 ± 1,06	18,46 ± 1,34	17,1 ± 0,8	0,8	0,32 ^{N.S.}
Pupa-Adulto						
Macho	10,44 ± 0,69	11,23 ± 0,61	10,79 ± 0,92	10,95 ± 0,58	0,88	0,21 ^{N.S.}
Fêmea	9,15 ± 0,54	8,9 ± 0,41	9,45 ± 0,84	9,55 ± 0,95	0,91	0,16 ^{N.S.}
Larva-Adulto						
Macho	28,09 ± 1,67	28,93 ± 1,45	28,74 ± 1,89	28,32 ± 1,5	0,98	0,05 ^{N.S.}
Fêmea	26,48 ± 1,31	26,5 ± 1,39	27,91 ± 1,94	26,65 ± 1,6	0,9	0,18 ^{N.S.}
Massa das Pupas (mg)						
Macho	262,04 ± 6,48	261,5 ± 2,7	259,99 ± 3,5	255,02 ± 2,92	0,63	0,58 ^{N.S.}
Fêmea	257,59 ± 2,65	249,78 ± 6,84	242,07 ± 8,62	243,21 ± 4,74	0,29	1,35 ^{N.S.}
Larva-Pupa (%)	83,2 ± 6,1 b	86,2 ± 2,68 ab	82,50 ± 4,87 b	100 ± 0,00 a	0,028	3,9*
Pupa-Adulto (%)						
Macho	91,67 ± 5,27 ab	92,7 ± 3,04 ab	77,62 ± 7,02 b	100 ± 0 a	0,025	4,05*
Fêmea	79,62 ± 7,19 b	80,56 ± 5,14 ab	80,92 ± 3,85 ab	100 ± 0 a	0,02	4,1*
Larva-Adulto (%)	69,19 ± 8,46 b	79,5 ± 4,62 ab	79,21 ± 4,22 ab	95,84 ± 1,9 a	0,02	4,13*
Razão Sexual	0,51 ± 0,09	0,46 ± 0,05	0,45 ± 0,04	0,52 ± 0,13	0,91	0,17 ^{n.s.}

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{n.s.}não significativo; *significativo a 5% e; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Observou-se maior período de pré-oviposição total e redução da longevidade dos adultos de *S. frugiperda* provenientes das lagartas expostas às concentrações subletais de Metomil (Tabela 3). A CL₃₀ causou redução de aproximadamente 2 dias no período de oviposição total e na longevidade das fêmeas, com incremento no tempo de geração e no tempo para dobrar a população (Tabela 3). Os adultos provenientes do tratamento com a CL₃₀ apresentaram redução de 50,0 e 45,0% na fecundidade e na fertilidade das fêmeas em relação ao controle, respectivamente (Tabela 3). Nos parâmetros: Taxa intrínseca de aumento, taxa bruta e líquida de reprodução, foram observadas reduções de 23,0; 46,0 e 70,0%, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 3). Destaca-se que na CL₃₀ foram observadas reduções nos parâmetros reprodutivos de *S. frugiperda*, principalmente na fertilidade, fecundidade e na taxa líquida de reprodução.

Tabela 3 - Média (± EP) do período (Dias) de pré-oviposição, pré-oviposição total, oviposição, longevidade, tempo de geração e tempo para dobrar a população, taxa intrínseca e finita de aumento e taxa bruta e líquida de reprodução de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) após exposição as concentrações subletais de Metomil

Parâmetros ^a	CL ₅	CL ₁₅	CL ₃₀	Controle
APOP (dias)	4,23 ± 0,35 a	4,33 ± 0,35 a	3,94 ± 0,48 a	3,88 ± 0,35 a

TPOP (dias)	30,92 ± 0,87 a	29,86 ± 0,78 a	30,25 ± 1,18 a	27,75 ± 0,6 b
Dias de Oviposição	5,58 ± 0,43 a	4,67 ± 0,41 a	3,19 ± 0,46 b	5,29 ± 0,31 a
Long. Macho (dias)	10 ± 0,45 a	9,76 ± 0,43 a	9,69 ± 0,43 a	9,08 ± 0,31 a
Long. Fêmea (dias)	11,69 ± 0,46 a	11,05 ± 0,55 ab	9,13 ± 0,4 c	10,46 ± 0,25 b
Long. Adultos (dias)	10,88 ± 0,34 a	10,4 ± 0,36 ab	9,41 ± 0,3 c	9,77 ± 0,22 bc
Tempo de geração (dias)	30,84 ± 0,68 a	31,63 ± 0,69 a	30,58 ± 0,87 ab	28,83 ± 0,5 b
TD (dias)	3,65 ± 0,21 a	3,9 ± 0,21 a	4,11 ± 0,29 a	3,16 ± 0,12 b
Fecundidade (n)	894,08 ± 151,5 ab	740,57 ± 107,01 b	615,19 ± 98,14 b	1217,96 ± 96,46 a
Fertilidade (%)	74,24 ± 8,25 b	64,59 ± 5,6 bc	51,72 ± 1,15 c	94,94 ± 1,62 a
r	0,19 ± 0,01 b	0,18 ± 0,01 b	0,17 ± 0,01 b	0,22 ± 0,01 a
λ	1,21 ± 0,01 b	1,19 ± 0,01 b	1,18 ± 0,01 b	1,25 ± 0,01 a
GRR	574,09 ± 116,9 a	483,8 ± 106,53 a	411,33 ± 107,13 b	757,91 ± 131,16 a
R0	346,96 ± 78,87 ab	277,71 ± 62,05 b	172,68 ± 45,43 b	562,13 ± 95,24 a

Período de pré-oviposição adulto (APOP), período de pré-oviposição total (TPOP), (TD) tempo para dobrar a população (TD) expressos em dias. r: taxa intrínseca de aumento (d^{-1}), λ: taxa finita de aumento (d^{-1}), GRR: taxa bruta de reprodução e R0: taxa líquida de reprodução (filho/indivíduo).^aMédias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Bootstrap emparelhado usando o programa TWSEX MS *chart* ao nível de 5% de probabilidade. Erro padrão (SE) estimado usando a técnica de Bootstrap com 100.000 reamostragens.

A taxa de sobrevivência por idade (lx) de *S. frugiperda* após a exposição à CL₃₀ de Metomil foi reduzida em cerca de 35,0% em relação tratamento controle (Figura 2). A taxa de sobrevivência por faixa etária (Sx) dos machos e das fêmeas foi reduzida em cerca de 50,0% em relação ao controle e, a fecundidade diária também foi reduzida, onde constatou-se que o valor máximo (175) foi inferior aos 219 ovos obtidos no controle (Figura 3). A longevidade dos adultos de *S. frugiperda* foi maior quando os insetos foram expostos às CL's de Metomil, entretanto foi registrada menor fecundidade diária em relação ao controle (Figura 2). Dentre as concentrações utilizadas, a CL₃₀ foi a que mais causou efeitos negativos sobre os parâmetros reprodutivos de *S. frugiperda* (Figura 2).

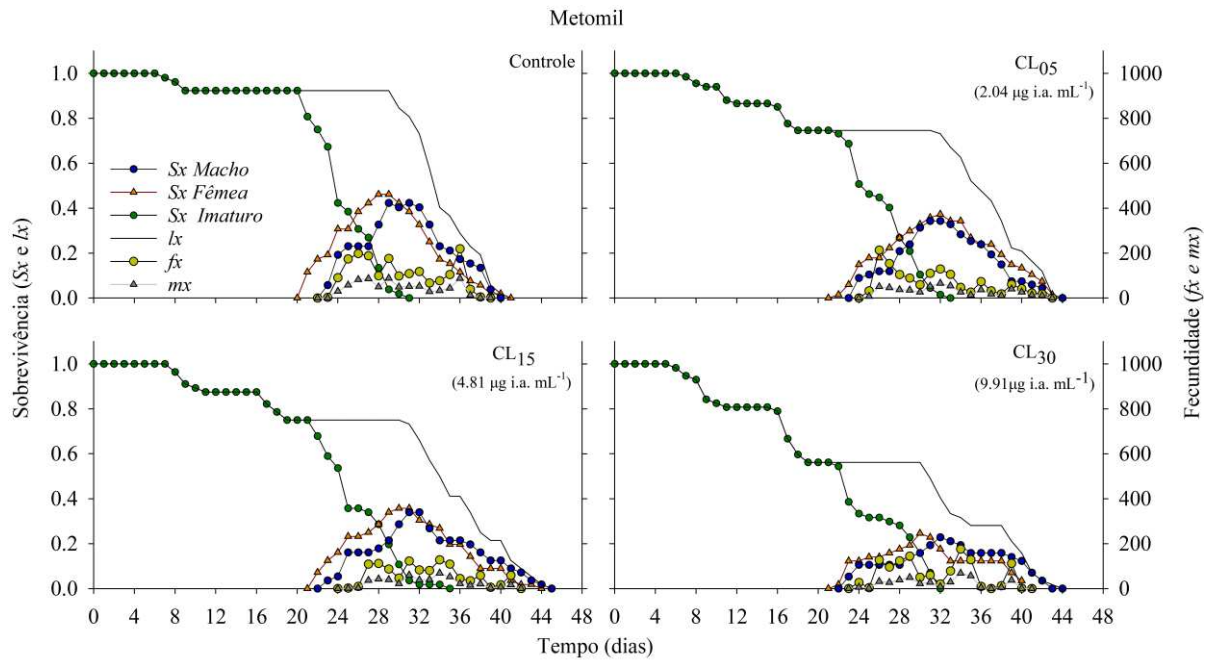


Figura 2 - Taxa de sobrevivência por faixa etária (Sx), taxa de sobrevivência específica por idade (lx), fecundidade específica por idade feminina (fx) e fecundidade específica por idade populacional (mx) de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) após exposição as concentrações subletais de Metomil.

Na geração F1, somente o percentual de parasitismo e de emergência de *T. pretiosum* foram reduzidos em cerca de 10,0 e 13,0%, respectivamente na CL₃₀ em relação ao controle (Tabela 4). Na geração F2, não foram observadas reduções significativas em nenhum parâmetro avaliado (Tabela 4).

Tabela 4 - Parasitismo (%), emergência (%) e razão sexual (Média ± EP) de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) após exposição a concentrações subletais de Metomil nas gerações F1 e F2

Parâmetros ^a	CL ₅	CL ₁₅	CL ₃₀	Controle	χ^2 (Valor)	F (Valor)
Geração F1						
Parasitismo (%)	94,2 ± 2,83 b	92,3 ± 2,44 bc	90,7 ± 1,67 c	100,0 ± 0,00 a	23,74**	0,01
Emergência (%)	83,5 ± 3,72 b	81,0 ± 4,69 b	83,5 ± 3,44 b	96,0 ± 1,71 a	13,52**	0,01
Razão Sexual	0,53 ± 0,08 a	0,39 ± 0,08 a	0,46 ± 0,08 a	0,67 ± 0,07 a	7,39 ^{n.s.}	0,06
Geração F2						
Parasitismo (%)	95,7 ± 2,34 a	82,4 ± 10,2 a	82,0 ± 9,20 a	100,0 ± 0,00 a	6,74 ^{n.s.}	0,08
Emergência (%)	94,9 ± 1,53 a	93,5 ± 2,27 a	93,5 ± 2,64 a	97,8 ± 0,89 a	2,33 ^{n.s.}	0,51
Razão Sexual	0,69 ± 0,06 a	0,65 ± 0,03 a	0,66 ± 0,06 a	0,68 ± 0,02 a	4,52 ^{n.s.}	0,21

^{n.s.}não significativo; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste; ²Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade.

Os parâmetros: Longevidade das fêmeas, dias de oviposição, tempo para dobrar a população, tempo de geração, fecundidade, taxa intrínseca de aumento, taxa finita de aumento, taxa bruta de reprodução e taxa líquida de reprodução de *T. pretiosum* não foram afetados pela exposição às doses subletais de Metomil (Tabela 5).

Tabela 5 - Média (± EP) do período de oviposição, longevidade, tempo de geração e tempo para dobrar a população, taxa intrínseca e finita de aumento e taxa bruta e líquida de reprodução de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) após exposição as concentrações subletais de Metomil

Parâmetros	CL ₅	CL ₁₅	CL ₃₀	Controle
Dias de Oviposição	18,13 ± 1,87 a	16,38 ± 1,54 a	16,36 ± 1,64 a	16,71 ± 1,95 a
Long. Fêmea (d)	27,79 ± 2,04 a	31,07 ± 2,06 a	29,54 ± 2,03 a	29,67 ± 1,4 a
Tempo de geração (d)	14,15 ± 0,15 a	14,1 ± 0,18 a	14,21 ± 0,19 a	14,11 ± 0,19 a
TD (d)	1,88 ± 0,02 a	1,86 ± 0,01 a	1,93 ± 0,04 a	1,88 ± 0,02 a
Fecundidade (n)	186,8 ± 16,65 a	192,15 ± 12,39 a	164,6 ± 18,69 a	179,57 ± 16,16 a
r	0,37 ± 0 a	0,37 ± 0 a	0,36 ± 0,01 a	0,37 ± 0 a
λ	1,45 ± 0 a	1,45 ± 0 a	1,43 ± 0,01 a	1,44 ± 0,01 a
GRR	213,05 ± 11,22 a	214,53 ± 7,79 a	181,43 ± 18,15 a	224,28 ± 16,06 a
R0	186,8 ± 16,65 a	192,15 ± 12,39 a	164,6 ± 18,69 a	179,57 ± 16,16 a

(TD) tempo para dobrar a população (TD) em dias. r: taxa intrínseca de aumento (d^{-1}), λ: taxa finita de aumento (d^{-1}), GRR: taxa bruta de reprodução e R0: taxa líquida de reprodução (filho/indivíduo).

^aMédias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Bootstrap emparelhado usando o programa TWSEX MS chart ao nível de 5% de probabilidade. Erro padrão (SE) estimado usando a técnica de Bootstrap com 100.000 reamostragens.

Em relação a taxa de sobrevivência, observou-se que a CL₅ proporcionou aumento na sobrevivência das fêmeas de *T. pretiosum* (Figura 3). No entanto, a fecundidade diária foi afetada principalmente na CL₃₀, sendo observada redução média de 20,0% em relação ao controle ao longo do ciclo de vida das fêmeas (Figura 4).

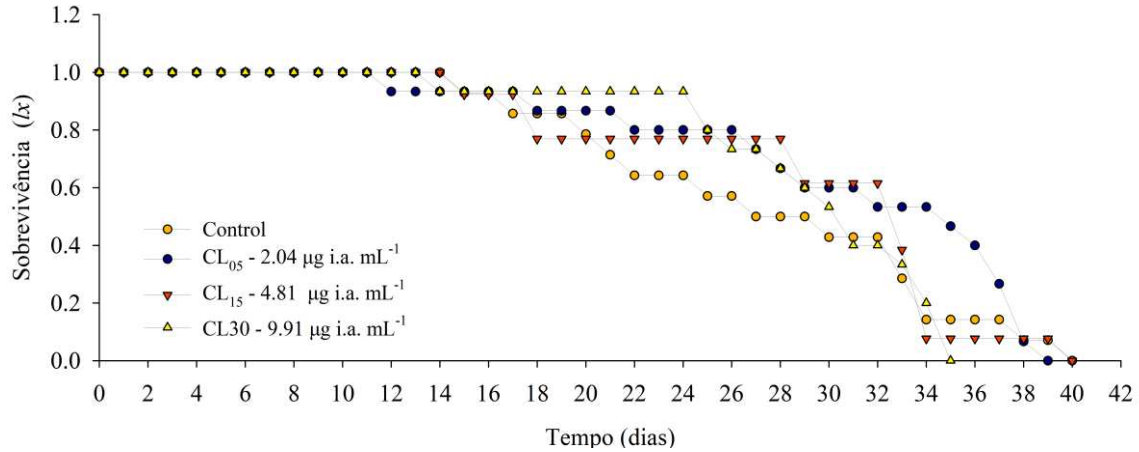


Figura 3 - Taxa de sobrevivência (lx) específica por idade de fêmeas (fx) de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) após exposição as concentrações subletais de Metomil.

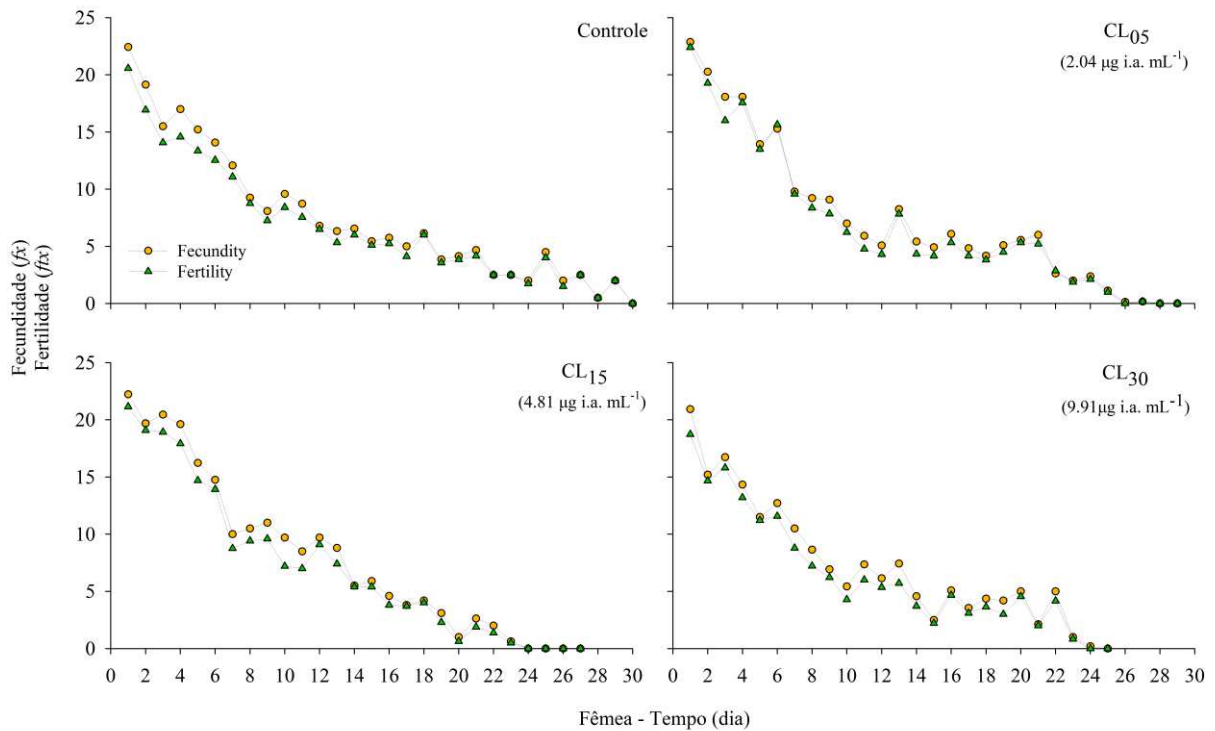


Figura 4 - Fecundidade específica por idade fêmea (fx) e fertilidade (ftx) específica por idade feminina (fx) de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) após exposição as concentrações subletais de Metomil.

2.4 Discussão

Compreender os efeitos dos inseticidas sobre insetos-praga e inimigos naturais é importante para implementar estratégias de manejo da resistência bem como reduzir a quantidade de inseticidas aplicados, além de viabilizar a integração entre os métodos antes que ocorram falhas de controle (GUEDES, 2017a; MOUSTAFA *et al.*, 2021; ROSS; BROWN, 1982; SABER *et al.*, 2013). No presente estudo foi avaliado o efeito subletal do princípio ativo Metomil sobre *S. frugiperda*, praga-chave na cultura do milho, e sobre o parasitoide de ovos, *T. pretiosum*. Com base nos resultados observou-se: 1) redução na sobrevivência, na fase imatura e na longevidade de *S. frugiperda* após a exposição ao princípio ativo e; 2) redução nos parâmetros reprodutivos, como taxa intrínseca e finita de aumento, taxa bruta e líquida de reprodução do lepidóptero-praga. Em relação aos efeitos sobre o parasitoide *T. pretiosum*, foram identificados efeitos negativos sobre a emergência e o parasitismo na geração F1, mas na geração (F2), não foram observados efeitos negativos sobre emergência, parasitismo e razão sexual.

Observou-se redução na sobrevivência das larvas (lagartas) e das pupas de *S. frugiperda* após exposição às concentrações subletais de Metomil. A mortalidade está relacionada a fatores como concentração na qual o inseto foi exposto e o tempo de exposição (YU, 2014), sendo que para que ocorra mortalidade, demanda-se quantidade suficiente de inseticidas que ultrapasse a capacidade inata do inseto em metabolizar, inativar e excretar aquela molécula, para que o ingrediente ativo se ligue ao sítio alvo (GUEDES *et al.*, 2016). No entanto, os insetos desenvolvem mecanismos para tentar evitar esse processo, como a rápida excreção do produto, o acúmulo no corpo gorduroso e a destoxificação metabólica (WHALON *et al.*, 2008; YU, 2014). Esses mecanismos podem retardar a ligação do princípio ativo com o sítio de ação fazendo com que a ação letal do princípio ativo demore para ocorrer, como foi observado no presente estudo e na literatura quando usados os produtos: Metoxifenoazida, Tiodicarbe, Hexaflumuron e Indoxacarb (SABER *et al.*, 2013; VOJOURI *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2022; WU *et al.*, 2022).

A interferência na sobrevivência dos estágios larva e pupa de *S. frugiperda* quando expostos ao Metomil era esperada pois inseticidas podem atuar sobre genes específicos e afetar adversamente a transformação larva-pupa, como registrado em *Bombyx mori* (Linnaeus) (Lepidoptera: Bombycidae) exposta à

Clorrantraniliprole (CHEN *et al.*, 2020).

A exposição de *S. frugiperda* a Metomil representou aumento na longevidade dos adultos. O aumento na longevidade das fêmeas pode estar relacionado à menor oviposição, ou seja, o menor gasto energético para a reprodução pode ter sido convertido em ganho na longevidade, considerando-se assim o redirecionamento no fluxo de energia (KHORSHIDI *et al.*, 2019).

Observou-se atraso no início da oviposição bem como redução no período de oviposição, o que resultou no aumento no tempo de geração e atraso no tempo para dobrar a população dos insetos expostos as CL's de Metomil. A CL₃₀ de Metomil proporcionou reduções consideráveis na fertilidade e na fecundidade de *S. frugiperda*. Essa constatação foi observada em *S. frugiperda*, *Helicoverpa* (= *Heliiothis*) *armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1767) (Lepidoptera: Noctuidae) e parece comum em bioensaios de efeitos subletais (VOJOURI *et al.*, 2017; DING *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2022). Esse resultado pode estar relacionado aos efeitos do inseticida sobre aspectos fisiológicos da reprodução, como fertilização dos ovos, ovogênese, ovulação, espermatogênese e motilidade espermática (FRANÇA *et al.*, 2017; GUEDES *et al.*, 2016; HAYNES, 1988; LEE, 2000). Além da fertilidade e da fecundidade, as concentrações subletais proporcionaram reduções nas taxas intrínseca e finita de aumento e nas taxas bruta e líquida de reprodução. A exposição às concentrações subletais de inseticidas que atuam no sistema nervoso podem afetar a fisiologia dos insetos e reduzir a sobrevivência e a reprodução (GUEDES *et al.*, 2016). Essas características são importantes para determinar o tamanho da população futura e portanto foram potencialmente afetadas pela exposição aos inseticidas (GUEDES *et al.*, 2016; STARK; BANKS, 2003).

O conhecimento dos impactos das doses dos produtos na população do inseto-praga é importante no manejo de pragas visto que a redução no número de descendentes pode impedir ou retardar que os níveis populacionais futuros da praga atinjam o nível de dano econômico (VOJOURI *et al.*, 2017), reduzindo assim a necessidade de intervenção, reduzindo consequentemente os custos. Em contrapartida, a sobrevivência dos insetos após exposição à doses subletais, pode contribuir para o aumento na frequência de indivíduos resistentes dentro da população (GUEDES *et al.*, 2016; GUEDES, 2017a).

Observou-se redução no parasitismo e na emergência (entre 10 e 15%)

na geração F1 de *T. pretiosum* quando expostos às doses subletais do Metomil. Na geração F2 do parasitoide não foram observados efeitos negativos. Em relação aos parâmetros da tabela de vida de fertilidade, a exposição dos parasitoides às concentrações subletais de Metomil não resultaram em efeitos deletérios. Esses resultados podem estar relacionados à concentração utilizada, uma vez que Metomil na concentração de 600 mL.ha⁻¹ (dose recomendada pelo fabricante) é considerado tóxico para o parasitoide (FONTES *et al.*, 2018; PAIVA *et al.*, 2020), mas nas condições estudadas, a maior concentração utilizada foi a CL₃₀ que corresponde a cerca de 2% da dose recomendada pelo fabricante. A concentração utilizada e o estágio de desenvolvimento do parasitoide são pontos que afetam a seletividade dos defensivos (RAKES *et al.*, 2021).

As concentrações utilizadas afetaram negativamente *S. frugiperda*, mas não apresentaram efeitos deletérios sobre o parasitoide, o que é importante para a compreensão da dinâmica no campo. Portanto, uma aplicação adequada de Metomil, resultará em um contato do parasitoide com uma dose subletal visto que o inimigo natural não é o alvo da aplicação e assim a população da praga estará em declínio, enquanto que a do parasitoide não será afetada pelo inseticida, o que em condições de campo pode auxiliar no controle de *S. frugiperda*.

2.5 Conclusões

Concentrações subletais CL₅; CL₁₅; CL₃₀ de Metomil impactam negativamente a taxa de sobrevivência e os parâmetros ligados à tabela de vida de fertilidade de *S. frugiperda*.

Concentrações subletais de Metomil, aplicados em ovos do hospedeiro alternativo *A. kuehniella* não afetam os parâmetros ligados a tabela de vida de fertilidade de *T. pretiosum*.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT, AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2023. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 10 out. 2020.
- BANTZ, A.; CAMON, J.; FROGER, J. A.; GOVEN, D.; RAYMOND, V. Exposure to sublethal doses of insecticide and their effects on insects at cellular and physiological levels. **Current Opinion in Insect Science**, v. 30, p. 73-78, 2018. DOI: 10.1016/j.cois.2018.09.008.
- BOWEN, W. R.; STERN, V. M. Effect of temperature on the production of males and sexual mosaics in a uniparental race of *Trichogramma semifumatum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 59, n. 4, p. 823-834, 1966. DOI: 10.1093/aesa/59.4.823.
- BUTT, B. A.; CANTU, E. Sex determination of lepidopterous pupae /. [Washington, D.C.]: **Agricultural Research Service**, U.S. Dept. of Agriculture, v. 33, n. 75, p. 1-7, 1962. DOI: 10.5962/bhl.title.67261.
- CARVALHO, G. A.; REIS, P. R.; ROCHA, L. C. D.; CAMPOS, J.; FUINI, L. C.; ECOLE, C. C. Side-effects of insecticides used in tomato fields on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera , Trichogrammatidae). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 275-279, 2003.
- CHEN, J.; LU, Z.; LI, M.; MAO, T.; WANG, H.; LI, F.; SUN, H.; DAI, M.; YE, W.; LI, B. The mechanism of sublethal chlorantraniliprole exposure causing silkworm pupation metamorphosis defects. **Pest Management Science**, v. 76, n. 8, p. 2838-2845, 2020. DOI: 10.1002/ps.5836.
- 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. **Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica**, v. 24, n. 2, p. 225-240, 1985.
- CHIMWETA, M.; NYAKUDYA, I. W.; JIMU, L.; BRAY MASHINGAIDZE, A. Fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers. **International Journal of Pest Management**, v. 66, p. 142-154, 2020. DOI: 10.1080/09670874.2019.1577514.
- DEGRANDE, P. E.; GOMEZ, D. R. S. Seletividade de produtos químicos no controle de pragas. **Agrotécnica**, v. 7, p. 8-13, 1990.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007. DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440.

DING, J.; ZHAO, Y.; ZHANG, Z.; XU, C.; MU, W. Sublethal and hormesis effects of clothianidin on the black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 6, p. 2809-2816, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy254.

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

FONTES, J.; ROJA, I. S.; TAVARES, J.; OLIVEIRA, L.. Lethal and sublethal effects of various pesticides on *Trichogramma achaeae* (hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 3, p. 1219-1226, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy064.

FRANÇA, S. M.; BREDA, M. O.; BARBOSA, D.R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, C. A. The sublethal effects of insecticides in insects. **Biological Control of Pest and Vector Insects**, p. 23-39, 2017. DOI: 10.5772/66461.

GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, control failure likelihood and the first Law of Geography. **Pest Management Science**, v. 73, p. 479-484, 2017. DOI: 10.1002/ps.4452.

GUEDES, R. N. C.; SMAGGHE, G.; STARK, J. D.; DESNEUX, N. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. **Annual Review of Entomology**, v. 61, n. 1, p. 43-62, 2016. DOI: 10.1146/annurev-ento-010715-023646.

HASSAN, B. A. R.; YUSOFF, Z. B. M.; OTHMAN, M. A. H.; BIN, S. Information is available at the end of the Chapter. **We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books Built by scientists, for scientists TOP 1%**, p. 13, 2012.

HAYNES, K. F. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. **Annual Review of Entomology**, v. 33, n. 1, p. 149-168, 1988. DOI: 10.1146/annurev.en.33.010188.001053.

HOUNGBO, S.; ZANNOU, A.; AOUDJI, A.; SOSSOU, H. C.; SINZOGAN, A.; SIKIROU, R.; ZOSSOU, E.; VODOUNON, H. S. T.; ADOMOU, A.; AHANCHÉDÉ, A. Farmers' knowledge and management practices of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in Benin, West Africa. **Agriculture**, v. 10, p. 430, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10100430>.

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

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.

Disponível em: [https://irac-](https://irac-online.org/content/uploads/Method_007_v3.1_24july14.pdf)

[online.org/content/uploads/Method_007_v3.1_24july14.pdf](https://irac-online.org/content/uploads/Method_007_v3.1_24july14.pdf).

KANNO, R. H.; BOLZAN, A.; KAISER, I. S.; LIRA, E. C.; AMARAL, F. S. A. A.; GUIDOLIN, A. S.; NASCIMENTO, A. R. B. B.; OMOTO, C.. Low risk of resistance evolution of *Spodoptera frugiperda* to chlorfenapyr in Brazil. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 1, p. 365-378, 2020. DOI: 10.1007/s10340-019-01165-x.

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**, v. 53, v.1/2, p.68-78, 1978.

KHAN, M. A.; RUBERSON, J. R. Lethal effects of selected novel pesticides on immature stages of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2465-2472, 2017. DOI: 10.1002/ps.4639.

KHORSHIDI, M.; POUR ABAD, R. F.; SABER, M.; ZIBAEI, A. Effects of hexaflumuron, lufenuron and chlorfluazuron on certain biological and physiological parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, p. 101270, 2019. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101270.

LEE, C. Y. Sublethal effects of insecticides on longevity, fecundity and behaviour of insect pests: a review. **Journal of Bioscience**, v. 11, n. 1, p. 107-112, 2000.

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

LIU, Z. K.; LI, X. L.; TAN, X. F.; YANG, M.F.; IDREES, A.; LIU, J. F.; SONG, S. J.; SHEN, J.. Sublethal effects of emamectin benzoate on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agriculture**, v. 12, n. 7, p. 959, 2022. DOI: 10.3390/agriculture12070959.

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, p. 286-300, 2018. DOI: 10.4001/003.026.0286.

MOURA, A. P.; CARVALHO, G. A.; RIGITANO, R. L. O. Toxicidade de inseticidas utilizados na cultura do tomateiro a *Trichogramma pretiosum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 203-210, 2005. DOI: 10.1590/s0100-204x2005000300002.

MOUSTAFA, M. A. M.; FOUAD, E. A.; MOBDY, Y. A.; HAMOW, K. Á.; MIKÓ, Z.; MOLNÁR, B. P.; FÓNAGY, A. Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole and indoxacarb on *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 56, n. 1, p. 115-124, 2021. DOI: 10.1007/s13355-020-00721-7.

OLIVEIRA, R. C. M.; PASTORI, P. L.; BARBOSA, M. G.; PEREIRA, F.F.; MELO,

SILVA, J. W.; ANDRÉ, T. P. P. Dispersal of *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879, (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in cabbage, cucumber, and sweet corn. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. 1-11, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020190412.

PAIVA, A. C. R.; IOST FILHO, F. H.; PARRO, E. A.; BARBOSA, D. P. L.; YAMAMOTO, P. T. Do ready-mix insecticides cause lethal and sublethal effects on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) pupa? **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 3, p. 1227-1233, 2020. DOI: 10.1093/jee/toaa031.

PAIVA, A. C. R.; BELOTI, V. H.; YAMAMOTO, P. T.. Sublethal effects of insecticides used in soybean on the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ecotoxicology**, v. 27, n. 4, p. 448-456, 2018. DOI: 10.1007/s10646-018-1909-5. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-018-1909-5>.

PARRA, J. R. Técnicas de criação de *Anagasta kuhniella*, hospedeiro alternativo para produção de *Trichogramma*. In: **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. FEALQ ed. Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 121-150.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in brazil: From laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p.5, 2019. DOI: 10.1093/jisesa/iey112.

PONCE, F. S.; TOLEDO, C. A. L.; DE OLIVEIRA, M. D.; JÚNIOR, S. S.; DE OLIVEIRA, R. C. Cost and profitability of biological control of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) using *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in kale and cabbage growth. **SSRN Electronic Journal**, p. 167 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4157421.

PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J. C.; VIANNA, U. R.; ANDRADE, J. S.; GUIMARÃES, E. M. ; ESPINDULA, M. C.. Fertility life table of *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma acacioi* on eggs of *Anagasta kuehniella* at different temperatures. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 193-196, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000200014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing URL <https://www.R-project.Org>. Vienna, Austria, 2023.

RAKES, M.; PASINI, R. A.; MORAIS, M. C.; ARAÚJO, M. B.; PAZINI, J. B.; SEIDEL, E. J.; BERNARDI, D.; GRÜTZMACHER, A. D. Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest Management. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111504, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111504.

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. In: **Embrapa Clima Temperado. Documentos,344**. 1ª Edição ed. Pelotas, RS: Embrapa, p. 30., 2012.
- ROSS, D. C.; BROWN, T. M. Inhibition of larval growth in *Spodoptera frugiperda* by sublethal dietary concentrations of insecticides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 30, n. 1, p. 193-196, 1982. DOI: 10.1021/jf00109a045.
- 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.
- SILVA, L. B.; MAGGIONI, K.; FERREIRA, R. H.; SILVA, A. F.; PAVAN, B. E.; LOPES, G. N. Survival and nutritional indexes of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) maintained in *Bt maize* for five generations. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 2, p. 1-8, 2019. DOI: 10.5039/agraria.v14i2a5629.
- SIMON, J. Yu; YU, Simon J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.] : CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b18164.
- STARK, J. D.; BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 48, n. 1, p. 505-519, 2003. DOI: 10.1146/annurev.ento.48.091801.112621.
- STEIN, C. P.; PARRA, J. R. P.. Uso da radiação para inviabilizar os ovos de *Anagasta kuehniella* visando estudos com *Trichogramma* sp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 6, n. 1, p. 229-231, 1987.
- TAY, W. T.; MEAGHER, R. L.; CZEPAK, C.; GROOT, A. T. *Spodoptera frugiperda*: Ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 299-317, 2023. DOI: 10.1146/annurev-ento-120220-102548.
- VOJOU DI, S.; SABER, M.; GHAREKHANI, G.; ESFANDIARI, E. Toxicity and sublethal effects of hexaflumuron and indoxacarb on the biological and biochemical parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Iran. **Crop Protection**, v. 91, p. 100-107, 2017. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.09.020.
- VRYZAS, Z. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 4, p. 5-9, 2018. DOI: 10.1016/j.coesh.2018.03.001.
- WANG, W.; HE, P.; ZHANG, Y.; LIU, T.; JING, X.; ZHANG, S. The population growth of *Spodoptera frugiperda* on six cash crop species and implications for its occurrence and damage potential in China. **Insects**, v. 11, n. 9, p. 639, 2020., 2020. DOI: 10.3390/insects11090639.
- WHALON, M. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; HOLLINGWORTH, R. M. Analysis of global

pesticide resistance in arthropods. In: **Global pesticide resistance in arthropods**. Wallingford UK: CABI, p. 5-31, 2008. DOI: 10.1079/9781845933531.0000.

WU, H. M.; FENG, H. L.; WANG, G. D.; ZHANG, L. L.; ZULU, L.; LIU, Y. H.; ZHENG, Y. Li; RAO, Q. Sublethal effects of three insecticides on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1-11, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12061334.

YANG, L.; LI, F.; LÜ, X.; XING, B.; PAN, X.; SHI, X.; LI, J.; WU, S. Performance of three *Trichogramma* species as biocontrol agents on *Spodoptera frugiperda* eggs. **Journal of Applied Entomology**, v. 146, n. 8, p. 1019-1027, 2022.

YU, S. J. Insecticide resistance. **The toxicology and biochemistry of insecticides**, v. 201, p. 230, 2008.

YU, S. J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.] : CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b18164.

3 DOSES SUBLETAIS DE METOMIL PODEM RESULTAR NA RESISTÊNCIA DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E ALTERAR A BIOLOGIA?

RESUMO

O princípio ativo Metomil é frequentemente utilizado no controle de lepidópteros-praga em diferentes culturas. No entanto problemas na aplicação podem ocorrer e os insetos serem expostos a concentrações subletais, favorecendo a seleção de populações resistentes. Na cultura do milho, o Metomil é utilizado principalmente para o controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), praga-chave na cultura. O objetivo foi selecionar uma população de *S. frugiperda* para resistência a Metomil utilizando concentrações subletais, e estimar a razão de resistência após a pressão de seleção, verificando a existência de custo adaptativo e a possível ocorrência de resistência múltipla com os princípios ativos: Clorfenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom. Uma população de *S. frugiperda* foi coletada em campo, área do município de Guaraciaba do Norte, Estado do Ceará e levada ao Laboratório de Entomologia Aplicada na UFC para estabelecer a criação. Em laboratório a população foi dividida em duas; uma parte mantida sem exposição a inseticidas e outra pressionada para resistência utilizando a CL₅₀ de Metomil (estimada sobre a população coletada). A CL₅₀ foi estimada novamente na 3^a, 6^a e 11^a gerações. Os bioensaios referentes ao custo adaptativo foram realizados na 7^a geração, para estimar a tabela de vida de fertilidade foi utilizado o software TWO-SEX-MSChart. Na 11^a geração foi verificada a existência de resistência múltipla aos princípios ativos: Clorfenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom. Após 11 gerações de exposição da *S. frugiperda* a concentração subletal (CL₅₀) de Metomil, a população de *S. frugiperda* apresentou baixa razão de resistência (4.8 vezes). Em relação aos aspectos biológicos da população exposta ao inseticida Metomil foi constatado que ocorreu incremento no tempo de desenvolvimento de larva a adulto e redução de 37,0% na sobrevivência de larva a adulto, em relação a população não exposta ao inseticida. Em relação aos parâmetros reprodutivos, foi observada redução na longevidade dos adultos bem como no período de oviposição e, incremento no tempo de geração e no tempo para dobrar a população, para a população exposta ao inseticida. A fertilidade das fêmeas da população exposta ao Metomil foi reduzida em 49,0% quando comparada com a população não exposta. Os parâmetros

referentes a tabela de vida de fertilidade como taxa intrínseca de aumento, taxa finita de aumento, taxa bruta e líquida de reprodução foram reduzidas em 22,0; 4,0; 28,0 e 72,0%, respectivamente, quando comparadas com a população não exposta ao inseticida. A aptidão relativa (Rf) foi estimada em 0,27, o que indica que existe custo adaptativo associado a resistência de *S. frugiperda* ao princípio ativo Metomil. Não foi constatada a existência de resistência múltipla entre a população Metomil-Resistente aos princípios ativos Clofenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom. Portanto nas condições do estudo foi determinado que a exposição da população de *S. frugiperda* a concentração subletal CL₅₀ do princípio ativo Metomil resultou em baixa razão de resistência mas, mesmo assim, foi verificada a existência de custo adaptativo, e que pode-se utilizar os princípios ativos: Clofenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom para o controle dessa população.

Palavras-chave: carbamatos, Lagarta-do-cartucho, resistencia múltipla.

ABSTRACT

The active ingredient Methomyl is frequently used to control Lepidoptera pests in different crops. However, application problems may occur and insects may be exposed to sublethal concentrations, favoring the selection of resistant populations. In corn cultivation, Methomyl is mainly used to control *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), a key pest in the crop. The objective was to select a population of *S. frugiperda* for resistance to Methomyl using sublethal concentrations, and to estimate the resistance ratio after selection pressure, verifying the existence of an adaptive cost and the possible occurrence of multiple resistance with the active ingredients: Chlorfenapyr, Metaflumizone and Teflubenzuron. A population of *S. frugiperda* was collected in the field, in the municipality of Guaraciaba do Norte, State of Ceará, and taken to the Applied Entomology Laboratory at UFC to establish breeding. In the laboratory, the population was divided into two, one part maintained without exposure to insecticides and the other pressed for resistance using the LC₅₀ of Methomyl (estimated on the population collected). The CL₅₀ was estimated again in the 3rd, 6th and 11th generations. The bioassays referring to the adaptive cost were carried out in the 7th generation, to estimate the fertility life table the TWO-SEX-MSChart software was used. In the 11th generation, the existence of multiple resistance to the active ingredients was verified: Clofenapyr, Metaflumizone and Teflubenzuron. After 11 generations of exposure of *S. frugiperda* to sublethal concentration (LC₅₀) of Methomyl, the *S. frugiperda* population showed a low resistance ratio (4.8 times). In relation to the biological aspects of the population exposed to the insecticide Methomil, it was found that there was an increase in the development time from larva to adult, and a 37.0% reduction in survival from larva to adult, in relation to the population not exposed to the insecticide. In relation to reproductive parameters, a reduction in adult longevity was observed, as well as in the oviposition period, and an increase in generation time and time to double the population, for the population exposed to the insecticide. The fertility of females in the population exposed to Methomil was reduced by 49.0% when compared to the population not exposed to the insecticide. The parameters relating to the fertility life table such as intrinsic rate of increase, finite rate of increase, gross and net rate of reproduction were reduced by 22.0; 4.0; 28.0 and 72.0%, respectively, when compared with the population not exposed to the

insecticide. The relative fitness (Rf) estimated at 0.27, which indicates that there is an adaptive cost associated with the low resistance of *S. frugiperda* to the active ingredient Methomyl. The existence of multiple resistance was not found among the Methomil-Resistant population to the active ingredients Clofenapyr, Metaflumizone and Teflubenzuron. Therefore, under the conditions of the study, it was determined that the exposure of the *S. frugiperda* population to the sublethal LC₅₀ concentration of the active ingredient Methomil resulted in a low resistance ratio, but even so, the existence of an adaptive cost was verified, and that, being able to use the active ingredients Clofenapyr, Metaflumizone and Teflubenzuron to control this population.

Keywords: carbamate, Fall armyworm, multiple resistance.

3.1 Introdução

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é um inseto-praga originário de regiões tropicais e subtropicais da América, com ocorrência nos continentes Asiático e mais recentemente Africano (CZEPAK *et al.*, 2020). Além da capacidade de migração (TAY *et al.*, 2023), esse inseto possui enzimas que possibilitam a destoxicação de substâncias presentes nas diferentes espécies vegetais (XIAO *et al.*, 2020) e assim permite que supere a defesa das plantas e se alimente de mais de 350 espécies de plantas pertencentes a 76 famílias botânicas (MONTEZANO *et al.*, 2018), incluindo plantas de interesse econômico como soja, milho, algodão, aveia, trigo e tomate (SILVA *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020). Dessa forma, *S. frugiperda* tornou-se importante praga em todo o mundo (TAY *et al.*, 2023). Populações de *S. frugiperda* resistentes a diferentes inseticidas têm sido detectadas em diferentes países (RICHARDSON *et al.*, 2020; TAY *et al.*, 2023). De acordo com o banco de dados “Arthropod Pesticide Resistance Database” existem cerca de 61 relatos de resistência de *S. frugiperda* a inseticidas, em 194 pontos, a 45 princípios ativos ou toxinas *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2023). Em Porto Rico existem relatos de populações de *S. frugiperda* resistentes aos inibidores de acetilcolinesterase, onde a razão de resistência entre as populações resistentes e suscetíveis foram de 223, 124 e 47 vezes para os princípios ativos Metomil, Tiodicarbe e Clorpirifós, respectivamente (GUTIÉRREZ-MORENO *et al.*, 2019).

O princípio ativo Metomil (Carbamato) atua no sistema nervoso dos insetos e seu modo de ação envolve a inibição da enzima acetilcolinesterase (AChE). O Metomil se liga ao sítio ativo da AChE, enzima responsável pela quebra do neurotransmissor acetilcolina (SIMON; YU, 2014; SPARKS; NAUEN, 2015). A inibição da AChE leva ao acúmulo de acetilcolina nas sinapses nervosas, o que acarreta interrupção nos impulsos nervosos normais. O acúmulo de acetilcolina leva a uma condição conhecida como toxicidade colinérgica, no qual processos fisiológicos, incluindo contração muscular, transmissão de sinais nervosos e coordenação são interrompidos (SIMON; YU, 2014; SPARKS; NAUEN, 2015). Essa interrupção reduz a capacidade de locomoção e alimentação dos insetos, levando à paralisia e à morte (SIMON; YU, 2014; SPARKS; NAUEN, 2015). No AGROFIT, banco de dados agroquímicos e afins registrados no Ministério da Agricultura e

Pecuária constam 23 produtos comerciais registrados a base Metomil para o controle de pragas (AGROFIT, 2023).

A resistência de insetos a inseticidas é resultante da constante pressão de seleção que ocorre quando uma população de indivíduos é exposta, por sucessivas gerações, ao mesmo princípio ativo ou a princípios ativos diferentes que atuam sobre o mesmo sítio alvo (ISHTIAQ *et al.*, 2014). Em condições de campo ocorrem inúmeros fatores que podem resultar na exposição dos insetos a concentrações subletais e, isso pode contribuir para o aumento da frequência de indivíduos resistentes dentro da população (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; GUEDES, 2017a).

Em campo, o principal indício de populações resistentes são falhas de controle do inseto-praga alvo, quando todos os fatores que afetam a eficiência da pulverização dos inseticidas são adequados (GUEDES, 2017b; RICHARDSON *et al.*, 2020; THIRAWUT *et al.*, 2023). A resistência de insetos a inseticidas é pré-adaptativa e, os genes responsáveis por manifestar o mecanismo de resistência podem estar presentes no material genético dos insetos em baixas frequências (SIMON; YU, 2014).

A resistência geralmente resulta de alterações na genética das gerações seguintes sob forte pressão de seleção, por exemplo, alterações na atividade catalítica da acetilcolinesterase (AChE) ou a interrupção da atividade enzimática, bem como modificações nos receptores e ou canais iônicos que são alterações críticas e causam efeito sobre o *fitness* dos insetos (FREEMAN *et al.*, 2021). Essas alterações sobre o *fitness* consistem em um custo energético e, desse modo, a alocação de recursos torna-se necessária para adaptação e sobrevivência dessa população (KLIOT; GHANIM, 2012). Custo adaptativo é definido como uma compensação em que alelos conferem maior adequação em determinado ambiente e reduzem a adequação em um ambiente alternativo (ONSTAD, 2014; SIMON; YU, 2014). O custo adaptativo normalmente é observado em populações resistentes como aumento no tempo de desenvolvimento de ovo a adulto, reduções significativas na longevidade dos adultos, fecundidade e fertilidade (OKUMA *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2020; FREEMAN *et al.*, 2021; KANNO *et al.*, 2023; OLIVEIRA PADOVEZ *et al.*, 2022).

Nesse trabalho, uma população de *S. frugiperda* foi selecionada para resistência ao princípio ativo Metomil por 11 gerações utilizando a concentração

subletal (CL₅₀) sendo: (1) estimada a razão de resistência após a pressão de seleção, (2) avaliada a existência de custo adaptativo associado a resistência e, (3), estimada a ocorrência de resistência múltipla com outros princípios ativos com modo de ação distintos.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Coleta e criação de *S. frugiperda*

A população de *S. frugiperda* foi coletada em lavoura de milho convencional, sem histórico conhecido de uso de inseticidas para o controle de lepidópteros, na safra 2020/2021, em área do município de Guaraciaba do Norte (Ceará). Os insetos foram coletados nas fases de ovo e larva (lagarta), inseridos em copos plásticos (200 mL) com tampa e, acondicionados em caixas de isopor de 50 L. O material coletado foi transportado para o Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) na Universidade Federal do Ceará e mantidos em quarentena afim de eliminar insetos parasitados ou contaminados e posteriormente foi estabelecida a criação. Os ovos de *S. frugiperda* foram acondicionados em placas de Petri (9 cm Ø) permanecendo até a emergência das larvas (lagartas). Após a emergência, as lagartas foram transferidas, com auxílio de um pincel de cerdas finas, para tubos de vidro (100 x 25 mm), contendo dieta artificial (KASTEN; PRECETTI; PARRA, 1978). Os tubos contendo as lagartas foram tamponados com algodão hidrófobo e permaneceram em sala sob condições controladas ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h), até a fase de pupa, que então foram retiradas. As pupas foram sexadas 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%. A cada dois dias os ovos foram coletados e a solução de mel substituída.

3.2.2 Bioensaio de toxicidade larval sobre *S. frugiperda*

A população de insetos coletados em campo ($n = 300$), foi exposta ao princípio ativo Metomil (Bazuka[®] 216 g a.i. L⁻¹) (Inibidores de Acetilcolinesterase -

AChE), na concentração de 20,76 $\mu\text{g i.a. mL}^{-1}$, determinada previamente. Para o preparo da solução o produto foi diluído em água destilada com a adição de 0,01% (v/v) de adjuvante surfactante não-iônico Triton™ X-100 (Vetec™). Plantas de milho (BRS 3046®) foram cultivadas em casa-de-vegetação, sem aplicação de defensivos agrícolas até o estágio de desenvolvimento V₆. 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 e testemunha por 5 segundos e, posteriormente, foram colocados para secar. A testemunha consistiu no uso da água destilada mais adjuvante. Após secos, 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) (Figura 5). A mortalidade foi avaliada após 72 horas de exposição aos tratamentos, todos os bioensaios foram conduzidos em condições controladas ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h). As lagartas foram consideradas mortas quando não apresentaram movimentos aparentes quando tocadas com um pincel de cerdas finas.

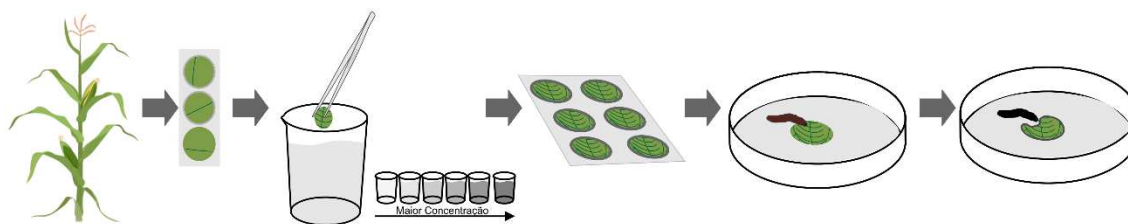


Figura 5 - Esquema ilustrativo das etapas de exposição das lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) aos tratamentos com Metomil.

3.2.3 Determinação da concentração subletal

As concentrações utilizadas para determinação da Concentração Letal (CL₅₀), foram obtidas em um pré-teste, no qual foram estimadas 7 (sete) concentrações distribuídas em escala logarítmica, que proporcionaram mortalidades mínimas e máximas de 5 e 95%, respectivamente (ROBERTSON *et al.*, 2017; SIMON; YU, 2014). O experimento foi conduzido utilizando 50 lagartas por concentração (25 lagartas/repetição). 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.*, (2017).

3.2.4 Manutenção da pressão de seleção

A população coletada em campo foi dividida em duas, sendo metade dos insetos (no mínimo 300 insetos) mantidos sem exposição a inseticida Metomil (Suscetível) e a outra metade foi exposta à CL₅₀ de Metomil (Resistente) por 11 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. Em cada geração, 50 lagartas foram utilizadas como controle, no qual foram expostas às folhas tratadas com água destilada. O bioensaio foi conduzido com medidas repetidas no tempo (Gerações) em DIC, com 5 repetições (60 lagartas/repetição). A sobrevivência foi avaliada em todas as gerações. A concentração Letal (CL₅₀) foi determinada novamente na 3^a, 6^a e 11^a gerações. A análise PROBIT foi aplicada e, após os valores de CL₅₀ serem estimados, foi calculada a razão de resistência (RR) utilizando o software Polo Plus (LEORA, 2003). A razão de resistência (RR) foi calculada pela razão entre CL₅₀ (CL₅₀ da população resistente/ CL₅₀ da população padrão para suscetibilidade), e o nível de resistência classificado segundo Shen e Wu (1995): 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). A taxa média de mudança na resposta por geração (R) foi estimada pela diferença nas CL₅₀'s ($[\log(\text{final CL}_{50}) - \log(\text{inicial CL}_{50})]/n$), sendo n o número de gerações (TABASHNIK, 1992). Os resultados indicam redução da resistência (valores negativos para R) ou aumento (valores positivos para R).

3.2.5 Custo adaptativo associado à resistência

O custo adaptativo associado à resistência ao princípio ativo Metomil foi avaliado pela investigação dos insetos provenientes da 7^a 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. Os experimentos foram conduzidos em DIC, com 5 repetições (20 lagartas/ repetição).

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. A taxa de fertilidade foi obtida por meio da viabilidade dos ovos de cada casal. Os dados 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). Os dados foram submetidos aos testes de

normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variâncias paramétricos 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 “aptidão relativa” (R_f) foi estimada usando valores de R_0 ($R_f = R_0$ da população resistente/ R_0 da população suscetível), onde $R_f > 1$ sugere que a taxa líquida de reprodução da população resistente aumenta, enquanto $R_f < 1$ sugere que a população resistente tem um custo relativo de aptidão (ABBAS *et al.*, 2014).

3.2.6 Resistência múltipla entre Metomil e outros inseticidas

Para avaliar os padrões de resistência múltipla, lagartas de 3^o instar das populações resistente à Metomil (10^a geração) e suscetível (10^a geração) foram expostas a inseticidas com diferentes modos de ação (MoA). Nos bioensaios foram utilizados os inseticidas Clofenapir (Pirate[®], 240 g i.a. L⁻¹), Metaflumizone (Verismo[®], 240 g i.a. L⁻¹) e, Teflubenzurom (Nomolt[®], 150 g i.a. L⁻¹). Para constatar a ocorrência de resistência múltipla foi estimada a CL₅₀ de cada produto nas duas populações e determinada a razão de resistência (ROBERTSON *et al.*, 2017). Os bioensaios foram conduzidos em DIC, utilizando 3 repetições, com mínimo 7 concentrações, de acordo com a metodologia descrita nos tópicos “Determinação das concentrações letais e manutenção da pressão de seleção”. Após a determinação da CL₅₀, foi calculada a razão de resistência (RR) utilizando o software Polo Plus (LEORA, 2003). A razão de resistência (RR) foi calculada pela razão entre CL₅₀ (CL₅₀ da população resistente/ CL₅₀ da população padrão para suscetibilidade), e o nível de resistência classificado segundo Shen e Wu (1995): suscetível (RR < 3,0), baixo 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). A taxa média de mudança na resposta por geração (R) foi estimada pela diferença nas CL₅₀'s ($[\log(\text{final CL}_{50}) - \log(\text{inicial CL}_{50})]/n$), sendo n o número de gerações (TABASHNIK, 1992). Os resultados indicam redução da resistência (valores negativos para R) ou aumento (valores positivos para R).

3.3 Resultados

A CL_{50} inicial da população coletada em campo foi semelhante ao padrão suscetível mantido em laboratório (Tabela 6). A população de lagartas sobreviventes após a 1ª exposição à CL_{50} de Metomil foi pressionada para seleção de indivíduos resistentes e assim para obtenção da população Metomil-Resistente. Ocorreu aumento no percentual de lagartas sobreviventes após a exposição a CL_{50} de Metomil, passando de 60.0% na 1ª geração para mais de 80.0% na 6ª geração (Figura 6). Na 11ª geração foi observado aumento do valor de CL_{50} em 4.8 vezes em relação a população suscetível (Tabela 6). O valor *slope* aumentou 1,72 vezes e o intercepto reduziu 2,4 vezes em relação a população padrão suscetível (Tabela 6). Dessa forma, o nível de resistência para esta população utilizando concentração subletal de Metomil foi classificado como baixo e a taxa média de mudança na resposta por geração foi classificada como positiva, mas o valor foi relativamente baixo ($R= 0,12$).

Tabela 6 - Concentração Letal (CL_{50}) estimada de Metomil sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) por 11 gerações sucessivas comparada com uma população suscetível

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 (G1)	397	$1,62 \pm 0,13$	$-2,15 \pm 0,19$	6,32 (5)	0,27	27,13 a (22,34 - 32,48)	0,76 (0,56 - 1,04)
Metomil-Res (G3)	571	$2,69 \pm 0,27$	$-4,60 \pm 0,53$	3,36 (6)	0,76	51,17 b (41,54 - 60,70)	2,46 (1,81 - 3,35)
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)
Metomil-Res (G11)	452	$4,25 \pm 0,49$	$-8,50 \pm 1,27$	3,76 (7)	0,80	101,960 c (74,31 - 131,10)	4,80 (3,64 - 6,35)

η : Número de indivíduos; () Entre parênteses os Graus de Liberdade; χ^2 : Chi-quadrado; P: Significância; CL: Concentração Letal; IC: Intervalo de confiança. 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.

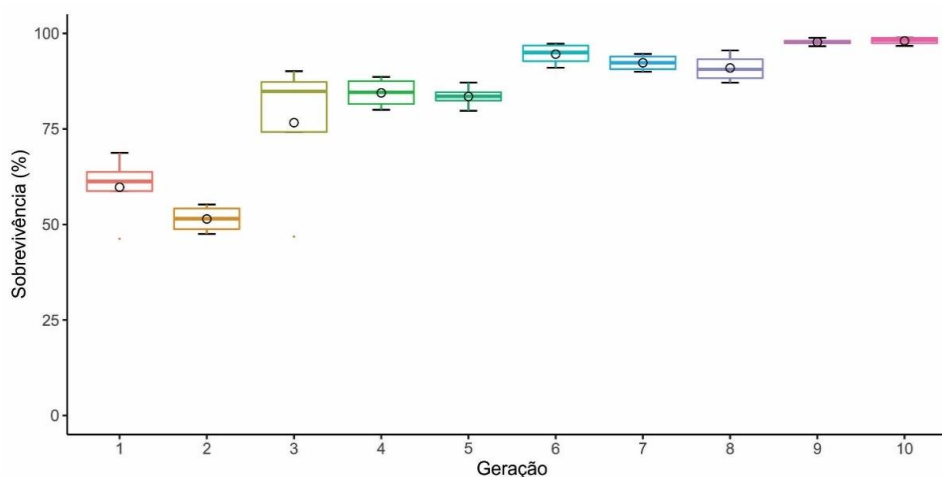


Figura 6 - *Boxplot* referente a sobrevivência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) exposta à CL₅₀ de Metomil por 10 gerações. O círculo indica a média.

Os parâmetros biológicos da população de *S. frugiperda* mantida sob pressão de seleção foram afetados quando comparados à população suscetível (Figura 7). Pode-se observar aumento no tempo de desenvolvimento de larva a pupa e de larva a adulto de aproximadamente 2 dias nos insetos da população Metomil-Resistente de ambos os sexos (Figura 7). Também observou-se redução de 9 e 12% na massas das pupas das fêmeas e de machos, respectivamente, quando comparados a população suscetível (Figura 7). Os períodos de pré-pupa e pupa não foram afetados. A sobrevivência dos insetos da população Metomil-Resistente foi reduzida em aproximadamente 31,0; 9,0 e; 37,0% para os estágios de larva a pupa, pupa a adulto e larva a adulto, respectivamente, quando comparadas a população suscetível (Figura 7).

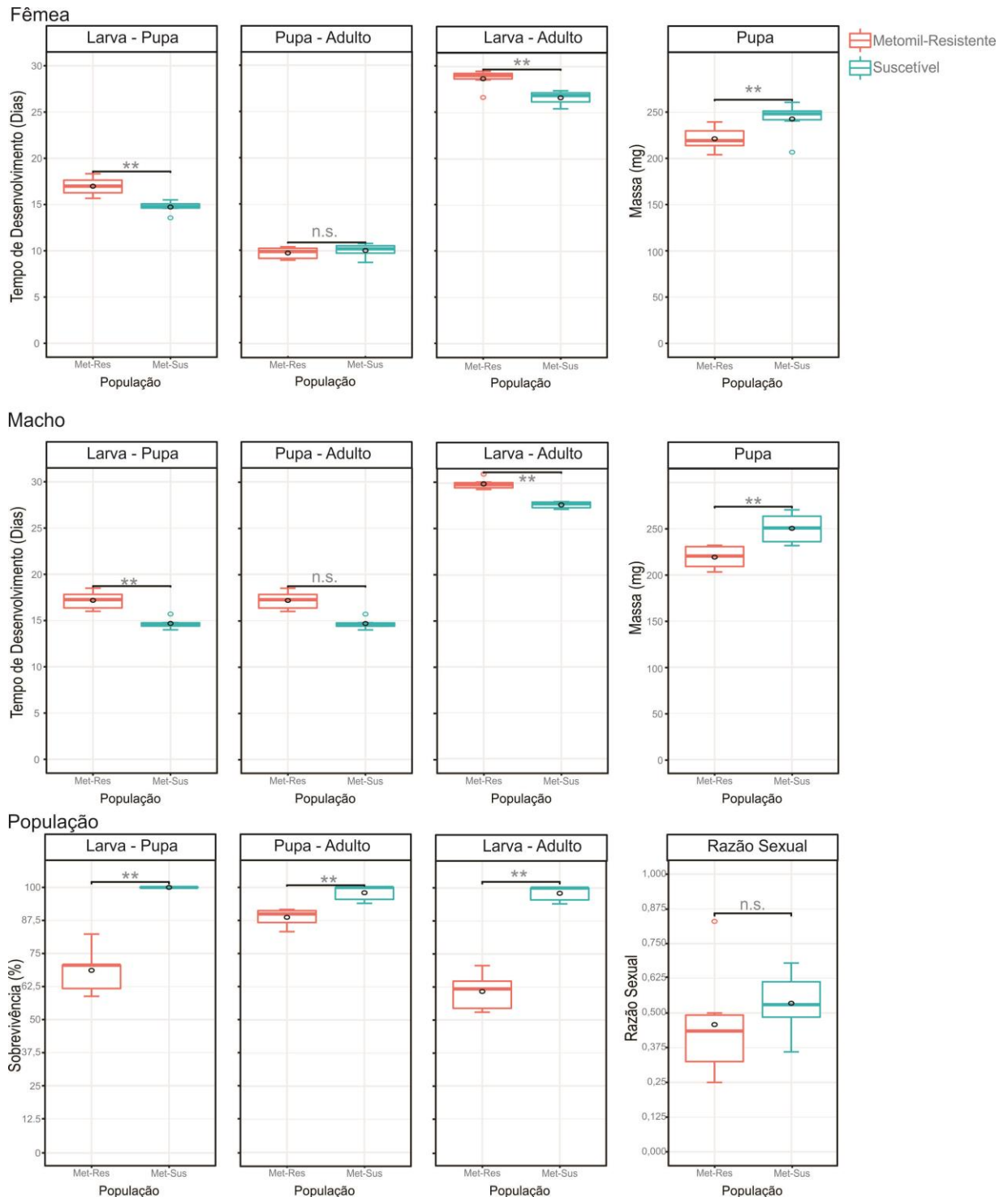


Figura 7 - Boxplot - Parâmetros biológicos e sobrevivência das populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) da população resistente ao Metomil (Metomil-Resistente) e da população suscetível. O círculo indica a média. ** e n.s. Significativo e não-significativo, respectivamente, pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A população Metomil-Resistente apresentou diferenças nos parâmetros reprodutivos quando comparada a população suscetível (Tabela 7). Foi observado aumento de aproximadamente 2 dias período de pré-oviposição total, e redução de 1,4 dias no número de dias de oviposição, bem como foi reduzida a longevidade dos

machos e das fêmeas em quase dois dias em comparação com a população suscetível (Tabela 7). Os insetos da população Metomil-Resistente apresentaram aumento de tempo da geração e o tempo para dobrar a população foi cerca de 1,89 e 1,22 dias, respectivamente, em relação a população suscetível (Tabela 7).

Tabela 7 - Média (\pm EP) do período em dias de pré-oviposição, pré-oviposição total, oviposição, longevidade, tempo de geração e tempo para dobrar a população, taxa intrínseca e finita de aumento e taxa bruta e líquida de reprodução para as populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) resistente (Metomil-Resistente) e suscetível ao Metomil

Parâmetros ^a	Suscetível	Metomil-Resistente
APOP (d)	2.79 \pm 0.18 a	2.65 \pm 0.23 a
TPOP (d)	32.46 \pm 0.29 b	34.27 \pm 0.49 a
Dias de Oviposição (d)	6.4 \pm 0.19 a	5.00 \pm 0.36 b
Longevidade macho (d)	10.13 \pm 0.35 a	8.23 \pm 0.36 b
Longevidade fêmea (d)	10.98 \pm 0.26 a	9.34 \pm 0.39 b
Long. Adultos (d)	10.59 \pm 0.21 a	8.74 \pm 0.27 b
Tempo de geração (d)	35.45 \pm 0.29 b	37.34 \pm 0.42 a
TD (d)	3.84 \pm 0.08 b	5.06 \pm 0.22 a
Fertilidade (n)	1154.04 \pm 46.79 a	589.45 \pm 71.07 b
Taxa intrínseca de aumento, r	0.18 \pm 0 a	0.14 \pm 0.01 b
Taxa finita de aumento, λ (dia ⁻¹)	1.2 \pm 0 a	1.15 \pm 0.01 b
Taxa Reprodutiva Bruta, GRR	711.31 \pm 74.6 a	511.02 \pm 204.85 a
Taxa reprodutiva líquida, R0	600.1 \pm 62.48 a	165.96 \pm 32.75 b

Período de pré-oviposição adulto (APOP), período de pré-oviposição total (TPOP), (TD) tempo para dobrar a população (TD) expressos em dias. r: taxa intrínseca de aumento (d⁻¹), λ : taxa finita de aumento (d⁻¹), GRR: taxa bruta de reprodução e R0: taxa líquida de reprodução (filho/indivíduo). ^aMedias seguidas por letras distintas, dentro da linha, mostram diferenças significativas entre as populações (P= <0,05), pelo teste bootstrap emparelhado. Erro padrão (SE) estimado usando a técnica de bootstrap com 100.000 reamostragens.

A fertilidade das fêmeas da população Metomil-Resistente foi reduzida em 49,0% quando comparada com a população suscetível (Tabela 7). Parâmetros reprodutivos das mariposas pertencentes a população Metomil-Resistente, como taxa intrínseca de aumento, taxa finita de aumento, taxa bruta e líquida de reprodução foram reduzidas em 22,0; 4,0; 28,0 e 72,0%, respectivamente, quando comparados com a população suscetível (Tabela 7). O valor referente à aptidão relativa (Rf) estimado em 0,27 indica que existe custo adaptativo associado a resistência de *S. frugiperda* ao princípio ativo Metomil (Tabela 7).

A taxa de sobrevivência (*I*_x) dos indivíduos da população Metomil-Resistente foi reduzida em cerca de 30% em relação a população suscetível (Figura 8). Os insetos da população Metomil-Resistente apresentaram redução na taxa de sobrevivência (*S*_x) para larvas e pupas em cerca de 30,0% em relação à população suscetível. O mesmo pôde ser observado para *S*_x dos machos e fêmeas adultos, no qual foi observada redução de mais de 20% na sobrevivência. A fecundidade diária

foi reduzida, mas foram observados dois picos de oviposição aos 44 e 47 dias, no qual as fêmeas da população Metomil-Resistente ovipositaram 370 e 225 ovos, respectivamente (Figura 8). Pode-se destacar que as diferentes fases de desenvolvimento dos insetos da população Metomil-Resistente apresentaram incremento no tempo em relação a população suscetível (Figura 8).

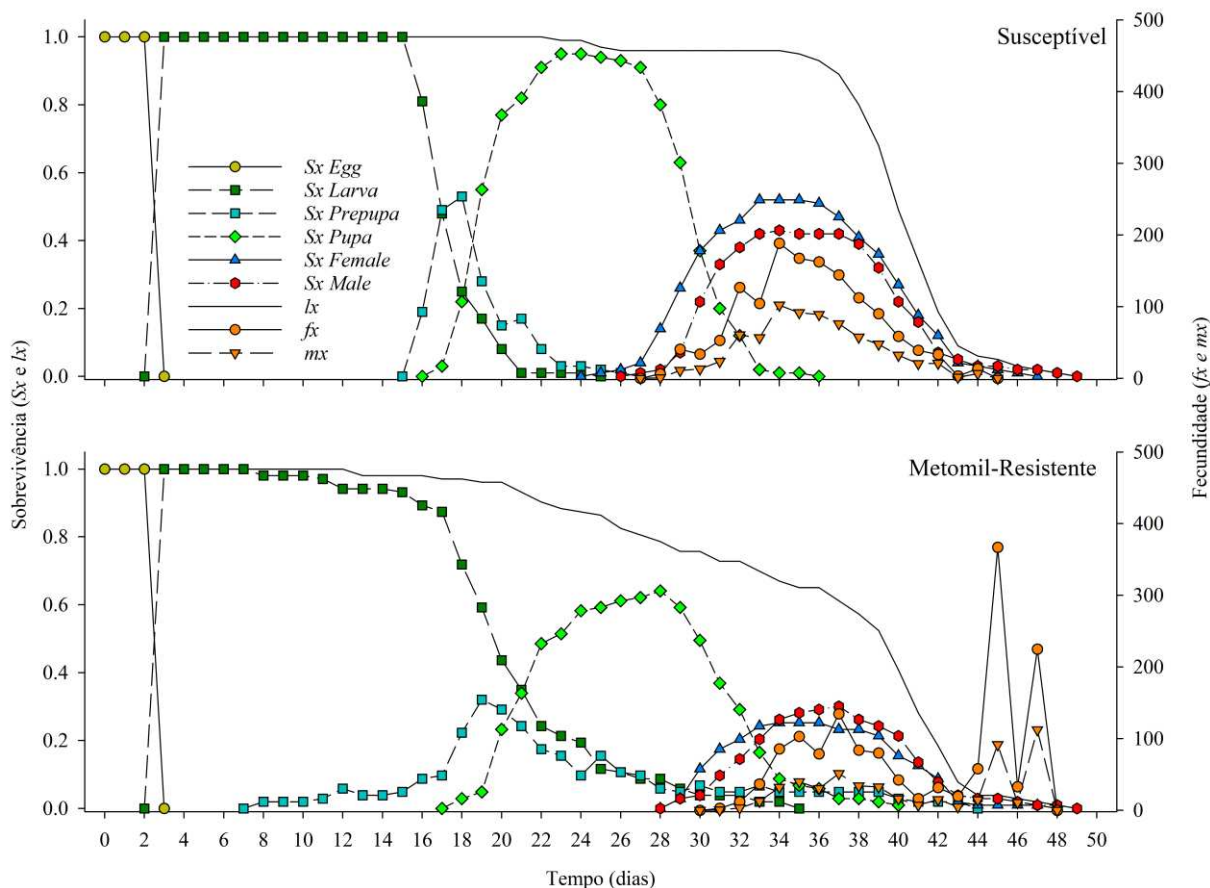


Figura 8 - Taxa de sobrevivência por faixa etária (S_x), taxa de sobrevivência específica por idade (l_x), fecundidade específica por idade feminina (f_x) e fecundidade específica por idade populacional (m_x) para as populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) resistente e suscetível ao Metomil.

Determinou-se que a população resistente a Metomil (Metomil-Resistente) não apresenta resistência múltipla com os princípios ativos Clofenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom (Tabela 8).

Tabela 8 - Resposta concentração-mortalidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) resistente (Metomil-Resistente) e suscetível expostas a diferentes inseticidas

População	η	Slope (\pm EP)	Intercepto (\pm EP)	χ^2 (GL)	P	CL ₅₀ (IC 95%) $\mu\text{g i.a. mL}^{-1}$	RR CL ₅₀ (IC 95%)
-----------	--------	-------------------	------------------------	---------------	---	---	---------------------------------

Clofenapir - Desacopladores da fosforilação oxidativa via interrupção do gradiente de próton

<i>Metomil-Resistente</i>	620	4.11 ± 0.62	-5.84 ± 0.81	9.26 (8)	0,32	26.25 (20.73 - 37.24) a	1.77 (1.31 - 2.40)
<i>Suscetível</i>	327	3.04 ± 0.07	-3.56 ± 0.82	0.80 (6)	0.99	14.76 (11.68 - 18.72) b	
<i>Metaflumizone - Bloqueadores de canais de sódio dependentes da voltagem metodologia</i>							
<i>Metomil-Resistente</i>	332	1.51 ± 0.20	-1.56 ± 0.29	2.78 (6)	0.83	10.71 (6.80 - 15.36) a	1.159 (0.67 - 1.99)
<i>Suscetível</i>	324	1.59 ± 0.23	-1.53 ± 0.30	4.02 (6)	0.67	9.24 (6.03 - 12.87) a	
<i>Teflubenzurom - Inibidores da biossíntese de quitina, tipo 0, Lepidoptera</i>							
<i>Metomil-Resistente</i>	327	1.94 ± 0.38	-1.62 ± 0.52	3.87 (6)	0.12	6.83 (2.92 - 10.59) a	1.61 (0.69 - 3.70)
<i>Suscetível</i>	276	1.01 ± 0.13	-0.63 ± 0.18	6.95 (6)	0.33	4.24 (1.53 - 8.77) a	

η: Número de indivíduos; Entre parênteses Graus de Liberdade; χ^2 : Chi-quadrado; P: Significância; CL: Concentração letal; IC: Intervalo de confiança; Os valores de CL₅₀ seguidos pela mesma letra não diferem entre si devido à não sobreposição de intervalos de confiança de 95% (ICs); RR: Razão de resistência= CL₅₀ da população resistente/ CL₅₀ da população suscetível.

3.4 Discussão

A população de *S. frugiperda* coletada apresentou resposta significativa a pressão de seleção mas, a utilização da concentração subletal CL₅₀ de Metomil resultou em baixa resistência mesmo após 11 gerações. A população resistente a Metomil apresentou razão de resistência de 5 vezes em relação a população suscetível, com acréscimo no valor de *slope*, indicando maior suscetibilidade com o aumento da dose. A baixa razão de resistência pode estar relacionada ao local e à época que população foi coletada uma vez que a resistência de insetos à inseticidas é pré-adaptativa e, os genes responsáveis por manifestar o mecanismo de resistência podem já estar presentes no material genético dos insetos em baixas frequências em área sem pressão de seleção (SIMON; YU, 2014). Na literatura existem relatos de ocorrência de populações de *S. frugiperda* resistentes aos inibidores de acetilcolinesterase em Porto Rico, onde a razão de resistência entre as populações resistentes e suscetíveis foram de 223, 124 e 47 vezes para os princípios ativos Metomil, Tiodicarbe e Clorpirifós, respectivamente (GUTIÉRREZ-MORENO *et al.*, 2019). De acordo com o banco de dados “Arthropod Pesticide Resistance Database” existem cinco (5) relatos de resistência de populações de *S. frugiperda* ao princípio ativo Metomil em 6 locais diferentes (Brasil, Porto Rico, Venezuela, USA, Mexico e Colômbia) (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2023).

Normalmente insetos resistentes exibem menor aptidão, quando comparados a indivíduos suscetíveis da mesma espécie, na ausência da pressão de

seleção do inseticida que ativa os mecanismos de resistência (OKUMA *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2020; FREEMAN *et al.*, 2021; KANNO *et al.*, 2023; OLIVEIRA PADOVEZ *et al.*, 2022). Mesmo com a baixa razão de resistência foi observado custo adaptativo. A ocorrência de custos adaptativos associados a resistência também foi observado em populações de *S. frugiperda* resistentes aos princípios ativos: Metaflumizona (BARBOSA *et al.*, 2020), Espinetoram (KANNO *et al.*, 2023), Espinosade (OKUMA *et al.*, 2018), Diamidas (OLIVEIRA PADOVEZ *et al.*, 2022), além de outros princípios ativos (FREEMAN *et al.*, 2021).

Dentre os parâmetros ligados aos custos adaptativos observados em populações resistentes está o atraso no tempo de incubação dos ovos (BARBOSA *et al.*, 2020; KANNO *et al.*, 2023). Este atraso resulta em tempo maior de exposição à inimigos naturais como parasitoides de ovos e fatores ambientais adversos. O custo adaptativo pode estar relacionado à outros parâmetros como: Presença de pupas com deformação, maior tempo de geração e tempo para dobrar a população, redução na taxa de emergência e longevidade de adultos, bem como reduções na fecundidade, fertilidade que acarretaram reduções nos parâmetros reprodutivos como taxa intrínseca e finita de aumento, taxa reprodutiva bruta líquida (OKUMA *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2020; FREEMAN *et al.*, 2021; KANNO *et al.*, 2023; OLIVEIRA PADOVEZ *et al.*, 2022). Em resumo, a população resistente que apresenta custo adaptativo demanda mais tempo para atingir os níveis de controle e de dano econômico, o que pode resultar em uma redução no número de aplicações e por consequência reduzir os custos.

A população de *S. frugiperda* resistente a concentração subletal CL₅₀ de Metomil não apresentou resistência múltipla com os princípios ativos: Clofenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom. Esse é um fato positivo, pois a utilização de princípios ativos com modo de ação distintos é uma das premissas para o Manejo de Resistência de Insetos (MRI) e esses resultados indicam que a rotação de princípios ativos tende a funcionar, controlando a espécie-praga.

A partir dessas informações pode-se destacar, entre as populações, resistente e suscetível: (1) Com o incremento no tempo de geração tem-se maior período de exposição aos inimigos naturais; (2) a população de insetos resistentes demanda de mais tempo para atingir o nível de controle; (3) resultando em redução no número de aplicações de inseticidas, o que pode reduzir o custo com controle, (4) ausência de resistência múltipla entre Metomil e os outros princípios ativos

avaliados. Diante dessas informações pode-se destacar que para a população utilizada a resistência a Metomil acarretou um custo, dentre todos os aspectos forneceu um intervalo de tempo maior para tomada de decisão, o que pode resultar em uma decisão de maior assertividade. A existência de custos adaptativos associados a resistência é um dos pressupostos das estratégias de manejo da resistência (FREEMAN *et al.*, 2021).

3.5 Conclusões

A pressão de seleção por 11 gerações com a concentração subletal CL₅₀ do princípio ativo Metomil resultou em baixa resistência de *S. frugiperda*.

Existe custo adaptativo associado a resistência de *S. frugiperda* a concentração subletal CL₅₀ de Metomil.

A população de *S. frugiperda* resistente a concentração subletal CL₅₀ de Metomil não apresenta resistência aos princípios ativos: Clofenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT, AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2023. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 10 out. 2020.
- BANTZ, A.; CAMON, J.; FROGER, J. A.; GOVEN, D.; RAYMOND, V.. Exposure to sublethal doses of insecticide and their effects on insects at cellular and physiological levels. **Current Opinion in Insect Science**, v. 30, p. 73-78, 2018. DOI: 10.1016/j.cois.2018.09.008.
- BOWEN, W. R.; STERN, V. M. Effect of Temperature on the Production of Males and Sexual Mosaics in a Uniparental Race of *Trichogramma semifumatum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)12. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 59, n. 4, p. 823–834, 1966. DOI: 10.1093/aesa/59.4.823.
- BUTT, B. A.; CANTU, E. Sex determination of lepidopterous pupae /. [Washington, D.C.] : **Agricultural Research Service**, U.S. Dept. of Agriculture, v. 33, n. 75, p. 1-7, 1962. DOI: 10.5962/bhl.title.67261.
- CARVALHO, G. A.; REIS, P. R.; ROCHA, L. C. D.; CAMPOS, J.; FUINI, L. C.; ECOLE, C. C. Side-effects of insecticides used in tomato fields on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera , Trichogrammatidae). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 275-279, 2003.
- CHEN, J.; LU, Z.; LI, M.; MAO, T.; WANG, H.; LI, F.; SUN, H.; DAI, M.; YE, W.; LI, B. The mechanism of sublethal chlorantraniliprole exposure causing silkworm pupation metamorphosis defects. **Pest Management Science**, v. 76, n. 8, p. 2838-2845, 2020. DOI: 10.1002/ps.5836.
- 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. **Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica**, v. 24, n. 2, p. 225-240, 1985.
- CHIMWETA, M.; NYAKUDYA, I. W.; JIMU, L.; BRAY MASHINGAIDZE, A. Fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers. **International Journal of Pest Management**, v. 66, p. 142-154, 2020. DOI: 10.1080/09670874.2019.1577514.
- DEGRANDE, P. E.; GOMEZ, D. R. S. Seletividade de produtos químicos no controle de pragas. **Agrotécnica**, v. 7, p. 8-13, 1990.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007. DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440.

DING, J.; ZHAO, Y.; ZHANG, Z.; XU, C.; MU, W. Sublethal and Hormesis Effects of Clothianidin on the Black Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 6, p. 2809-2816, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy254.

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

FONTES, J.; ROJA, I. S.; TAVARES, J.; OLIVEIRA, L.. Lethal and sublethal effects of various pesticides on *Trichogramma achaeae* (hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 3, p. 1219-1226, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy064.

FRANÇA, S. M.; BRENDA, M. O.; BARBOSA, D.R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, C. A. The sublethal effects of insecticides in insects. **Biological Control of Pest and Vector Insects**, p. 23-39, 2017. DOI: 10.5772/66461.

GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, control failure likelihood and the first Law of Geography. **Pest Management Science**, v. 73, p. 479-484, 2017. DOI: 10.1002/ps.4452.

GUEDES, R. N. C.; SMAGGHE, G.; STARK, J. D.; DESNEUX, N. Pesticide-Induced Stress in Arthropod Pests for Optimized Integrated Pest Management Programs. **Annual Review of Entomology**, v. 61, n. 1, p. 43-62, 2016. DOI: 10.1146/annurev-ento-010715-023646.

HASSAN, B. A. R.; YUSOFF, Z. B. M.; OTHMAN, M. A. H.; BIN, S. Information is available at the end of the Chapter. **We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books Built by scientists, for scientists TOP 1%**, p. 13, 2012.

HAYNES, K. F. Sublethal Effects of Neurotoxic Insecticides on Insect Behavior. **Annual Review of Entomology**, v. 33, n. 1, p. 149-168, 1988. DOI: 10.1146/annurev.en.33.010188.001053.

HOUNGBO, S.; ZANNOU, A.; AOUJJI, A.; SOSSOU, H. C.; SINZOGAN, A.; SIKIROU, R.; ZOSSOU, E.; VODOUNON, H. S. T.; ADOMOU, A.; AHANCHÉDÉ, A. Farmers' knowledge and management practices of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in Benin, West Africa. **Agriculture**, v. 10, p. 430, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10100430>.

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

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.

Disponível em: https://irac-online.org/content/uploads/Method_007_v3.1_24july14.pdf.

KANNO, R. H.; BOLZAN, A.; KAISER, I. S.; LIRA, E. C.; AMARAL, F. S. A. A.; GUIDOLIN, A. S.; NASCIMENTO, A. R. B. B.; OMOTO, C.. Low risk of resistance evolution of *Spodoptera frugiperda* to chlorfenapyr in Brazil. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 1, p. 365-378, 2020. DOI: 10.1007/s10340-019-01165-x.

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**, v. 53, v.1/2, p.68-78, 1978.

KHAN, M. A.; RUBERSON, J. R. Lethal effects of selected novel pesticides on immature stages of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2465-2472, 2017. DOI: 10.1002/ps.4639.

KHORSHIDI, M.; POUR ABAD, R. F.; SABER, M.; ZIBAE, A. Effects of hexaflumuron, lufenuron and chlorfluazuron on certain biological and physiological parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, p. 101270, 2019. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101270.

LEE, C. Y. Sublethal effects of insecticides on longevity, fecundity and behaviour of insect pests: a review. **Journal of Bioscience**, v. 11, n. 1, p. 107-112, 2000.

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

LIU, Z. K.; LI, X. L.; TAN, X. F.; YANG, M.F.; IDREES, A.; LIU, J. F.; SONG, S. J.; SHEN, J.. Sublethal Effects of Emamectin Benzoate on Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agriculture**, v. 12, n. 7, p. 959, 2022. DOI: 10.3390/agriculture12070959.

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, p. 286-300, 2018. DOI: 10.4001/003.026.0286.

MOURA, A. P.; CARVALHO, G. A.; RIGITANO, R. L. O. Toxicidade de inseticidas utilizados na cultura do tomateiro a *Trichogramma pretiosum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 203-210, 2005. DOI: 10.1590/s0100-204x2005000300002.

MOUSTAFA, M. A. M.; FOUAD, E. A.; MOBDY, Y. A.; HAMOW, K. Á.; MIKÓ, Z.; MOLNÁR, B. P.; FÓNAGY, A. Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole and indoxacarb on *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 56, n. 1, p. 115-124, 2021. DOI: 10.1007/s13355-020-00721-7.

OLIVEIRA, R. C. M.; PASTORI, P. L.; BARBOSA, M. G.; PEREIRA, F.F.; MELO,

SILVA, J. W.; ANDRÉ, T. P. P. Dispersal of *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879, (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in cabbage, cucumber, and sweet corn. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. 1-11, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020190412.

PAIVA, A. C. R.; IOST FILHO, F. H.; PARRO, E. A.; BARBOSA, D. P. L.; YAMAMOTO, P. T. Do ready-mix insecticides cause lethal and sublethal effects on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Pupa? **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 3, p. 1227-1233, 2020. DOI: 10.1093/jee/toaa031.

PAIVA, A. C. R.; BELOTI, V. H.; YAMAMOTO, P. T.. Sublethal effects of insecticides used in soybean on the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ecotoxicology**, v. 27, n. 4, p. 448-456, 2018. DOI: 10.1007/s10646-018-1909-5. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-018-1909-5>.

PARRA, J. R. Técnicas de criação de *Anagasta kuhniella*, hospedeiro alternativo para produção de *Trichogramma*. In: **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. Fealq ed. Piracicaba: Fealq, p. 121-150, 1997.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 5, 2019. DOI: 10.1093/jisesa/iey112.

PONCE, F. S.; TOLEDO, C. A. L.; DE OLIVEIRA, M. D.; JÚNIOR, S. S.; DE OLIVEIRA, R. C. Cost and profitability of biological control of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) using *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in kale and cabbage growth. **SSRN Electronic Journal**, p. 167 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4157421.

PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J. C.; VIANNA, U. R.; ANDRADE, J. S.; GUIMARÃES, E. M. ; ESPINDULA, M. C.. Fertility life table of *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma acacioi* on eggs of *Anagasta kuehniella* at different temperatures. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 193-196, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000200014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing URL <https://www.R-project.org> Vienna, Austria, 2023.

RAKES, M.; PASINI, R. A.; MORAIS, M. C.; ARAÚJO, M. B.; PAZINI, J. B.; SEIDEL, E. J.; BERNARDI, D.; GRÜTZMACHER, A. D. Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest Management. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111504, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111504.

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. In: **Embrapa Clima Temperado. Documentos, 344**. 1ª Edição ed. Pelotas, RS: Embrapa, p. 30., 2012.
- ROSS, D. C.; BROWN, T. M. Inhibition of Larval Growth in *Spodoptera frugiperda* by Sublethal Dietary Concentrations of Insecticides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 30, n. 1, p. 193-196, 1982. DOI: 10.1021/jf00109a045.
- 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.
- SILVA, L. B.; MAGGIONI, K.; FERREIRA, R. H.; SILVA, A. F.; PAVAN, B. E.; LOPES, G. N. Survival and nutritional indexes of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) maintained in *Bt maize* for five generations. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 2, p. 1-8, 2019. DOI: 10.5039/agraria.v14i2a5629.
- SIMON, J. Yu; YU, Simon J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.] : CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b18164.
- STARK, J. D.; BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual review of entomology**, v. 48, n. 1, p. 505-519, 2003. DOI: 10.1146/annurev.ento.48.091801.112621.
- STEIN, C. P.; PARRA, J. R. P.. Uso da radiação para inviabilizar os ovos de *Anagasta kuehniella* visando estudos com *Trichogramma* sp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 6, n. 1, p. 229-231, 1987.
- TAY, W. T.; MEAGHER, R. L.; CZEPAK, C.; GROOT, A. T. *Spodoptera frugiperda*: Ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 299-317, 2023. DOI: 10.1146/annurev-ento-120220-102548.
- VOJOU DI, S.; SABER, M.; GHAREKHANI, G.; ESFANDIARI, E.. Toxicity and sublethal effects of hexaflumuron and indoxacarb on the biological and biochemical parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Iran. **Crop Protection**, v. 91, p. 100-107, 2017. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.09.020.
- VRYZAS, Z. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 4, p. 5-9, 2018. DOI: 10.1016/j.coesh.2018.03.001.
- WANG, W.; HE, P.; ZHANG, Y.; LIU, T.; JING, X.; ZHANG, S. The population growth of *Spodoptera frugiperda* on six cash crop species and implications for its occurrence and damage potential in China. **Insects**, v. 11, n. 9, p. 639, 2020., 2020. DOI: 10.3390/insects11090639.

WHALON, M. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; HOLLINGWORTH, R. M. Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In: **Global pesticide resistance in arthropods**. Wallingford UK: CABI, p. 5-31, 2008. DOI: 10.1079/9781845933531.0000.

WU, H. M.; FENG, H. L.; WANG, G. D.; ZHANG, L. L.; ZULU, L.; LIU, Y. H.; ZHENG, Y. Li; RAO, Q. Sublethal Effects of Three Insecticides on Development and Reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1-11, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12061334.

YANG, L.; LI, F.; LÜ, X.; XING, B.; PAN, X.; SHI, X.; LI, J.; WU, S. Performance of three Trichogramma species as biocontrol agents on *Spodoptera frugiperda* eggs. **Journal of Applied Entomology**, v. 146, n. 8, p. 1019-1027, 2022.

YU, S. J. Insecticide resistance. **The toxicology and biochemistry of insecticides**, v. 201, p. 230, 2008.

YU, S. J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.] : CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b18164.

4 RESPOSTA FUNCIONAL DE *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) EM OVOS DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) RESISTENTE A CL₅₀ DE METOMIL

RESUMO

Trichogramma pretiosum Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é um dos parasitoides mais utilizados no controle de lepidópteros-praga em diversas culturas e a integração com o controle químico é fundamental para o sucesso no manejo de pragas, principalmente em condições de ocorrência de populações de insetos resistentes. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é praga-chave na cultura do milho e tem relatos de populações resistentes a diferentes princípios ativos. O objetivo foi avaliar a resposta funcional de *T. pretiosum* em ovos de *S. frugiperda* com resistência ao princípio ativo Metomil. A criação de *T. pretiosum* foi mantida em laboratório ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$; UR: $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas), utilizando-se ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae). Uma população de *S. frugiperda* foi coletada em campo, em área do município de Guaraciaba do Norte, Estado do Ceará e, transportada ao Laboratório de Entomologia Aplicada da UFC para estabelecer a criação. Em laboratório, a população foi dividida em duas, uma parte mantida sem exposição a inseticidas e outra foi pressionada a resistência utilizando a CL₅₀ de Metomil. Para determinar a resposta funcional de *T. pretiosum*, cartelas contendo ovos de *S. frugiperda* nas densidades de 5, 10, 20, 30 e 50 das duas populações (Metomil-Resistente e Suscetível), foram oferecidas as fêmeas dos parasitoides por 24 horas. Após esse período, o parasitismo (%), a emergência (%) e a razão sexual foram avaliados. Os dados de parasitismo foram utilizados para estimar a resposta funcional de *T. pretiosum*, utilizando o pacote *frair* no software R. Pode-se destacar de que não foi observado efeito negativo e significativo das populações de *S. frugiperda* sobre os parâmetros: parasitismo (%), emergência (%) e razão sexual de *T. pretiosum*. A resposta funcional do tipo II foi determinada para ambas as populações. Foi observada redução de 20,0% na taxa de ataque de *T. pretiosum* nos ovos de *S. frugiperda* resistentes quando comparados aos ovos da população suscetível. Não foi observado efeito sobre o tempo de manipulação dos ovos de *S. frugiperda* das diferentes populações por *T. pretiosum*. A razão a/T_h que representa a taxa de parasitismo por tempo de manejo foi inferior em 18,0% na população resistente. O número máximo teórico de hospedeiros parasitados ($1/T_h$) foi semelhante nas duas populações. Portanto não foram observados efeitos negativos da população Metomil de *S. frugiperda* resistente sobre parasitismo, emergência e razão sexual de *T. pretiosum*.

Palavras-chave: controle químico, controle biológico, parasitoide.

ABSTRACT

Trichogramma pretiosum Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) is one of the most used parasitoids to control lepidopteran pests in various crops and integration with chemical control is essential for successful pest management, especially in conditions where resistant insects occur. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), is a key pest in corn crops and has reports of populations resistant to different active ingredients around the world. The objective of the study was to evaluate the functional response of *T. pretiosum* in *S. frugiperda* eggs with resistance to the active ingredient Methomyl. The creation of *T. pretiosum* was maintained in the laboratory ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$; RH: $70 \pm 10\%$ and 12-hour photophase), using *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae) eggs. A population of *S. frugiperda* was collected in the field, in the city of Guaraciaba do Norte, Ceará State. Then taken to the laboratory to establish the creation. In the laboratory, the population was divided into two, one part was kept without exposure to insecticides and the other was pressured into resistance using Metomi's LC_{50} . To determine the functional response of *T. pretiosum*, cards containing *S. frugiperda* eggs at densities of 5, 10, 20, 30 and 50 of the two populations (Metomyl-Resistant and susceptible) were offered to female parasitoids for 24 hours. After this period, the parameters parasitism (%), emergence (%) and sex ratio were evaluated. The parasitism data were used to estimate the functional response of *T. pretiosum*, using the frair package in the R software. It can be highlighted that no significant effect of the effect of *S. frugiperda* populations on the parasitism parameters (%), Emergence (%) and sex ratio were observed. The type II determined functional response for both populations. A 20% reduction in the attack rate of *T. pretiosum* was observed in resistant *S. frugiperda* eggs when compared to eggs from the susceptible population. No effect was observed on the handling time of *S. frugiperda* eggs from different populations by *T. pretiosum*. The a/T_h ratio represents the parasitism rate per management time and was 18% lower in the resistant population. The theoretical maximum number of parasitized hosts ($1/T_h$) was similar between the two populations. Therefore, no effects of the Methomil-resistant population on parasitism, emergence, and sexual ratio of *T. pretiosum*.

Keywords: chemical control, biological control, parasitoid.

4.1 Introdução

Espécies de *Trichogramma* spp. Westwood, 1833 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) são idiobiontes e endoparasitoides primários (solitários ou gregários) de ovos de insetos (CÔNSOLI; PARRA; ZUCCHI, 2010). No Brasil, estão registradas 28 espécies do parasitoide distribuídas em quase todas as regiões (QUERINO; ZUCCHI, 2012; QUERINO *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2020a). Os parasitoides *Trichogramma* spp. são utilizados no controle biológico de lepidópteros-praga em vários países (CÔNSOLI; PARRA; ZUCCHI, 2010) por meio de liberações inundativas em milhares de hectares de culturas agrícolas de importância econômica (PARRA, 2014; PIZZOL *et al.*, 2012; PARRA; COELHO, 2019). No Brasil, *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é comercializado para o controle de ovos de 18 lepidópteros-praga em 13 culturas (CÔNSOLI; PARRA; ZUCCHI, 2010), sendo assim uma das espécies mais utilizadas no controle biológico aplicado (PIZZOL *et al.*, 2012; PARRA; COELHO, 2019). Na cultura do milho, libera-se aproximadamente 250 mil adultos de *T. pretiosum* por hectare (PARRA; COELHO, 2019).

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é o principal lepidóptero-praga na cultura do milho (TAY *et al.*, 2023). Popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho ou lagarta-militar, é um inseto-praga originário de regiões tropicais e subtropicais da América, com ocorrência também nos continentes Asiático e, mais recentemente Africano (CZEPAK *et al.*, 2020) tendo se tornado um inseto invasor em diferentes regiões agrícolas em todo o mundo (TAY *et al.*, 2023). Uma das ferramentas de controle utilizada, consiste na aplicação de inseticidas químicos, mas o uso incorreto pode acarretar aumento da frequência de insetos resistentes na população (GUEDES, 2017a).

Considerando a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a necessidade de controlar fatores que reduzem a produtividade, adota-se princípios do Manejo Integrado de Pragas (MIP) que preconiza a perspectiva de integração dos métodos de controle. Assim, a utilização de inimigos naturais como os parasitoides pode ser uma alternativa para controlar as pragas e mitigar a evolução da resistência (FREEMAN *et al.*, 2021; BARBOSA *et al.*, 2023).

A análise da resposta funcional é uma das formas de mensurar o impacto de insetos considerados resistentes sobre populações de inimigos naturais.

Resposta funcional é uma descrição matemática da taxa de parasitismo por parasitoides em função da densidade de hospedeiros disponíveis (JULIANO, 2001). Sendo essa uma peça fundamental na compreensão das dinâmicas de populações e na predição dos efeitos das interações entre parasitoide e hospedeiro em ecossistemas naturais (HOLLING, 1959; HASSELL, 1966; DEL PINO *et al.*, 2020).

Existem três tipos de resposta funcional (HOLLING, 1959; HASSELL, 1966; KFIR, 1983; JULIANO, 2001). Tipo I: Nesse tipo, a taxa de parasitismo aumenta linearmente com a densidade do hospedeiro até atingir um ponto de saturação, a partir do qual a taxa de parasitismo mantém-se constante, mesmo que a densidade do hospedeiro continue a crescer. Tipo II: Neste, a taxa de parasitismo aumenta de forma crescente à medida que a densidade do hospedeiro aumenta, mas a um ritmo decrescente, ou seja, a taxa de parasitismo aumenta até certo ponto, após o qual começa se estabiliza. Isso indica que, mesmo que a densidade do hospedeiro continue a aumentar, a taxa de parasitismo não aumentará indefinidamente. Tipo III: Nesse tipo, a taxa de parasitismo aumenta de forma lenta no início, depois acelera e, finalmente, se estabiliza ou diminui à medida que a densidade do hospedeiro continua a aumentar. Esse tipo de resposta é comum em parasitoides que possuem um período de aprendizado ou de busca, antes de atingir a eficiência máxima. A taxa de ataque (a) e o tempo de manipulação (T_h) são os parâmetros comumente utilizados dentro da resposta funcional para estimar a eficiência do agente de controle biológico (ATASHI *et al.*, 2023; OLIVEIRA; REIGADA, 2023; RAY *et al.*, 2023). A taxa de ataque, também conhecida como taxa instantânea de descoberta, estima a eficácia da busca do parasitoide de acordo com a quantidade de hospedeiros descobertos e parasitados em densidades exatas em uma unidade de tempo (HOLLING, 1959a). A taxa de ataque determina a inclinação inicial da curva de resposta funcional (ARDITI; GINZBURG, 1989). O tempo de manejo ou manipulação é o tempo que o parasitoide utiliza identificando, perseguindo, parasitando e outras atividades relacionadas que consomem tempo (HOLLING, 1959a, 1959b).

A resposta funcional de diferentes espécies de *Trichogramma* spp. parasitando ovos de espécies-praga como *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) (ATASHI *et al.*, 2023), *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) (MANOHAR *et al.*, 2020a, 2020b) e *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Pyralidae) (OLIVEIRA; REIGADA, 2023), estão

descritos na literatura. Diante do exposto, o objetivo foi avaliar a resposta funcional de *T. pretiosum* em ovos de uma população de *S. frugiperda* tratada por 11 gerações com a CL₅₀ do princípio ativo Metomil.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Criação e manutenção de *T. pretiosum*

A criação de *T. pretiosum* foi mantida no Laboratório de Entomologia Aplicada na UFC seguindo a metodologia descrita por Stein e Parra (1987). Ovos do hospedeiro alternativo *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae) mantidos em laboratório de acordo com a metodologia proposta por Parra (1997), foram coletados e colados em cartelas de cartolina cor azul celeste (5,0 x 2,0 cm) com goma arábica diluída em água (5%). Posteriormente as cartelas foram expostas ao processo de inviabilização dos ovos, por exposição a luz germicida ultravioleta por um período de 50 minutos e à distância de 15 cm da fonte de luz. Posteriormente as cartelas foram colocadas em tubos de vidro de fundo chato (100 x 25 mm) contendo adultos de *T. pretiosum*, expondo assim os ovos ao parasitismo por 48 horas. Posteriormente as cartelas parasitadas foram individualizadas em tubos de vidro de fundo chato (100 x 25 mm), fechados com filme de PVC[®] e mantidos em sala sob condições controladas, até a emergência dos adultos. Os adultos de *T. pretiosum* foram alimentados com uma gotícula de mel pincelada na extremidade do tubo.

4.2.2 Criação de *S. frugiperda*

A população de *S. frugiperda* utilizada nos bioensaios foi coletada em lavoura de milho no município de Guaraciaba do Norte, Ceará, durante a safra 2020/2021. Os insetos coletados foram divididos em duas populações, sendo uma parte pressionada à resistência ao Metomil por 11 gerações (Metomil-Resistente) e, a outra população foi mantida na ausência de pressão de seleção (Suscetível) (Tabela 9). A criação de *S. frugiperda* foi mantida em laboratório de acordo com a literatura (KASTEN; PRECETTI; PARRA, 1978). A metodologia 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.

Tabela 9 - Concentração Letal (CL₅₀) estimada de Metomil sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) por 11 gerações comparada a população suscetível

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 (G1)	397	1,62 \pm 0,13	-2,15 \pm 0,19	6,32 (5)	0,27	27,13 a (22,34 - 32,48)	0,76 (0,56 - 1,04)
Metomil-Res (G11)	452	4.25 \pm 0.49	-8.50 \pm 1.27	3.76 (7)	0,80	101.960 c (74.31 - 131.10)	4.80 (3.64 - 6.35)

Concentração Letal (CL₅₀); IC: Intervalo de confiança; Os valores de CL₅₀ seguidos pela mesma letra não diferem significativamente devido à não sobreposição de intervalos de confiança de 95% (ICs); RR: Razão de resistência= CL₅₀ da população resistente/ CL₅₀ da população suscetível.

4.2.3 Resposta funcional de *T. pretiosum*

O experimento foi conduzido seguindo a metodologia descrita na literatura (RAY *et al.*, 2023). Cartelas contendo ovos de *S. frugiperda* nas densidades de 5, 10, 20, 30 e 50 das duas populações (Metomil-Resistente e suscetível), foram oferecidas separadamente às fêmeas dos parasitoides por 24 horas. O parasitismo (%) foi obtido por meio da razão: Número de ovos escuros com o número total de ovos oferecidos; a emergência (%), por meio da razão entre o número de adultos com número de ovos parasitados (DEGRANDE; GOMEZ, 1990) e; a razão sexual por meio da metodologia proposta por BOWEN; STERN, (1966), RS= [n° de fêmeas/(n° de fêmeas + n° de machos)] foram avaliados. Os bioensaios foram mantidos em condições controladas (25 \pm 3°C, 70 \pm 10% de UR e fotofase de 12 h), e conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 10 tratamentos e 30 repetições. Sendo que repetição foi constituída por uma fêmea e uma cartela com ovos.

4.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variâncias paramétricos de Levene, sendo também verificada a presença de *outliers*. Posteriormente foi aplicada análise de variância (ANOVA) e, sempre que se constatou significância estatística pelo teste F

ao nível de 5% de probabilidade, os tratamentos foram submetidos a análise de regressão. As análises foram realizadas utilizando Software R Version 4.0.2 (R CORE TEAM, 2023).

A resposta funcional de *T. pretiosum* foi ajustada e comparada em cada população de *S. frugiperda*. Para estimar a resposta funcional foi utilizado o pacote *frair* (PRITCHARD *et al.*, 2014, 2017), no *Software R Version 4.0.2* (R CORE TEAM, 2023). O tipo mais apropriado de curva de resposta funcional (Tipo II ou III) para as populações de *S. frugiperda* foi determinado ajustando regressões logísticas do número ovos parasitados por *T. pretiosum* no período de 24 horas. Uma resposta funcional do Tipo II é indicada por um termo de primeira ordem negativo significativo, enquanto uma resposta funcional do Tipo III é indicada por um termo de primeira ordem positivo significativo e um termo de segunda ordem negativo significativo (JULIANO, 2001; PRITCHARD *et al.*, 2017). Quando esta abordagem produziu resultados inconclusivos, as curvas de resposta do Tipo I, II e III foram ajustadas e classificadas com o critério de informação de Akaike corrigido para amostras pequenas (AICc). Em seguida, selecionamos o tipo de resposta funcional com base no modelo com a classificação mais alta (ou seja, o valor mais baixo de AICc) (HADDAWAY *et al.*, 2012). Com base nos resultados das regressões logísticas e seleção de modelos, a equação de Rogers com não substituição para respostas funcionais do Tipo II (ROGERS, 1972) foi ajustada para cada população:

$$N_e = N_0 - (1 - \exp(a(Neh - T)))$$

Onde N_e é o número ovos parasitados, N_0 é a densidade de ovos total, T é a duração do ensaio (24 horas), os parâmetros estimados são: o tempo de manipulação (T_h) e a taxa de ataque (a). A taxa de ataque influencia a inclinação inicial da resposta funcional, enquanto o tempo de manuseio está associado à assíntota (XU *et al.*, 2016), de modo que valores mais altos de h refletem tempos de manuseio mais curtos e resultam em uma assíntota mais alta. A taxa de parasitismo por tempo de manejo (a/T_h) (HASSELL, 1996; BEHNAZAR *et al.*, 2015) e o número máximo teórico de hospedeiros parasitados em 1 h foram calculados como $1/Th$ (SHARMA *et al.*, 2017).

Como o número de ovos parasitados aparece em ambos os lados da

equação, a equação de Rogers requer que a equação de Lambert W seja resolvida (BOLKER, 2008; HADDAWAY *et al.*, 2012).

$$N_e = N_0 - \text{lambertW}(ahN_0 \exp(-a(T - hN_0)))/ha$$

Os parâmetros de taxa de ataque e tempo de duração do ensaio foram comparados entre cada população e a abordagem de variável indicadora do pacote frair (Juliano 2001; Pritchard 2014; Pritchard *et al.* 2017). A abordagem da variável indicadora compara esses parâmetros entre grupos, substituindo-os pelo parâmetro estimado a partir da equação de Roger mais um preditor codificado para a variável de interesse (j) (JULIANO, 2001):

$$0 = N_0 - N_0 \exp\left\{[a + D_a(j)]\{[h + D_h(j)]N_e - T_h\}\right\} - N_e$$

À variável indicadora é atribuído o valor de 0 para um grupo para a população suscetível e 1 para a população resistente a Metomil, e D_a e D_h são estimativas da diferença em a ou h entre os grupos sendo testado (JULIANO, 2001). Se D_a ou D_h for significativamente diferente de 0, isso significa que a ou h , respectivamente, diferem significativamente para as populações comparadas comparados (JULIANO, 2001). As populações foram comparadas usando modelos separados (em vez de comparar todos os locais usando um único modelo que incluía todas as variáveis) porque nem todas as combinações possíveis de variáveis foram representadas pelos locais examinados dentro do nosso sistema de estudo. Visualizamos diferenças e incertezas entre curvas de resposta funcional ajustadas para tratamento usando intervalos de confiança de 95% em torno da resposta funcional ajustada de bootstrap 999 interações (PRITCHARD *et al.*, 2014, 2017).

4.3 Resultados

O parasitismo de *T. pretiosum* não foi afetado em função da população utilizada ($F_{1,240} = 3.57$, $P > 0.05$), somente a densidade de ovos utilizada afetou o parasitismo ($F_{4,240} = 127.30$, $P < 0.001$). Com o aumento na densidade de ovos de *S. frugiperda*, ocorreu redução no percentual de ovos parasitados, no qual pode-se observar 40% de parasitismo na densidade 50 ovos (Figura 9A).

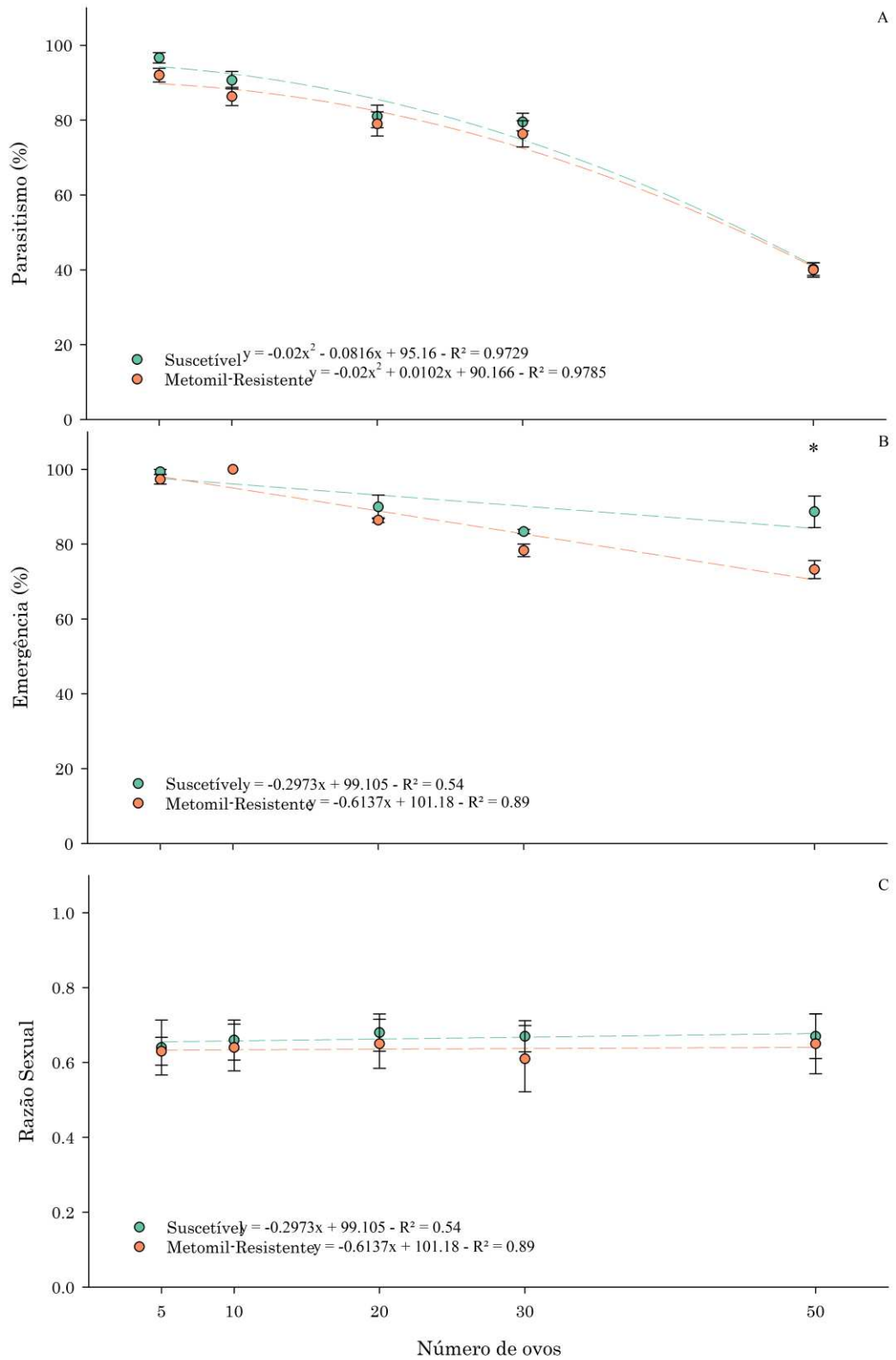


Figura 9 - A) Parasitismo (%); B) Emergência (%) e, C) Razão sexual de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de duas populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Suscetível e Resistente à Metomil).

A emergência de adultos de *T. pretiosum* de ovos de *S. frugiperda* da população resistente e suscetível a Metomil foi afetada significativamente ($F_{1,240}= 18.35$, $P < 0.001$) (Figura 9B). A densidade de ovos utilizada também afetou o parasitismo ($F_{4,240}= 55.28$, $P < 0.001$). Com o aumento na densidade de ovos de *S. frugiperda*, ocorreu redução no percentual emergência em ambas as populações (Figura 9). A única diferença observada entre as populações foi na densidade de 50 ovos na qual destaca-se diferença de 13% no percentual de emergência entre as populações (Figura 1B). De acordo com a classificação proposta pelo 'International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants/West Palearctic Regional Section (IOBC/WPRS)', essa redução pode ser considerada como classe 1, inócuo (redução inferior a 30%) (HASSAN; ABDELGADER, 2001).

A razão sexual da progênie de *T. pretiosum* proveniente dos ovos de *S. frugiperda* resistente e suscetível a Metomil não foram afetadas significativamente ($F_{1,240}= 0.47$, $P > 0.05$), e a densidade não afetou a razão sexual ($F_{4,240}= 0.08$, $P > 0.05$). A razão sexual foi de aproximadamente 0.65 independente da população e da densidade de ovos (Figura 1C).

O número de ovos parasitados aumentou proporcionalmente ao aumento da densidade de ovos oferecidos a fêmea de *T. pretiosum* e, a partir da densidade de 30 ovos, observou-se estabilidade no parasitismo (Figura 2). De acordo com a função de *frair_test* do pacote *frair*, as respostas funcionais de ambas as curvas foram classificadas como do Tipo II (Tabela 11). De acordo com o intervalo de confiança foi observada diferença na taxa de ataque de *T. pretiosum* nos ovos de *S. frugiperda* (Tabela 3 e 4), havendo redução de 20% na taxa de ataque dos ovos de *S. frugiperda* resistentes quando comparados aos ovos da população suscetível. Não foi observado efeito sobre o tempo de manipulação dos ovos de *S. frugiperda* das diferentes populações por *T. pretiosum* (Tabela 12 e 13). A razão a/T_h representa a taxa de parasitismo por tempo de manejo, e foi inferior em 18% na população resistente (Tabela 3). O número máximo teórico de hospedeiros parasitados ($1/T_h$) foi semelhante entre as duas populações (Tabela 3).

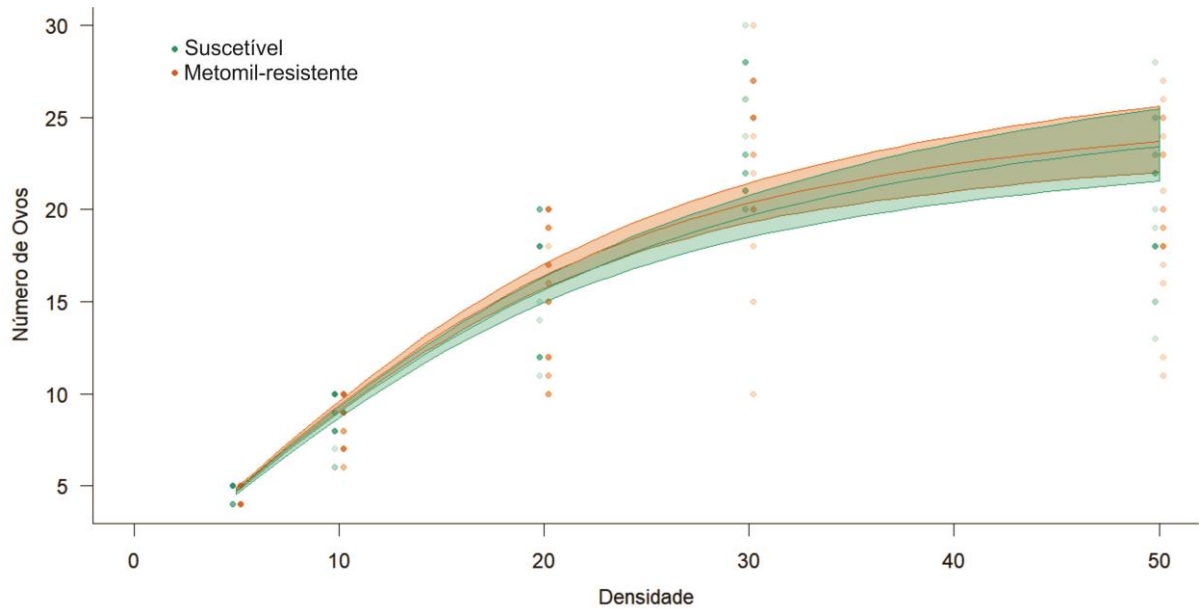


Figura 10 - Aproximações empíricas de intervalos de confiança de 95% com base em ajustes de modelo *bootstrapped* para o número de ovos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) parasitados por *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae).

Tabela 10 - Parâmetros de resposta funcional [coeficiente de taxa de ataque (a) e tempo de manipulação (T_h)] de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) a diferentes densidades de ovos hospedeiros das populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível e resistente (Metomil-Resistente) ao Metomil

População	Tipo de Resposta	Coeficiente	Erro padrão	P-Valor
Suscetível	II	-0.071179	0.003469	$2.2 \times 10^{16**}$
Metomil-Resistente	II	-0.0607310	0.0030653	$2.2 \times 10^{16**}$

** Significativo $P < 0,01$.

Tabela 11 - Parâmetros de resposta funcional [coeficiente de taxa de ataque (a) e tempo de manipulação (T_h)] de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) a diferentes densidades de ovos hospedeiros das populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível e resistente (Metomil-Resistente) ao Metomil

População	Parâmetros	Estimados	Intervalo de Confiança (%)		a/T_h	$1/T_h$
			Mínimo	Máximo		
Suscetível	a	4.11	3.39	4.95	117.4	28.57
	T_h	0.035	0.032	0.039	2	
Metomil-Resistente	a	3.31	2.83	3.92	97.35	29.41
	T_h	0.034	0.030	0.039		

Tabela 12 - Diferença pareada (\pm EP) entre parâmetros de resposta funcional de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em duas populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) suscetível e resistente (Metomil-Resistente) ao Metomil

População	Parâmetros	Estimados	Erro padrão aproximado
Suscetível : Metomil-Resistente	D _a	0.796*	0.34
	D _{Th}	0.001	0.001

*Significativo a $P < 0.05$.

4.4 Discussão

A eficiência de *T. pretiosum* dentro dos programas de controle biológico está ligada a compatibilidade com outros métodos de controle de pragas (PARRA, 2014; PARRA; COELHO, 2019; RAKES *et al.*, 2021). Além desse ponto, o conhecimento sobre a interação de inimigos naturais com insetos resistentes a inseticidas está em estágio inicial, sendo esse outro ponto importante dentro do manejo de pragas. Existem relatos sobre a interação entre *S. frugiperda* resistente a inseticidas com parasitoides (THOMAZONI, 2012; BARBOSA *et al.*, 2021). Observou-se que *T. pretiosum* foi efetivo no parasitismo e na emergência de ovos de *S. frugiperda* com baixa resistência a Metomil nas condições avaliadas. Essas observações são de fundamental importância dentro do manejo da praga pois indicam a capacidade do parasitoide em reproduzir-se em uma população e, se liberado em campo na quantidade ideal, promover o controle (PARRA, 2014; PARRA; COELHO, 2019; RAKES *et al.*, 2021).

Os resultados obtidos determinaram que o tipo de resposta funcional apresentado por *T. pretiosum* em ovos de *S. frugiperda* foi do Tipo II. Holling (1959a), descreveu que a resposta funcional do Tipo II, indica que no início a taxa de consumo aumenta rapidamente com a densidade dos hospedeiros, e que, à medida que a densidade continua a aumentar, a taxa de parasitismo se estabiliza e atinge seu valor máximo. Esse aspecto indica a eficiência limitada do parasitoide em parasitar grandes quantidade ovos em altas densidades, em determinados períodos. Resposta funcional do tipo II de *Trichogramma* spp. também foi relatada em diferentes hospedeiros, dos quais destaca-se: *H. armigera* (ATASHI *et al.*, 2023), *T. absoluta* (MANOHAR *et al.*, 2020a, 2020b), *D. saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) (DE OLIVEIRA; REIGADA, 2023), *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae) (RAY *et al.*, 2023), *Sitotroga cerealella* (Olivier, 1819)

(Lepidoptera Gelechiidae) (MOEZIPOUR; KAFIL; ALLAHYARI, 2008), *Phthorimaea operculella* (Zeller, 1873) (Lepidoptera: Gelechiidae) (KFIR, 1983), e *Chilo sacchariphagus* Bojer, 1856 (Lepidoptera: Pyralidae) (REAY-JONES et al., 2006). O parasitoide *Telenomus remus* Nixon, 1937 (Hymenoptera, Scelionidae) também apresentou resposta funcional do Tipo II em ovos de *S. frugiperda* (CARNEIRO et al., 2010). O presente estudo portanto ratifica a tendência de resposta funcional de *T. pretiosum* do Tipo II, indicando que uma grande proporção de ovos é parasitada em baixa densidade do parasitoide.

A taxa de ataque (a) e o tempo de manipulação (T_h) são os principais aspectos dentro da resposta funcional, sendo que parasitoides com maior eficiência na busca e menor tempo de manuseio são considerados melhores agentes de controle biológico (PETHYBRIDGE et al., 2019; RASHIDI; NOURI-GANBALANI; IMANI, 2018; RAY et al., 2023). A taxa de ataque também pode ser interpretada como taxa instantânea de descoberta, estima a eficácia da busca do parasitoide no tempo (HOLLING, 1959a; KFIR, 1983). Dessa forma foi observado aumento no tempo para que os ovos de *S. frugiperda* da população Metomil fossem encontrados pelos parasitoides. No entanto, não foram observadas alterações no tempo de manipulação, o que indica que após o encontro entre parasitoide e hospedeiro, o comportamento do parasitoide foi o mesmo. Sendo que o tempo de manipulação consiste no tempo necessário para o parasitoide manipular e parasitar o hospedeiro após o encontro (HOLLING, 1959a; KFIR, 1983). A taxa de ataque está positivamente correlacionada com a eficiência de busca e negativamente com o tempo de manuseio do parasitoide, resultando assim em eficiência de busca (ATASHI et al., 2023; RAY et al., 2023).

Em resumo, o presente estudo destacou que *T. pretiosum* foi efetivo no parasitismo de *S. frugiperda* com baixa resistência a Metomil, sendo que o parasitoide apresentou capacidade de explorar e parasitar ovos em diferentes densidades, o que sugere que é uma espécie adaptável e capaz de lidar com variações na disponibilidade de ovos do hospedeiro. Os resultados deste estudo têm implicações significativas para o uso de *T. pretiosum* em programas de manejo de *S. frugiperda*, pois ao compreender a resposta funcional do parasitoide em relação à densidade de ovos de *S. frugiperda*, pesquisadores e agricultores podem otimizar as estratégias de liberação para maximizar a eficácia do controle biológico. Por fim o presente estudo contribui para o entendimento mais amplo das interações entre

parasitoides e hospedeiros, fornecendo informações sobre como a eficiência de parasitismo pode variar com a densidade de hospedeiros disponíveis.

4.5 Conclusões

A resposta funcional de *T. pretiosum* em ovos de *S. frugiperda* foi do tipo II, e o tempo de manipulação foi o mesmo para ambas as populações.

A taxa de ataque de *T. pretiosum* ovos de *S. frugiperda* da população Metomil resistente foi ligeiramente inferior.

REFERÊNCIAS

- ARDITI, R.; GINZBURG, L. R. Coupling in predator-prey dynamics: Ratio-Dependence. **Journal of Theoretical Biology**, v. 139, n. 3, p. 311-326, 1989. DOI: 10.1016/S0022-5193(89)80211-5.
- ATASHI, N.; SHISHEHBOR, P.; SERAJ, A. A.; RASEKH, A.; HEMMATI, S. A.; UGINE, T. A. Functional and numerical responses of *Trichogramma euproctidis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) Under Laboratory Conditions. **Neotropical Entomology**, v. 52, n. 5, p. 956-962, 2023. DOI: 10.1007/s13744-023-01073-x.
- BARBOSA, M. G.; SOUZA, S. A.; ANDRÉ, T. P. P.; PONTES, A. D. S.; TEIXEIRA, C. S.; PEREIRA, F. F.; PASTORI, P. L. Do fall armyworm's Metaflumizone resistente populations affect the activity of *Trichogramma pretiosum*? **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-6, 2023. DOI: 10.1590/1519-6984.245273.
- BOLKER, B. M. **Ecological Models and Data in R**. [s.l.] : Princeton University Press, v. 84, 2008. DOI: 10.1515/9781400840908.
- BOWEN, W. R.; STERN, V. M. Effect of temperature on the production of males and sexual mosaics in a uniparental race of *Trichogramma semifumatum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 59, n. 4, p. 823-834, 1966. DOI: 10.1093/aesa/59.4.823.
- CARNEIRO, T. R.; FERNANDES, O. A.; CRUZ, I.; BUENO, R. C. O. F. Functional response of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera, Scelionidae) to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae) eggs: Effect of female age. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n. 4, p. 692-696, 2010. DOI: 10.1590/s0085-56262010000400023.
- CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on *Trichogramma***. 9. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4020-9110-0.
- CZEPAK, C.; TAY, W. T.; OTIM, M.; ROY, S. R.; GODINHO, K. C. A.; MAGALHÃES, V.; COLLIER, K. F. S. Migração acelerada: Especial *Spodoptera*. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 244, p. 26-29, 2019.
- DE OLIVEIRA, J. S.; REIGADA, C.. Functional response and parasitism rate of *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), a parasitoid of eggs of sugarcane borer. **Neotropical Entomology**, v. 52, n. 4, p. 725-730, 2023. DOI: 10.1007/s13744-023-01046-0.
- DEGRANDE, P. E.; GOMEZ, D. R. S. Seletividade de produtos químicos no controle de pragas. **Agrotécnica**, v. 7, p. 8-13, 1990.
- DEL PINO, M.; GALLEGO, J. R.; HERNÁNDEZ SUÁREZ, E.; CABELLO, T.. Effect of Temperature on Life History and Parasitization Behavior of *Trichogramma achaeae* Nagaraja and Nagarkatti (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Insects**, v. 11, n. 8, p.

482, 2020. DOI: 10.3390/insects11080482.

FREEMAN, J. C.; SMITH, L. B.; SILVA, J. J.; FAN, Y.; SUN, H.; SCOTT, J. G. Fitness studies of insecticide resistant strains: Lessons learned and future directions. **Pest Management Science**, v. 77, p. 3847-3856, 2021. DOI: 10.1002/ps.6306.

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. DOI: 10.1002/ps.4452.

HADDAWAY, N. R.; WILCOX, R. H.; HEPTONSTALL, R. E. A.; GRIFFITHS, H. M.; MORTIMER, R. J. G.; CHRISTMAS, M.; DUNN, A.M. Predatory functional response and prey choice identify predation differences between native/invasive and parasitised/unparasitised crayfish. **PLoS ONE**, v. 7, n. 2, p. e32229, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0032229.

HASSAN, S.; ABDELGADER, H.. A sequential testing program to assess the side effects of pesticides on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae). **IOBC WPRS BULLETIN**, v. 24, n. 4, p. 71-82, 2001.

HASSELL, M. P. Evaluation of Parasite or Predator Responses. **Journal of Animal Ecology**, v. 35, n. 1, p. 65-75, 1966. DOI: 10.2307/2690.

HOLLING, C. S. The Components of Predation as Revealed by a Study of Small-Mammal Predation of the European Pine Sawfly. **The Canadian Entomologist**, v. 91, n. 5, p. 293-320, 1959a DOI: DOI: 10.4039/Ent91293-5.

HOLLING, C. S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism1. **The canadian entomologist**, v. 91, n. 7, p. 385-398, 1959b.

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. Disponível em: https://irac-online.org/content/uploads/Method_007_v3.1_24july14.pdf.

JULIANO, S. A. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. *In*: SCHEINER SM, Gurevitch J. (org.). **Design and analysis of ecological experiments**. Oxford, UK: Oxford University Press, p. 178-196, 2001.

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**, v. 53, v.1/2, p.68-78, 1978.

KFIR, R. Functional response to host density by the egg parasite *Trichogramma pretiosum*. **Entomophaga**, v. 28, n. 4, p. 345-353, 1983. DOI: 10.1007/BF02372187.

MANOHAR, T. N.; SHARMA, P. L.; VERMA, S. C.; SHARMA, K. C.; CHANDEL, R. S. Functional response of indigenous *Trichogramma* spp. to invasive tomato

leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) under laboratory conditions. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 40, n. 1, p. 101-107, 2020a. DOI: 10.1007/s42690-019-00057-y.

MANOHAR, T. N.; SHARMA, P. L.; VERMA, S. C.; SHARMA, K. C.; CHANDEL, R. S. Functional response of indigenous *Trichogramma* spp. to invasive tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) under laboratory conditions. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 40, n. 1, p. 101-107, 2020b. DOI: 10.1007/s42690-019-00057-y.

MOEZIPOUR, M.; KAFIL, M.; ALLAHYARI, H.. Functional response of *Trichogramma brassicae* at different temperatures and relative humidities. **Bulletin of Insectology**, v. 61, n. 2, p. 245-250, 2008.

OLIVEIRA, R. C. M.; PASTORI, P. L.; COUTINHO, C. R.; JUVENAL, S. O.; AGUIAR, C. V. S. Natural parasitism of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs on tomato (Solanales: Solanaceae) in the Northeast Region, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, n. 2, p. 474-475, 2020. DOI: 10.1590/1519-6984.206676.

PARRA, J. R. Técnicas de criação de *Anagasta kuhniella*, hospedeiro alternativo para produção de *Trichogramma*. In: **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. Fealq ed. Piracicaba: Fealq, p. 121-150, 1997.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: An overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420-429, 2014. DOI: 10.1590/0103-9016-2014-0167.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 5, 2019. DOI: 10.1093/jisesa/iey112.

PETHYBRIDGE, H. R.; WEIJERMAN, M.; PERRYMAN, H.; AUDZIJONYTE, A.; POROBIC, J.; MCGREGOR, V.; RAPHAEL GIRARDIN, R.; BULMAN, C.; CISNEROS, K.O.; SINERCHIA, M.; HUTTON, T.; MONTES, H. L.; MORI, M.; NOVAGLIO, C.; FAY, G.; GORTON, R. FULTON, E. Calibrating process-based marine ecosystem models: An example case using Atlantis. **Ecological Modelling**, v. 412, p. 108822, 2019. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2019.108822.

PIZZOL, J.; DESNEUX, N.; WAJNBERG, E.; THIÉRY, D.. Parasitoid and host egg ages have independent impact on various biological traits in a *Trichogramma* species. **Journal of Pest Science**, v. 85, n. 4, p. 489-496, 2012. DOI: 10.1007/s10340-012-0434-1.

PRITCHARD, D. W.; BARRIOS-O'NEILL, D.; BOVY, H.; PATERSON, R.; PRITCHARD, M. D. **frair: Functional response analysis in R. R package version 0.4.**, 2014.

PRITCHARD, D. W.; PATERSON, R. A.; BOVY, H. C.; BARRIOS-O'NEILL, D. **frair: an R package for fitting and comparing consumer functional responses. Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 1528-1534, 2017. DOI: 10.1111/2041-

210X.12784.

QUERINO, R. B.; MENDES, J. V.; COSTA, V. A.; ZUCCHI, R. A. New species, notes and new records of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Brazil. **Zootaxa**, v. 4232, n. 1, p. 137-143, 2017. DOI: 10.11646/zootaxa.4232.1.11.

QUERINO, R. B.; ZUCCHI, R. A. **Guia de identificação de *Trichogramma* para o Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org> Vienna, Austria, 2023.

RAKES, M.; PASINI, R. A.; MORAIS, M. C.; ARAÚJO, M. B.; PAZINI, J. B.; SEIDEL, E. J.; BERNARDI, D.; GRÜTZMACHER, A. D. Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest Management. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111504, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111504.

RASHIDI, F.; NOURI-GANBALANI, G.; IMANI, S. Sublethal effects of some insecticides on functional response of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) when reared on two lepidopteran hosts. **Journal of economic entomology**, v. 111, n. 3, p. 1104-1111, 2018.

RAY, A.; GADRATAGI, B. G.; BUDHLAKOTI, N.; RANA, D. K.; ADAK, T.; GOVINDHARAJ, G. P. P.; PATIL, N. B.; MAHENDIRAN, A.; RATH, P. C. Functional response of an egg parasitoid, *Trichogramma chilonis* Ishii to sublethal imidacloprid exposure. **Pest Management Science**, v. 79, n. 10, p. 3656-3665, 2023. DOI: 10.1002/ps.7540.

REAY-JONES, F. P. F.; ROCHAT, J.; GOEBEL, R.; TABONE, E. Functional response of *Trichogramma chilonis* to *Galleria mellonella* and *Chilo sacchariphagus* eggs. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 118, n. 3, p. 229-236, 2006. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2006.00380.x.

ROGERS, D. Random search and insect population models author(s): David Rogers Published by : British Ecological Society Stable URL : <https://www.jstor.org/stable/3474> REFERENCES Linked references are available on JSTOR for this article : You may need to log in to. **Journal of Animal Ecology**, v. 41, n. 2, p. 369-383, 1972.

STEIN, C. P.; PARRA, J. R. P.. Uso da radiação para inviabilizar os ovos de *Anagasta kuehniella* visando estudos com *Trichogramma* sp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 6, n. 1, p. 229-231, 1987.

TAY, W. T.; MEAGHER, R. L.; CZEPAK, C.; GROOT, A. T. *Spodoptera frugiperda*: Ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 299-317, 2023. DOI: 10.1146/annurev-ento-120220-102548.

THOMAZONI, D.. **Efeito da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cyhalothrin na interação com o milho geneticamente modificado (MON810) e na resposta imunológica ao parasitismo por *Campoletis* af.** 2012. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. DOI: 10.11606/T.11.2012.tde-04072012-111034.

XU, M.; MU, X.; DICK, J. T. A.; FANG, M.; GU, D.; LUO, D.; ZHANG, J.; LUO, J.; HU, Y. Comparative functional responses predict the invasiveness and ecological impacts of alien herbivorous snails. **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, e0147017, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0147017.

5 CONCLUSÕES FINAIS

Concentrações subletais de Metomil afetam a taxa de sobrevivência e os parâmetros ligados a tabela de vida de fertilidade de *S. frugiperda*.

Concentrações subletais de Metomil não afetaram os parâmetros ligados a tabela de vida de fertilidade de *T. pretiosum*.

A pressão de seleção por 11 Gerações com o princípio ativo Metomil resultou em uma baixa resistência de *S. frugiperda*.

Foi determinado a existência de custo adaptativo associado a resistência de *S. frugiperda* a Metomil.

A população de *S. frugiperda* resistente a Metomil não apresentou resistência aos princípios ativos: Clofenapir, Metaflumizone e Teflubenzurom.

A resposta funcional de *T. pretiosum* em ovos de *S. frugiperda* foi do tipo II, e o tempo de manipulação foi o mesmo para ambas as populações.

A taxa de ataque de *T. pretiosum* ovos de *S. frugiperda* da população Metomil resistente foi inferior.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Informações importantes sobre a interação entre *S. frugiperda*, *T. pretiosum* e o inseticida Metomil foram obtidas no presente estudo. Em resumo, foi determinado que concentrações subletais afetam a espécie-praga, mas não afetam o parasitoide e que a resistência a Metomil tem um custo adaptativo. Por fim observamos que o parasitoide *T. pretiosum* foi efetivo nos parâmetros biológicos avaliados sobre *S. frugiperda* resistente.

Essas informações podem e devem ser usadas em programas de manejo, sendo que, a resistência a inseticidas é uma problemática constante dentro do manejo. Inúmeros fatores podem acarretar a pressão de seleção de indivíduos resistentes a inseticidas e entender as alterações biológicas nesses insetos pode auxiliar na tomada de decisão.

Um outro ponto é a crescente utilização de inimigos naturais no campo. Portanto, sabendo da interações entre parasitoide e inseto resistente pode-se compreender melhor o desempenho do parasitoide e auxiliar na tomada de decisão em relação a fatores como a quantidade de parasitoides a serem liberados ou o momento de realizar a liberação.

Diante do exposto o presente estudo traz informações sobre a biologia de *S. frugiperda* e do parasitoide *T. pretiosum* frente ao princípio ativo Metomil em duas situações, ou seja, pela exposição a doses subletais e sob pressão de seleção.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, N.; SAMIULLAH; SHAD, S. A.; RAZAQ, M.; WAHEED, A.; ASLAM, M.. Resistance of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) to profenofos: Relative fitness and cross resistance. **Crop Protection**, v. 58, p. 49-54, 2014. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.01.002.
- AGROFIT, AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2023. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 10 out. 2020.
- ARDITI, R.; GINZBURG, L. R. Coupling in predator-prey dynamics: Ratio-Dependence. **Journal of Theoretical Biology**, v. 139, n. 3, p. 311-326, 1989. DOI: 10.1016/S0022-5193(89)80211-5. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(89\)80211-5](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(89)80211-5).
- ATASHI, N.; SHISHEHBOR, P.; SERAJ, A. A.r; RASEKH, A.; HEMMATI, S. A.; UGINE, T. A. Functional and Numerical Responses of *Trichogramma euproctidis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) Under Laboratory Conditions. **Neotropical Entomology**, n. 0123456789, 2023. DOI: 10.1007/s13744-023-01073-x.
- BANTZ, A.; CAMON, J.; FROGER, J. A.; GOVEN, D.; RAYMOND, V. Exposure to sublethal doses of insecticide and their effects on insects at cellular and physiological levels. **Current Opinion in Insect Science**, v. 30, p. 73-78, 2018. DOI: 10.1016/j.cois.2018.09.008.
- 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**, v. 49, p. 882-892. 2020. DOI: 10.1007/s13744-020-00800-y.
- BARBOSA, M. G.; SOUZA, S. A.; ANDRÉ, T. P. P.; PONTES, A. D. S.; TEIXEIRA, C. S.; PEREIRA, F. F.; PASTORI, P. L. Do fall armyworm's Metaflumizone resistente populations affect the activity of *Trichogramma pretiosum*? **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1–6, 2023. DOI: 10.1590/1519-6984.245273.
- BOLKER, B. M. **Ecological Models and Data in R**. [s.l.] : Princeton University Press, v. 84, 2008. DOI: 10.1515/9781400840908.
- BOWEN, W. R.; STERN, V. M. Effect of Temperature on the Production of Males and Sexual Mosaics in a Uniparental Race of *Trichogramma semifumatum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)12. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 59, n. 4, p. 823–834, 1966. DOI: 10.1093/aesa/59.4.823.
- BUTT, B. A.; CANTU, E. Sex determination of lepidopterous pupae /. [Washington, D.C.] : **Agricultural Research Service**, U.S. Dept. of Agriculture, v. 33, n. 75, p. 1-7, 1962. DOI: 10.5962/bhl.title.67261.

- CARNEIRO, T. R.; FERNANDES, O. A.; CRUZ, I.; BUENO, R. C. O. F. Functional response of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera, Scelionidae) to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae) eggs: effect of female age. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n. 4, p. 692-696, 2010. DOI: 10.1590/s0085-56262010000400023.
- CARVALHO, G. A.; REIS, P. R.; ROCHA, L. C. D.; CAMPOS, J.; FUINI, L. C.; ECOLE, C. C. Side-effects of insecticides used in tomato fields on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera, Trichogrammatidae). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 275-279, 2003.
- CHEN, J.; LU, Z.; LI, M.; MAO, T.; WANG, H.; LI, F.; SUN, H.; DAI, M.; YE, W.; LI, B. The mechanism of sublethal chlorantraniliprole exposure causing silkworm pupation metamorphosis defects. **Pest Management Science**, v. 76, n. 8, p. 2838-2845, 2020. DOI: 10.1002/ps.5836.
- 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. **Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica**, v. 24, n. 2, p. 225-240, 1985.
- CHIMWETA, M.; NYAKUDYA, I. W.; JIMU, L.; BRAY MASHINGAIDZE, A. Fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers. **International Journal of Pest Management**, v. 66, p. 142-154, 2020. DOI: 10.1080/09670874.2019.1577514.
- CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on *Trichogramma***. 9. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4020-9110-0.
- CZEPAK, C.; TAY, W. T.; OTIM, M.; ROY, S. R.; GODINHO, K. C. A.; MAGALHÃES, V.; COLLIER, K. F. S. Migração acelerada: Especial *Spodoptera*. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 244, p. 26-29, 2019.
- DE OLIVEIRA, J. S.; REIGADA, C.. Functional response and parasitism rate of *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), a parasitoid of eggs of sugarcane borer. **Neotropical Entomology**, v. 52, n. 4, p. 725-730, 2023. DOI: 10.1007/s13744-023-01046-0.
- DEGRANDE, P. E.; GOMEZ, D. R. S. Seletividade de produtos químicos no controle de pragas. **Agrotécnica**, v. 7, p. 8-13, 1990.
- DEL PINO, M.; GALLEGO, J. R.; SUÁREZ, E. H.; CABELLO, T. Effect of Temperature on Life History and Parasitization Behavior of *Trichogramma achaeae* Nagaraja and Nagarkatti (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Insects**, v. 11, n. 8, p. 482, 2020. DOI: 10.3390/insects11080482.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007. DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440.

DING, J.; ZHAO, Y.; ZHANG, Z.; XU, C.; MU, W. Sublethal and Hormesis Effects of Clothianidin on the Black Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 6, p. 2809-2816, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy254.

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

FONTES, J.; ROJA, I. S.; TAVARES, J.; OLIVEIRA, L.. Lethal and sublethal effects of various pesticides on *Trichogramma achaeae* (hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 3, p. 1219-1226, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy064.

FRANÇA, S. M.; BRENDA, M. O.; BARBOSA, D.R. S.; ARAUJO, A. M. N.; GUEDES, C. A. The sublethal effects of insecticides in insects. **Biological Control of Pest and Vector Insects**, p. 23-39, 2017. DOI: 10.5772/66461.

FREEMAN, J. C.; SMITH, L. B.; SILVA, J. J.; FAN, Y.; SUN, H.; SCOTT, J. G. Fitness studies of insecticide resistant strains: Lessons learned and future directions. **Pest Management Science**, v. 77, p. 3847-3856, 2021. DOI: 10.1002/ps.6306.

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

GRANDE, M. L. M.; BRAZ, É. C.; DE FREITAS BUENO, A.; DA SILVA, D. Mello; DE QUEIROZ, A. P.; VENTURA, M. U. Effect of increasing rate of insecticides on its selectivity for *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, p. 933-946, 2018. DOI: 10.5433/1679-0359.2018v39n3p933.

GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, control failure likelihood and the first Law of Geography. **Pest Management Science**, v. 73, p. 479-484, 2017. DOI: 10.1002/ps.4452.

GUEDES, R. N. C.; SMAGGHE, G.; STARK, J. D.; DESNEUX, N. Pesticide-Induced Stress in Arthropod Pests for Optimized Integrated Pest Management Programs. **Annual Review of Entomology**, v. 61, n. 1, p. 43-62, 2016. DOI: 10.1146/annurev-ento-010715-023646.

GUTIÉRREZ-MORENO, R.; MOTA-SANCHEZ, D.; BLANCO, C. A.; WHALON, M. E.; TERÁN-SANTOFIMIO, H.; RODRIGUEZ-MACIEL, J. C.; DIFONZO, C. Field-Evolved Resistance of the *Fall Armyworm* (Lepidoptera: Noctuidae) to Synthetic

Insecticides in Puerto Rico and Mexico. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 2, p. 792-802, 2019. DOI: 10.1093/jee/toy372.

HADDAWAY, N. R.; WILCOX, R. H.; HEPTONSTALL, R. E. A.; GRIFFITHS, H. M.; MORTIMER, R. J. G.; CHRISTMAS, M.; DUNN, A.M. Predatory functional response and prey choice identify predation differences between native/invasive and parasitised/unparasitised crayfish. **PLoS ONE**, v. 7, n. 2, p. e32229, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0032229.

HASSAN, B. A. R.; YUSOFF, Z. B. M.; OTHMAN, M. A. H.; BIN, S. Information is available at the end of the Chapter. **We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books Built by scientists, for scientists TOP 1%**, p. 13, 2012.

HASSAN, S.; ABDELGADER, H. A sequential testing program to assess the side effects of pesticides on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **IOBC WPRS BULLETIN**, v. 24, n. 4, p. 71-82, 2001.

HASSELL, M. P. Evaluation of Parasite or Predator Responses. **Journal of Animal Ecology**, v. 35, n. 1, p. 65–75, 1966. DOI: 10.2307/2690.

HAYNES, K. F. Sublethal Effects of Neurotoxic Insecticides on Insect Behavior. **Annual Review of Entomology**, v. 33, n. 1, p. 149-168, 1988. DOI: 10.1146/annurev.en.33.010188.001053.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, L. J.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; CORSO, I. C. Pragas que atacam plântulas, hastes e pecíolos da soja. Cap. 3. **Hoffmann-Campo, CB, BS Corrêa-Ferreira & F. Moscardi. Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga. Brasília, DF**, p. 145-212, 2012.

HOLLING, C. S. The Components of Predation as Revealed by a Study of Small-Mammal Predation of the European Pine Sawfly. **The Canadian Entomologist**, v. 91, n. 5, p. 293–320, 1959a. DOI: DOI: 10.4039/Ent91293-5.

HOLLING, C. S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism1. **The canadian entomologist**, v. 91, n. 7, p. 385-398, 1959b.

HOUNGBO, S.; ZANNOU, A.; AOUDJI, A.; SOSSOU, H. C.; SINZOGAN, A.; SIKIROU, R.; ZOSSOU, E.; VODOUNON, H. S. T.; ADOMOU, A.; AHANCHÉDÉ, A. Farmers' knowledge and management practices of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in Benin, West Africa. **Agriculture**, v. 10, p. 430, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10100430>.

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

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. Disponível em: https://irac-online.org/content/uploads/Method_007_v3.1_24july14.pdf.

ISHTIAQ, M.; RAZAQ, M.; SALEEM, Mushtaq A.; ANJUM, Farida; NOOR UL ANE, M.; RAZA, Abubakar M.; WRIGHT, Denis J. Stability, cross-resistance and fitness costs of resistance to emamectin benzoate in a re-selected field population of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Crop Protection**, v. 65, p. 227-231, 2014. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.08.007.

JARALEÑO-TENIENTE, J.; LOMELI-FLORES, J. R.; RODRÍGUEZ-LEYVA, E.; BUJANOS-MUÑOZ, R.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, S. E. Egg parasitoids survey of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize and sorghum in Central Mexico. **Insects**, v. 11, p. 157, 2020. DOI: 10.3390/insects11030157.

JULIANO, S. A. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In: SCHEINER SM, Gurevitch J. (org.). **Design and analysis of ecological experiments**. Oxford, UK: Oxford University Press, p. 178-196, 2001.

KANNO, R. H.; BOLZAN, A.; KAISER, I. S.; LIRA, E. C.; AMARAL, F. S. A. A.; GUIDOLIN, A. S.; NASCIMENTO, A. R. B. B.; OMOTO, C.. Low risk of resistance evolution of *Spodoptera frugiperda* to chlorfenapyr in Brazil. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 1, p. 365–378, 2020. DOI: 10.1007/s10340-019-01165-x.

KANNO, R. H.; GUIDOLIN, A. S.; PADOVEZ, Fernando E. O.; RODRIGUES, J. G.; OMOTO, C. Fitness costs associated with spinetoram resistance in *Spodoptera frugiperda* is driven by host plants. **Journal of Pest Science**, v. 96, n. 4, p. 1625-1635, 2023. DOI: 10.1007/s10340-023-01614-8.

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**, v. 53, v.1/2, p.68-78, 1978.

KFIR, R.. Functional response to host density by the egg parasite *Trichogramma pretiosum*. **Entomophaga**, v. 28, n. 4, p. 345-353, 1983. DOI: 10.1007/BF02372187. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF02372187>.

KHAN, M. A.; RUBERSON, J. R. Lethal effects of selected novel pesticides on immature stages of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2465-2472, 2017. DOI: 10.1002/ps.4639.

KHORSHIDI, M.; POUR ABAD, R. F.; SABER, M.; ZIBAEI, A. Effects of hexaflumuron, lufenuron and chlorfluazuron on certain biological and physiological parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, p. 101270, 2019. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101270.

KLIOT, A.; GHANIM, M. Fitness costs associated with insecticide resistance. **Pest**

Management Science, v. 68, p. 1431-1437, 2012. DOI: 10.1002/ps.3395

LEE, C. Y. Sublethal effects of insecticides on longevity, fecundity and behaviour of insect pests: a review. **Journal of Bioscience**, v. 11, n. 1, p. 107-112, 2000.

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

LIU, Z. K.; LI, X. L.; TAN, X. F.; YANG, M.F.; IDREES, A.; LIU, J. F.; SONG, S. J.; SHEN, J.. Sublethal Effects of Emamectin Benzoate on Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agriculture**, v. 12, n. 7, p. 959, 2022. DOI: 10.3390/agriculture12070959.

MANOHAR, T. N.; SHARMA, P. L.; VERMA, S. C.; SHARMA, K. C.; CHANDEL, R. S. Functional response of indigenous *Trichogramma* spp. to invasive tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) under laboratory conditions. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 40, n. 1, p. 101-107, 2020a. DOI: 10.1007/s42690-019-00057-y.

MOEZIPOUR, Mitra; KAFIL, Maryam; ALLAHYARI, Hossein. Functional response of *Trichogramma brassicae* at different temperatures and relative humidities. **Bulletin of Insectology**, v. 61, n. 2, p. 245-250, 2008.

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, p. 286-300, 2018. DOI: 10.4001/003.026.0286.

MOTA-SANCHEZ, D.; WISE, J. C. **Arthropod pesticide resistance database (APRD)**. 2023. Disponível em: <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=41>.

MOURA, A. P.; CARVALHO, G. A.; RIGITANO, R. L. O. Toxicidade de inseticidas utilizados na cultura do tomateiro a *Trichogramma pretiosum*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 203-210, 2005. DOI: 10.1590/s0100-204x2005000300002.

MOUSTAFA, M. A. M.; FOUAD, E. A.; MOBDY, Y. A.; HAMOW, K. Á.; MIKÓ, Z.; MOLNÁR, B. P.; FÓNAGY, A. Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole and indoxacarb on *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 56, n. 1, p. 115-124, 2021. DOI: 10.1007/s13355-020-00721-7.

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

OLIVEIRA PADOVEZ, F. E.; HIDEO KANNO, R.; ZAIA ZAMBON, G.; OMOTO, C.; SARTORI GUIDOLIN, A. The cost of resistance to Diamide insecticide varies with the host plant in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic**

Entomology, v. 115, p. 2041-2050, 2022. DOI: 10.1093/jee/toac160.

OLIVEIRA, R. C. M.; PASTORI, P. L.; COUTINHO, C. R.; JUVENAL, S. O.; AGUIAR, C. V. S. Natural parasitism of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs on tomato (Solanaceae) in the Northeast Region, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, n. 2, p. 474-475, 2020a. DOI: 10.1590/1519-6984.206676.

OLIVEIRA, R. C. M.; PASTORI, P. L.; BARBOSA, M. G.; PEREIRA, F.F.; MELO, SILVA, J. W.; ANDRÉ, T. P. P. Dispersal of *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879, (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in cabbage, cucumber, and sweet corn. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. 1-11, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020190412.

ONSTAD, D. W.; **Insect Resistance Management: Biology, Economics, and Prediction**. 2^a Edition ed. Wilmington: Elsevier, 2014. DOI: 10.1016/C2011-0-07259-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20110072599>.

PAIVA, A. C. R.; IOST FILHO, F. H.; PARRO, E. A.; BARBOSA, D. P. L.; YAMAMOTO, P. T. Do ready-mix insecticides cause lethal and sublethal effects on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Pupa? **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 3, p. 1227-1233, 2020. DOI: 10.1093/jee/toaa031.

PAIVA, A. C. R.; BELOTI, V. H.; YAMAMOTO, P. T.. Sublethal effects of insecticides used in soybean on the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ecotoxicology**, v. 27, n. 4, p. 448-456, 2018. DOI: 10.1007/s10646-018-1909-5. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-018-1909-5>.

PARRA, J. R. Técnicas de criação de *Anagasta kuhniella*, hospedeiro alternativo para produção de *Trichogramma*. In: **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. Fealq ed. Piracicaba: Fealq, p. 121-150, 1997.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: An overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420-429, 2014. DOI: 10.1590/0103-9016-2014-0167.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 5, 2019. DOI: 10.1093/jisesa/ley112.

PETHYBRIDGE, H. R.; WEIJERMAN, M.; PERRYMAN, H.; AUDZIJONYTE, A.; POROBIC, J.; MCGREGOR, V.; RAPHAEL GIRARDIN, R.; BULMAN, C.; CISNEROS, K.O.; SINERCHIA, M.; HUTTON, T.; MONTES, H. L.; MORI, M.; NOVAGLIO, C.; FAY, G.; GORTON, R. FULTON, E. Calibrating process-based marine ecosystem models: An example case using Atlantis. **Ecological Modelling**, v. 412, p. 108822, 2019. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2019.108822.

PIZZOL, J.; DESNEUX, N.; WAJNBERG, E.; THIÉRY, D. Parasitoid and host egg ages have independent impact on various biological traits in a *Trichogramma* species. **Journal of Pest Science**, v. 85, n. 4, p. 489-496, 2012. DOI:

10.1007/s10340-012-0434-1.

PONCE, F. S.; TOLEDO, C. A. L.; DE OLIVEIRA, M. D.; JÚNIOR, S. S.; DE OLIVEIRA, R. C. Cost and profitability of biological control of *Plutella Xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) using *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in kale and cabbage growth. **SSRN Electronic Journal**, p. 167 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4157421.

PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J. C.; VIANNA, U. R.; ANDRADE, J. S.; GUIMARÃES, E. M.; ESPINDULA, M. C.. Fertility life table of *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma acacioi* on eggs of *Anagasta kuehniella* at different temperatures. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 193-196, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000200014.

PRITCHARD, D. W.; BARRIOS-O'NEILL, D.; BOVY, H.; PATERSON, R.; PRITCHARD, M. D. **frair: Functional response analysis in R. R package version 0.4.**, 2014.

PRITCHARD, D. W.; PATERSON, R. A.; BOVY, H. C.; BARRIOS-O'NEILL, D. frair: an R package for fitting and comparing consumer functional responses. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 1528-1534, 2017. DOI: 10.1111/2041-210X.12784.

QUERINO, R.B.; MENDES, J. V.; COSTA, V. A.; ZUCCHI, R. A. New species, notes and new records of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Brazil. **Zootaxa**, v. 4232, n. 1, p. 137-143, 2017. DOI: 10.11646/zootaxa.4232.1.11.

QUERINO, R.B.; ZUCCHI, R. A. **Guia de identificação de Trichogramma para o Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing** URL <https://www.R-project.org>. Vienna, Austria, 2023.

RAKES, M.; PASINI, R. A.; MORAIS, M. C.; ARAÚJO, M. B.; PAZINI, J. B.; SEIDEL, E. J.; BERNARDI, D.; GRÜTZMACHER, A. D. Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest Management. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111504, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111504.

RASHIDI, F.; NOURI-GANBALANI, G.; IMANI, S.. Sublethal effects of some insecticides on functional response of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) when reared on two lepidopteran hosts. **Journal of economic entomology**, v. 111, n. 3, p. 1104-1111, 2018.

RAY, A.; GADRATAGI, B. G.; BUDHLAKOTI, N.; RANA, D. K.; ADAK, T.; GOVINDHARAJ, G. P. P.; PATIL, N. B.; MAHENDIRAN, A.; RATH, P. C. Functional response of an egg parasitoid, *Trichogramma chilonis* Ishii to sublethal imidacloprid exposure. **Pest Management Science**, v. 79, n. 10, p. 3656-3665, 2023. DOI: 10.1002/ps.7540.

REAY-JONES, F. P. F.; ROCHAT, J.; GOEBEL, R.; TABONE, E. Functional response of *Trichogramma chilonis* to *Galleria mellonella* and *Chilo sacchariphagus* eggs. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 118, n. 3, p. 229-236, 2006. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2006.00380.x.

RICHARDSON, E. B.; TROCZKA, B.J.; GUTBROD, O.; DAVIES, T. G. E.; NAUEN, R. Diamide resistance: 10 years of lessons from lepidopteran pests. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 3, p. 911–928, 2020. DOI: 10.1007/s10340-020-01220-y.

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.

ROGERS, D. Random Search and Insect Population Models Author (s): David Rogers Published by : British Ecological Society Stable URL : <https://www.jstor.org/stable/3474> REFERENCES Linked references are available on JSTOR for this article : You may need to log in to. **Journal of Animal Ecology**, v. 41, n. 2, p. 369-383, 1972.

ROS-DEZ, J. D.; SALDAMANDO-BENJUMEA, C. I. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from central Colombia to two insecticides, methomyl and lambda-cyhalothrin: A study of the genetic basis of resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 5, p. 1698-1705, 2011. DOI: 10.1603/EC11079.

ROSA, A. P. S. A.; BARCELOS, H. T. Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho. In: **Embrapa Clima Temperado. Documentos,344**. 1ª Edição ed. Pelotas, RS: Embrapa, p. 30., 2012.

ROSS, D. C.; BROWN, T. M. Inhibition of Larval Growth in *Spodoptera frugiperda* by Sublethal Dietary Concentrations of Insecticides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 30, n. 1, p. 193-196, 1982. DOI: 10.1021/jf00109a045.

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.

SILVA, D. M.; BUENO, A. F.; ANDRADE, K.; STECCA, C. S.; NEVES, P. M. O. J.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 18-31, 2017. DOI: 10.1590/1678-992x-2015-0160.

SILVA, L. B.; MAGGIONI, K.; FERREIRA, R. H.; SILVA, A. F.; PAVAN, B. E.; LOPES, G. N. Survival and nutritional indexes of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) maintained in *Bt maize* for five generations. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 2, p. 1-8, 2019. DOI: 10.5039/agraria.v14i2a5629.

SIMON, J. Yu; YU, Simon J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.] : CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b18164.

SPARKS, T. C.; NAUEN, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 121, p. 122-128, 2015. DOI: 10.1016/j.pestbp.2014.11.014.

STARK, J. D.; BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual review of entomology**, v. 48, n. 1, p. 505-519, 2003. DOI: 10.1146/annurev.ento.48.091801.112621.

STEIN, C. P.; PARRA, J. R. P.. Uso da radiação para inviabilizar os ovos de *Anagasta kuehniella* visando estudos com *Trichogramma* sp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 6, n. 1, p. 229-231, 1987.

TABASHNIK, B. E. Resistance risk assessment: realized heritability of resistance to *Bacillus thuringiensis* in *Diamondback moth* (Lepidoptera: Plutellidae), *Tobacco budworm* (Lepidoptera: Noctuidae), and *Colorado potato Beetle* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 85, n. 5, p. 1551-1559, 1992.

TAY, W. T.; MEAGHER, R. L.; CZEPAK, C.; GROOT, A. T. *Spodoptera frugiperda*: Ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 299-317, 2023. DOI: 10.1146/annurev-ento-120220-102548.

THIRAWUT, S.; SUTJARITTHAMMAJARIYANGKUN, W.; RUKKASIKORN, A.; PUNYAWATTOE, P.; NOONART, U.; KOBORI, Y.. Pesticide susceptibility monitoring of fall armyworms (*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)): a simple methodology for information-sharing among Southeast Asian countries. **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2023. DOI: 10.1186/s43170-023-00160-8.

THOMAZONI, D.. **Efeito da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cyhalothrin na interação com o milho geneticamente modificado (MON810) e na resposta imunológica ao parasitismo por *Campoletis* af.** 2012. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. DOI: 10.11606/T.11.2012.tde-04072012-111034.

VOJOU DI, S.; SABER, M.; GHAREKHANI, G.; ESFANDIARI, E.. Toxicity and sublethal effects of hexaflumuron and indoxacarb on the biological and biochemical parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Iran. **Crop Protection**, v. 91, p. 100-107, 2017. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.09.020.

VRYZAS, Z. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 4, p. 5-9, 2018. DOI: 10.1016/j.coesh.2018.03.001.

WANG, W.; HE, P.; ZHANG, Y.; LIU, T.; JING, X.; ZHANG, S. The population growth of *Spodoptera frugiperda* on six cash crop species and implications for its occurrence

and damage potential in China. **Insects**, v. 11, n. 9, p. 639, 2020., 2020. DOI: 10.3390/insects11090639.

WHALON, M. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; HOLLINGWORTH, R. M. Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In: **Global pesticide resistance in arthropods**. Wallingford UK: CABI, p. 5-31, 2008. DOI: 10.1079/9781845933531.0000.

WU, H. M.; FENG, H. L.; WANG, G. D.; ZHANG, L. L.; ZULU, L.; LIU, Y. H.; ZHENG, Y. Li; RAO, Q. Sublethal Effects of Three Insecticides on Development and Reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1-11, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12061334.

XIAO, H.; YE, X.; XU, H.; MEI, Y.; YANG, Y.; CHEN, X.; YANG, Y.; LIU, T., YU, Y.; YANG, W.; LU, Z.; LI, F. The genetic adaptations of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* facilitated its rapid global dispersal and invasion. **Molecular Ecology Resources**, v. 20, p. 1050-1068, 2020. DOI: 10.1111/1755-0998.13182.

XU, M.; MU, X.; DICK, J. T. A.; FANG, M.; GU, D.; LUO, D.; ZHANG, J.; LUO, J.; HU, Y. Comparative functional responses predict the invasiveness and ecological impacts of alien herbivorous snails. **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, e0147017, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0147017.

YANG, L.; LI, F.; LÜ, X.; XING, B.; PAN, X.; SHI, X.; LI, J.; WU, S. Performance of three Trichogramma species as biocontrol agents on *Spodoptera frugiperda* eggs. **Journal of Applied Entomology**, v. 146, n. 8, p. 1019-1027, 2022.

YU, S. J. Insecticide resistance. **The toxicology and biochemistry of insecticides**, v. 201, p. 230, 2008.

YU, S. J. **The Toxicology and Biochemistry of Insecticides**. [s.l.] : CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b18164.