

SELEÇÃO DE INSETICIDAS PARA O CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) COM BAIXA TOXICIDADE PARA O PREDADOR
Doru luteipes (DERMAPTERA: FORFICULIDAE)

LAÍS VIANA PAES MENDONÇA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2022

SELEÇÃO DE INSETICIDAS PARA O CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) COM BAIXA TOXICIDADE PARA O PREDADOR
Doru luteipes (DERMAPTERA: FORFICULIDAE)

LAÍS VIANA PAES MENDONÇA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal”

Orientador: Gerson Adriano Silva

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

M539

Mendonça, Lais Viana Paes.

SELEÇÃO DE INSETICIDAS PARA O CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA : NOCTUIDAE) COM BAIXA TOXICIDADE PARA O PREDADOR *Doru luteipes* (DERMAPTERA : FORFICULIDAE) / Lais Viana Paes Mendonça. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

59 f. : il.
Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.

Orientador: Gerson Adriano Silva.
Coorientador: Richard Ian Samuels.

1. Seletividade de inseticidas. 2. Manejo Integrado de Pragas. 3. Ecotoxicologia. 4. *Spodoptera frugiperda*. 5. *Doru luteipes*. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

SELEÇÃO DE INSETICIDAS PARA O CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) COM BAIXA TOXICIDADE PARA O PREDADOR
Doru luteipes (DERMAPTERA: FORFICULIDAE)

LAÍS VIANA PAES MENDONÇA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal”

Banca examinadora:



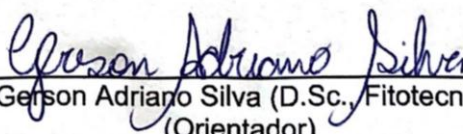
Prof. Dr. Richard Ian Samuels (P.h.D., Entomologia) - UENF



Prof. Dr. Nilson Rodrigues Silva (D.Sc., Entomologia) - UFS



Prof. Dr. Renata Cunha Pereira (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF



Prof. Dr. Gerson Adriano Silva (D.Sc., Fitotecnia) - UENF
(Orientador)

*Aos meus pais Amaro e Eliana e aos
meus avós Gezilda (in memoriam) e
Obiratan,*

dedico.

“O homem é uma parte da natureza e a sua guerra contra a natureza é, inevitavelmente, uma guerra contra si mesmo”.

— Rachel Carson.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me amparado em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais Eliana e Amaro e ao meu avô Obiratan por me inspirarem na vida, por todo suporte, carinho e esforços para que eu chegasse até aqui e ir além.

Agradeço em especial a minha avó Gezilda (*in memoriam*), por ser exemplo de garra, força, determinação e generosidade.

Agradeço a minha madrinha Maria da Conceição por ser meu porto seguro.

Agradeço aos meus tios Eraldo, Wellington, Cláudia e as minhas primas, em especial à Ingrid, pelo carinho, generosidade e por sempre estarem torcendo por mim.

Agradeço aos demais da Família que me ajudaram.

Agradeço a todos os meus amigos queridos, em especial ao João Gabriel, Letícia, Ludimila, Luciana, Mayara, Clarissa, Pedro, Rafael, Vivane, Yasmin, Wanderson e Williams pelos momentos compartilhados, apoio, carinho e amizade.

Agradeço a minha amiga de longa data Mayara pelas conversas, trocas e infinitas playlists de música.

Agradeço ao meu namorado Lucas por todo apoio, bons momentos, carinho, ajuda e por trazer leveza aos meus dias.

Agradeço aos meus amigos do laboratório MIP-UENF por toda ajuda, trocas, bons momentos e apoio. Sentirei saudade dos inúmeros cafés da tarde, aniversários, montagem de experimentos e os mutirões na casa de vegetação: vocês tornaram tudo mais leve.

Agradeço à Renata pelo apoio, amizade e por sempre tornar tudo mais simples e fácil de resolver.

Agradeço ao Professor Gerson por toda orientação, amizade, paciência e ensinamentos durante meu tempo no MIP-UENF e no meu mestrado.

Agradeço ao Professor Richard pelo suporte, ensinamentos e solicitude durante o mestrado.

Agradeço à equipe do laboratório de Patologia de Insetos, em especial à Aline, Thaís e Raymyson, por todo aprendizado, troca e ajuda durante a pesquisa.

Agradeço a todos aqueles que fizeram possível meu trabalho.

Um agradecimento em especial a todos os profissionais da saúde, pesquisadores e funcionários que dedicaram suas vidas durante essa pandemia em prol do próximo.

Agradeço às instituições de fomento CNPq, FAPERJ, CAPES e à UENF pelo financiamento das pesquisas que participei.

Agradeço à UENF pela estrutura e oportunidade de cursar o mestrado.

Agradeço a mim mesma por não ter desistido, mesmo nos momentos mais difíceis até aqui vividos.

Aproveito para homenagear a todos os estudantes de graduação e pós-graduação, no Brasil e no mundo, que executaram suas pesquisas em meio à pandemia e a todos os profissionais que tiveram sua saúde mental afetada: vocês são maiores que isso e não são apenas um título, por trás de todo título e de todo profissional há um ser humano, respeitem seus limites e sejam felizes. Cuidem-se.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Lagarta-do-cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>).....	3
2.2. <i>Doru luteipes</i>	5
2.3. Uso de inseticidas sintéticos e inimigos naturais.....	7
3. OBJETIVOS.....	9
3.1. Objetivo geral.....	9
3.2. Objetivos específicos.....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4.1. Obtenção dos insetos.....	10
4.2. Inseticidas.....	11
4.3. Bioensaios de toxicidade.....	13
4.3.1. Eficiência de inseticidas para o controle de <i>Spodoptera frugiperda</i>	13
4.3.2. Probabilidade de Falha de Controle (PFC).....	13
4.3.3. Seletividade de inseticidas por contato ao predador <i>Doru luteipes</i>	14
4.3.4. Seletividade de inseticidas a <i>Doru luteipes</i> por ingestão de presas tratadas.....	14

4.3.5	Teste com escolha.....	14
4.3.6	Teste sem escolha.....	15
4.3.7	Seletividade da mistura de inseticidas a <i>Doru luteipes</i> por contato.....	15
4.3.8	Classificação dos inseticidas quanto a seletividade.....	16
4.4	Análises Estatísticas.....	16
5.	RESULTADOS.....	17
5.1	Efeito letal de inseticidas sobre <i>Spodoptera frugiperda</i>	17
5.1.1	Probabilidade de Falha de Controle.....	17
5.2	Seletividade de inseticidas a <i>Doru luteipes</i> via contato.....	20
5.3	Seletividade de inseticidas a <i>Doru luteipes</i> via ingestão de presas contaminadas.....	22
5.3.1	Seletividade via ingestão sem escolha.....	22
5.3.2	Seletividade via ingestão com escolha.....	22
5.4	Efeito da mistura de inseticidas sobre <i>Doru luteipes</i>	26
6.	DISCUSSÃO.....	27
6.1	Letalidade e Probabilidade de Falha de Controle dos inseticidas testados sobre <i>Spodoptera frugiperda</i>	27
6.2	Seletividade dos inseticidas testados a <i>Doru luteipes</i>	28
6.2.1	Seletividade dos inseticidas (via contato) testados a <i>Doru luteipes</i>	28
6.2.2	Seletividade dos inseticidas (via ingestão) testados a <i>Doru luteipes</i>	29
7.	CONCLUSÃO.....	32
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

RESUMO

MENDONÇA, Laís Viana Paes, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Fevereiro de 2022. Seleção de inseticidas para o controle de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) com baixa toxicidade para o predador *Doru luteipes* (Dermaptera: Forficulidae). Orientador: D.Sc. Gerson Adriano Silva.

O uso incorreto de inseticidas para o controle de *Spodoptera frugiperda* pode ocasionar distúrbios biológicos e ecológicos, como a seleção de indivíduos resistentes, contaminação e morte de organismos não-alvo. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a seletividade de seis inseticidas sobre adultos de *D. luteipes*, assim como o efeito letal e a Probabilidade de Falha de Controle (PFC) desses inseticidas sobre as larvas de *S. frugiperda*. Para isso, bioensaios de exposição aos inseticidas por contato foram montados para *S. frugiperda*, e para *D. luteipes*, por contato e ingestão (com e sem escolha). Os tratamentos consistiram das doses registradas dos inseticidas para o controle de *S. frugiperda* na cultura do milho, diluídos em água destilada + 0,03% (v/v) de Adesil. O controle foi composto por água destilada e o espalhante adesivo. A avaliação da mortalidade de *D. luteipes* (contato e ingestão) e de *S. frugiperda* (contato) foi feita após 24 e 48 horas e o consumo de presas 24 horas após a montagem dos testes no bioensaio de ingestão. A PFC dos inseticidas foi calculada a partir da mortalidade de *S. frugiperda*. Espinosade foi o único inseticida eficiente para o controle de *S. frugiperda*, pois causou 100% de mortalidade desta espécie, com PFC negligenciável (-25%), mas não foi seletivo à *D. luteipes*. Os inseticidas clorantropirifos (2,5%), lambda-cialotrina (7,5%) e metomil (40%) foram seletivos à *D. luteipes* por contato, já espinosade ocasionou mortalidade de 72%. Por ingestão (em testes com e sem escolha), o clorpirifós e espinosade foram levemente nocivos a *D. luteipes*, enquanto os outros inseticidas foram seletivos. Metomil foi o único inseticida significativo para o consumo de presas por *D. luteipes*,

pois causou aumento desta variável. A mistura dos inseticidas seletivos lambda-cialotrina, metomil e clorantraniliprole não alterou a seletividade destes inseticidas à *D. luteipes*. Conclui-se que para o controle de *S. frugiperda*, o melhor inseticida a ser usado é espinosade, pois foi o único eficaz contra a praga, e moderadamente nocivo por contato e inócuo por ingestão à *D. luteipes*. Estratégias de seletividade ecológica devem ser utilizadas na aplicação de espinosade nos milharais.

ABSTRACT

MENDONÇA, Laís Viana Paes, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, February, 2022. Selection of insecticides for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) with low toxicity to the predator *Doru luteipes* (Dermaptera: Forficulidae). Advisor: D.Sc. Gerson Adriano Silva.

The incorrect use of insecticides to control *Spodoptera frugiperda* can cause biological and ecological disturbances, such as the selection of resistant individuals, contamination and death of non-target organisms. Thus, this work aimed to evaluate the selectivity of six insecticides on *Doru luteipes* adults, as well as the lethal effect and the Control Failure Likelihood (CFL) of these insecticides on *S. frugiperda* larvae. For this purpose, contact exposure bioassays were set up for *S. frugiperda*, and for *D. luteipes*, by contact and ingestion (with and without choice). The treatments consisted of the registered doses of insecticides for the control of *S. frugiperda* in corn, diluted in distilled water + 0.03% (v/v) of Adesil. The control was composed of distilled water and the adhesive spreader. The evaluation of mortality of *D. luteipes* (contact and ingestion) and of *S. frugiperda* (contact) was done after 24 and 48 hours and prey consumption 24 hours after mounting the tests in the ingestion bioassay. The CFL of the insecticides was calculated from the mortality of *S. frugiperda*. Spinosad was the only efficient insecticide for the control of *S. frugiperda*, as it caused 100% mortality of this species, with negligible CFL (-25%), but was not selective to *D. luteipes*. The insecticides chlorantraniliprole (2.5%), lambda-cyhalothrin (7.5%) and methomyl (40%) were selective to *D. luteipes* by contact, whereas spinosad caused 72% mortality. By ingestion (in tests with and without choice), chlorpyrifos and spinosad

were slightly harmful to *D. luteipes*, while the other insecticides were harmless. Methomyl was the only significant insecticide for prey consumption by *D. luteipes*, as it caused an increase in this variable. The mixture of the selective insecticides lambda-cyhalothrin, methomyl and chlorantraniliprole did not alter the selectivity of these insecticides to *D. luteipes*. It is concluded that for the control of *S. frugiperda*, the best insecticide to be used is spinosad, as it was the only one effective against the pest, and moderately harmful by contact and slightly harmful by ingestion to *D. luteipes*. Ecological selectivity strategies should be used when applying spinosad to cornfields.

1. INTRODUÇÃO

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) é um dos principais insetos-praga da cultura do milho em uma escala mundial (Overton et al., 2021). Neste contexto, *S. frugiperda* é de importância econômica, por se tratar de uma espécie polífaga, de hábito alimentar muito voraz e se alimenta de diferentes tecidos vegetais, com alta adaptação ambiental e ampla distribuição geográfica (Montezano et al., 2019). Essa praga pode causar até 38% de perdas na produtividade do milho (Carvalho, 1970).

A aplicação de inseticidas sintéticos e o uso de milho transgênico expressando proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) são os métodos de controle mais utilizados para reduzir as populações de *S. frugiperda* em milharais (Kaiser et al., 2021). No entanto, o uso indiscriminado de inseticidas sintéticos apresenta desvantagens como o acúmulo de resíduos no meio ambiente e risco à saúde humana (Corrêa e Salgado, 2011). Além disso, podem causar distúrbios biológicos, como a seleção de populações resistentes, que pode ocasionar na falha de controle dos inseticidas (Guedes, 2017; Ribeiro et al., 2017) e distúrbios ecológicos, ao afetar insetos não-alvo pela exposição a superfícies contaminadas ou pela ingestão de alimentos contaminados, como pólen, néctar e presas (Fernandes et al., 2010; He et al., 2012; Feltham et al., 2014; Johnson, 2015; Yao et al., 2015; Müller, 2018).

A escolha dos inseticidas a serem aplicados nos milharais deve ser criteriosa em função dos efeitos que estes podem causar nos inimigos naturais. O uso de inseticidas seletivos é uma forma de reduzir a população da praga-alvo sem afetar os

organismos não-alvo, como os inimigos naturais, polinizadores e detritívoros. Um inseticida é considerado seletivo quando apresenta alta toxicidade a praga e baixa toxicidade aos inimigos naturais, o que consiste na seletividade fisiológica. A seletividade ecológica consiste em reduzir a exposição dos inimigos naturais a inseticidas e isso pode ser alcançado por meio de estratégias de MIP (Ripper et al., 1951; Torres e Bueno, 2018).

Pesquisas recentes têm mostrado os efeitos de inseticidas de amplo espectro e seletivos sobre inimigos naturais como *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus, 1763) (Pedroso et al., 2012), *Trichogramma pretiosum* (Riley, 1879) (de Paiva et al., 2018; dos Santos et al., 2020) e *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Campos et al., 2011; Redoan, 2015; Zotti et al., 2020).

A tesourinha *D. luteipes* (Dermaptera: Forficulidae) é um inseto predador muito eficiente no controle de *S. frugiperda*, *Helicoverpa zea* Boddie e outras pragas do milho, como o pulgão do milho *Rhopalosiphum maidis* (Reis et al., 1988; Cruz, 1995; Romero-Sueldo et al., 2014). As tesourinhas dependem de umidade, por isso, as fêmeas colocam os ovos no cartucho do milho, um local úmido e adequado à incubação dos ovos e desenvolvimento das ninfas, que possibilita a ocorrência desse predador o ano todo nos milharais (Butnariu et al., 2013). Tanto os adultos quanto as ninfas de *D. luteipes* são predadores generalistas e vorazes, que consomem desde insetos, ovos de insetos, pólen e fungos (Marucci et al., 2018; da Silva et al., 2021). A dieta diversificada de *D. luteipes* e o fato de utilizar plantas de milho como sítios de alimentação e reprodução aumentam o risco de contaminação por inseticidas nas lavouras (Torres e Bueno, 2018; Pacheco et al., 2021).

Uma das formas de minimizar os riscos de inseticidas a insetos predadores é por meio de pesquisas que verifiquem a seletividade de inseticidas pelas principais vias de exposição (contato tóxico, ingestão e contato residual). Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a seletividade de seis inseticidas sobre adultos de *D. luteipes*, assim como o efeito letal e a Probabilidade de Falha de Controle desses inseticidas sobre larvas de *S. frugiperda*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*)

A lagarta-do-cartucho ou lagarta-militar, como é conhecida popularmente as lagartas da espécie *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), é uma praga polífaga e possui mais de 350 espécies de plantas hospedeiras, dentre espécies cultivadas, ornamentais e daninhas, pertencentes principalmente às famílias botânicas Poaceae, Asteraceae e Fabaceae (Pogue, 2002; Dumas et al., 2015; Montezano et al., 2018). A ocorrência de *S. frugiperda* predomina na América do Norte e na América do Sul (Montezano et al., 2019). Porém, nos últimos anos relatou-se a presença dessa praga em vários países na África, como Nigéria, Gana, Togo, Benin (Cock et al., 2017; Goergen et al., 2016; Nboyine et al., 2020) e na África subsahariana (Nagoshi et al., 2018); na Ásia, como Japão, Coreia do Sul (Wu et al., 2021), Índia (Sharanabasappa et al., 2018), China (Sun et al., 2021); e recentemente na Oceania (Austrália) (Piggott et al., 2021).

Spodoptera frugiperda passa por metamorfose completa (holometábolos), ou seja, possui quatro fases distintas de desenvolvimento: ovo, larva, pupa e adulto (Cruz, 1995). O ciclo completo desta espécie varia conforme a temperatura, em estações de temperaturas altas o ciclo dura em média 30 dias e em estações de temperaturas baixas o ciclo aumenta para 50 dias. As fêmeas ovipositam massas de 50 a 300 ovos cobertos de uma camada fina de escamas, em camadas sobrepostas. Inicialmente, os ovos são de coloração verde-clara, passando a uma coloração

alaranjada (após 12 ou 15 horas) e escurecem quando as larvas estão prestes a eclodir (Cruz, 1995). O período de incubação dos ovos é de 2 a 3 dias, porém o período se prolonga sob temperaturas baixas (Montezano et al., 2019). Após a eclosão, as larvas neonatas de *S. frugiperda* se alimentam da casca dos ovos e entram em repouso de duas a dez horas, antes de saírem à procura de outros alimentos (Cruz, 1995). A fase larval de *S. frugiperda* (12 a 30 dias) passa por seis ínstaes (Cruz, 1995; Murúa et al., 2003; Montezano et al., 2019), mas pode variar conforme a temperatura e alimentação e pode chegar até dez ínstaes larvais (Murúa et al., 2003; Montezano et al., 2019).

Antes de se tornarem pupas, as larvas migram para o solo, onde passam pelo período de pré-pupa (1 a 5 dias). No solo, as larvas constroem uma câmara pupal, onde se transforma em pupa (tipo obtecta) de coloração verde-clara, passando à alaranjada, marrom-avermelhada, e por fim coloração preta próximo à emergência do adulto (Cruz, 1995). A fase pupal varia de 8 a 25 dias (Cruz, 1995; Valicente, 2015). Os adultos possuem hábito noturno, a oviposição ocorre de três a quatro dias após a emergência (Sosa-Gómez et al., 2014). A longevidade dos adultos é de aproximadamente 12 dias. É possível distinguir *S. frugiperda* de outras espécies pelo característico 'Y' invertido na cabeça, quatro pontos pretos no último segmento abdominal e pontos pretos nas laterais (Cruz, 1995).

Spodoptera frugiperda é uma praga-chave da cultura do milho e pode causar danos à cultura desde os estágios iniciais até o período de enchimento de grãos (Cruz, 1995). O ataque dessa praga nos estágios iniciais de desenvolvimento do milho consiste na raspagem das folhas (lagartas de primeiro ínstar) (Toscano et al., 2012). À medida que crescem, essas lagartas migram para o cartucho, do qual passam a se alimentar. Os danos causados por essa praga podem destruir plantas mais novas e ocasionam uma redução média de estande de 36% (Carvalho, 1970; Silva et al., 2012; Valicente, 2015).

O controle de *S. frugiperda* na cultura do milho é feito principalmente com inseticidas sintéticos e o uso de milho transgênico expressando proteínas de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (Kaiser et al., 2021). No Brasil, 252 inseticidas estão registrados para o controle de *S. frugiperda* na cultura do milho, destes, a maioria é de inseticidas sintéticos (MAPA, 2022). No Arthropod Pesticide Resistance Database (2022) estão catalogados 186 casos de resistência de *S. frugiperda* a 43 ingredientes ativos diferentes no mundo. Deste total, 29 casos de resistência desenvolvida no campo são

do Brasil, para nove ingredientes ativos, quatro deles sendo de tecnologia *Bt* e cinco de inseticidas sintéticos (Clorantraniliprole, clorpirifós, lambda-cialotrina, deltametrina e benzoato de emamectina). Como *S. frugiperda* tem desenvolvido resistência às proteínas de *Bt* expressas pelo milho transgênico, o número de aplicações de inseticidas para controle desta praga também tem aumentado. Logo, o uso de inseticidas com diferentes mecanismos de ação se torna necessário para o manejo de populações de *S. frugiperda* resistentes a inseticidas (Kaiser et al., 2021).

No Brasil, há registros de desenvolvimento de resistência de *S. frugiperda* a inseticidas sintéticos tradicionais como piretroides, carbamatos e organofosforados, e a ingredientes ativos mais recentes como espinosinas (Okuma et al., 2018) e diamidas (Bolzan et al., 2019; Richardson et al., 2020). A resistência de *S. frugiperda* a inseticidas se baseia em dois mecanismos: a modificação do alvo do ingrediente ativo na lagarta ou mecanismos que reduzem a quantidade de inseticida a atingir esse alvo, como penetração reduzida, sequestro ou intervenção de enzimas de detoxificação (Hilliou et al., 2021).

A resistência a inseticidas pode resultar no que é chamado de probabilidade de falha de controle de inseticidas, que consiste na frequência de indivíduos resistentes dos quais a resistência a um inseticida se torna um problema econômico, ou seja, quando a sua eficácia é significativamente comprometida (Guedes, 2017). Estimar a probabilidade de falha de controle de um inseticida pode auxiliar na identificação de um problema do uso desse no campo, de forma que ao ser utilizada a concentração recomendada, o controle esperado não é alcançado, logo isso deve ser monitorado (Guedes, 2017). Assim, é de suma importância monitorar a suscetibilidade de populações de *S. frugiperda* a inseticidas, dado que a resistência a inseticidas pode ocasionar perdas econômicas, contaminação ambiental e sobre tudo reduz as opções de produtos a serem utilizados no controle desta praga.

2.2. *Doru luteipes*

A tesourinha, *Doru luteipes* Scudder, 1876 (Dermaptera: Forficulidae), é um dos predadores mais importantes na cultura do milho e possui capacidade voraz de predação de ovos e larvas de *S. frugiperda*, uma das pragas-chave do milho (Reis et al., 1988). *Doru luteipes* é um inseto de metamorfose do tipo hemimetábolo, logo, passa pelas fases de ovo, ninfa e adultos. O seu ciclo de vida completo dura cerca de

210 dias. O período de incubação dos ovos dura em média sete dias. Após a eclosão, essas tesourinhas passam pela fase de ninfa, que dura em média 45 dias, com quatro ínstaes. Os adultos vivem em média 120 dias (Cruz, 2007). As fêmeas podem colocar em torno de 25 ovos por postura e possuem cuidado maternal com a prole (Reis et al., 1988; Butnariu et al., 2013).

Doru luteipes é ativa durante a noite e durante o dia tem preferência por locais úmidos e escuros, por isso as tesourinhas podem ser encontradas escondidas no cartucho do milho, na bainha das folhas de milho e no cartucho de capins presentes no milharal, hábito chamado de tigmotropismo positivo (Lamb e Wellington, 1975; Romero-Sueldo et al., 2010; Naranjo-Guevara et al., 2017). Durante a noite, *D. luteipes* utiliza voláteis de plantas de milho induzidos por herbivoria para encontrar suas presas (Naranjo-Guevara et al., 2017). *Doru luteipes* é um inseto predador onívoro, logo possui uma alimentação diversificada, que vai desde diferentes insetos-praga, como larvas e ovos de *S. frugiperda* e *Helicoverpa armigera*, e pulgões em geral, como *Schizaphis graminum* e *Brevicoryne brassicae*, até o consumo de pólen e fungos (Cruz, 2007; Pasini et al., 2007; Marucci et al., 2019; Silva et al., 2021). Essas características relacionadas à alimentação de *D. luteipes* faz com que este predador seja encontrado durante todo o ciclo do milho, geralmente acompanhando a flutuação de *S. frugiperda* (Reis et al., 1988; Cruz, 1995; Alvarenga et al., 1996; Guevara et al., 2021).

Em milharais no Brasil, a ação de predadores é um dos fatores de mortalidade mais importantes de ovos e larvas de *S. frugiperda* e *D. luteipes* é um dos predadores mais abundantes e vorazes da lagarta-do-cartucho (Varella et al., 2015). Diariamente, as ninfas de *D. luteipes* consomem em torno de 12 lagartas de primeiro ínstar de *S. frugiperda*, enquanto os adultos consomem 21 lagartas (Reis et al., 1988).

No campo, *D. luteipes* é exposta à ação de inseticidas que são pulverizados nas plantas de milho para controle de pragas. Há muitos trabalhos que mostram o efeito deletério dos inseticidas registrados para o controle da lagarta-do-cartucho sobre essas tesourinhas. Reis et al. (1988) observaram que clorpirifós (Lorsban 15 G) não foi seletivo à *D. luteipes* ao testarem a seletividade de inseticidas utilizados no controle de *S. frugiperda*. O mesmo foi observado por Campos et al. (2011) em *D. luteipes*. Clorpirifós é o inseticida mais tóxico à *D. luteipes* (Campos et al., 2011), pertence ao grupo dos organofosforados, inseticidas mais tradicionais e não-seletivos a inimigos naturais (Hohmann, 1993; Filho et al., 2002; Campos et al., 2011).

Entretanto, alguns inseticidas classificados como seletivos a inimigos naturais não foram seletivos à *D. luteipes*, como espinosade, do grupo das espinosinas (Campos et al., 2011; Redoan et al., 2013).

2.3. Uso de inseticidas sintéticos e inimigos naturais

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) é um sistema baseado em decisões, que consiste em integrar vários métodos de controle com a finalidade de manter a população de pragas abaixo do nível de dano econômico (Flint e Bosch, 1981). O MIP integra os seguintes métodos: resistência de plantas, controle cultural, controle biológico, controle químico, controle comportamental e controle genético (Torres e Bueno, 2018). Por ser baseado em princípios ecológicos, há certo cuidado com os inimigos naturais presentes no agroecossistema, pois estes artrópodes são importantes fatores de mortalidade das pragas (Ehler, 2006). O uso de estratégias que visam proteger e conservar os inimigos naturais no agroecossistema é chamado de Controle Biológico Conservativo (CBC) (Shields et al., 2019). Essa prática busca melhorar o *fitness* dos inimigos naturais de forma que eles possam controlar a população de pragas (Shields et al., 2019). Uma das primeiras estratégias de CBC a ser utilizada foi o uso de inseticidas seletivos (Shields et al., 2019).

Quando a aplicação de inseticidas é necessária, deve-se pensar nos critérios de seletividade. A seletividade de um inseticida é alcançada quando o ingrediente ativo é tóxico à praga, mas não ao seu inimigo natural e outros organismos não-alvo, conhecida como seletividade fisiológica, associada à especificidade do inseticida (Croft e Whalon, 1982). Ao aplicar um inseticida de amplo espectro, a seletividade deve ser alcançada por meio da aplicação, ou seja, aplicar em horário de menor exposição do organismo não-alvo ou aplicar em partes da planta em que o inimigo natural não tenha muito acesso. Desta forma, é utilizada a seletividade ecológica, que consiste em evitar a exposição do organismo não-alvo ao inseticida, de forma temporal e/ou espacial, tornando a aplicação seletiva (Torres e Bueno, 2018) (Figura 1).

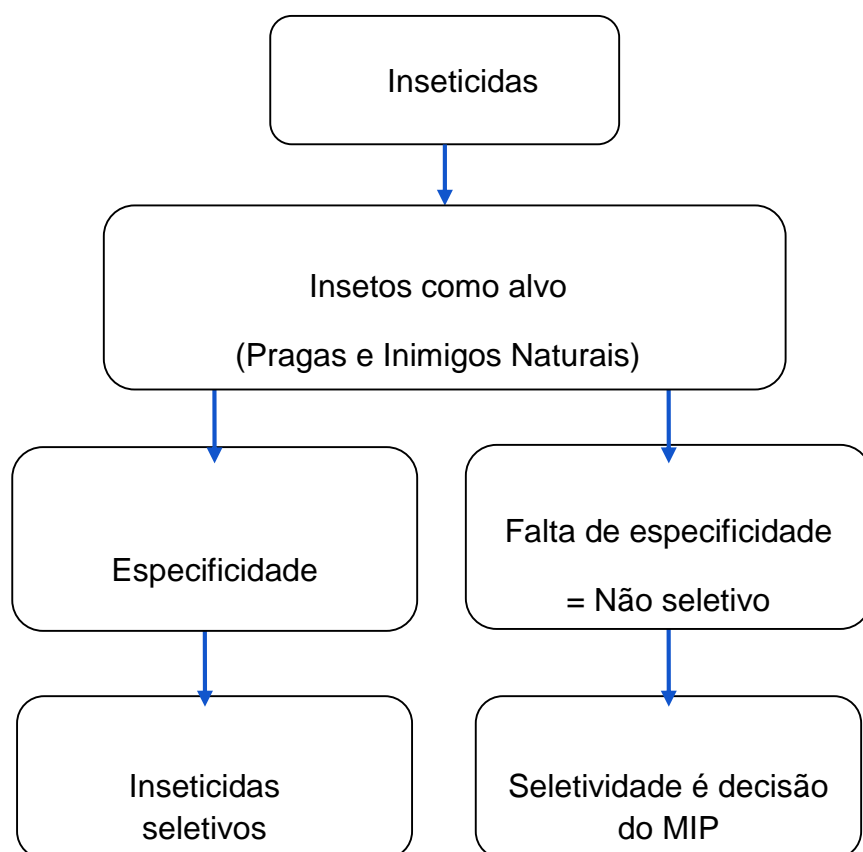


Figura 1. Conceito de seletividade em relação à especificidade do inseticida e da decisão no MIP. Adaptado de Torres e Bueno, 2018.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a seletividade dos inseticidas lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir, clorantraniliprole e espinosade ao predador *D. luteipes*, assim como o efeito letal e Probabilidade de Falha de Controle desses inseticidas sobre larvas de *S. frugiperda*.

3.2. Objetivos específicos

- Verificar o efeito letal por contato dos seis inseticidas sobre *S. frugiperda*.
- Determinar a probabilidade de falha de controle (PFC) dos inseticidas testados sobre *S. frugiperda*.
- Verificar a seletividade por contato dos seis inseticidas sobre *D. luteipes*.
- Verificar a seletividade por ingestão, com e sem escolha, dos seis inseticidas sobre *D. luteipes*.
- Verificar se há seletividade das misturas entre os inseticidas seletivos sobre adultos de *D. luteipes*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Obtenção dos insetos

Os insetos utilizados foram: o inseto-praga *S. frugiperda*, o inimigo natural *D. luteipes* e o pulgão *Dactynotus sonchi* (Linnaeus, 1767) (Homoptera: Aphididae).

As lagartas de *S. frugiperda* e indivíduos de *D. luteipes* foram coletados em lavouras de milho-pipoca na área experimental da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no Colégio Agrícola Estadual Antônio Sarlo (21° 42' 48" S, 41° 20' 38" O). Os inseticidas frequentemente aplicados na área de coleta são: metomil (Lannate® 215 Br, Du Pont do Brasil S.A, São Paulo, Brasil), deltametrina (Decis® 25 EC, Bayer S.A., São Paulo, Brasil) e tiametoxam+lambda-cialotrina (Engeo Pleno® S, Syngenta Proteção de Cultivos Ltda., São Paulo, Brasil). Para *S. frugiperda*, foi estabelecida criação massal em laboratório, de acordo com metodologia adaptada de (Kasten et al., 1978), mantidas em dieta artificial. Após coleta nos milharais, as tesourinhas foram mantidas em laboratório alimentadas com ração para gatos, em câmaras incubadoras do tipo B.O.D (25 ± 1°C, umidade relativa de 60 ± 10% e fotoperíodo de 12 horas) até a montagem dos bioensaios (aproximadamente 5 dias).

Os pulgões foram coletados em plantas de *Artemisia absinthium* L. (Asterales: Asteraceae) em área experimental da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (21° 76' 14" S, 41° 29' 33" O) e mantidos em laboratório em câmaras incubadoras do tipo B.O.D (25 ± 1°C, umidade relativa de 60 ± 10% e fotoperíodo de 12 horas) até a montagem dos bioensaios (aproximadamente 5 dias), alimentados

com ramos frescos de *A. absinthium* L. Alguns pulgões foram mortos por resfriamento (- 6°C por 60 minutos), montados e enviados a taxonomistas para identificação da espécie.

4.2. Inseticidas

Seis inseticidas utilizados para o manejo de *S. frugiperda* em lavouras de milho foram testados em adultos de *D. luteipes* e larvas de *S. frugiperda*. Os inseticidas usados foram: lambda-cialotrina (Karate® Zeon 250 CS, Syngenta Proteção de Cultivos Ltda., São Paulo, Brasil), metomil (Lannate® 215 Br, Du Pont do Brasil S.A, São Paulo, Brasil), clorpirifós (Lorsban® 480 EC, Dow AgroSciences Industrial Ltda., São Paulo, Brasil), clorfenapir (Pirate® 240 SC, BASF S.A, São Paulo, Brasil), clorantraniliprole (Premio® 200 SC, FMC Química Do Brasil Ltda., São Paulo, Brasil) e espinosade (Tracer® 480 SC, Dow AgroSciences Industrial Ltda., São Paulo, Brasil) (Tabela 1).

Tabela 1. Informações sobre os inseticidas utilizados nos bioensaios. Dados retirados das bulas dos respectivos inseticidas

Nome técnico	Grupo químico	Mecanismo de ação	Nome comercial	Dose
Lambda-cialotrina	Piretroides	Moduladores do canal de sódio (3A)	Karate Zeon 250 CS	7,5 g.i.a.ha ⁻¹
Metomil	Metilcarbamato de oxima (carbamatos)	Inibidores da acetilcolinesterase (1A)	Lannate 215 SL	129 g.i.a.ha ⁻¹
Clorpirifós	Organofosforados	Inibidores da acetilcolinesterase (1B)	Lorsban 480 EC	0,5 L.p.c.ha ⁻¹
Clorfenapir	Análogo de Pirazol	Desacopladores da fosforilação oxidativa via disrupção do gradiente de próton (13)	Pirate 240 SC	0,625 L.p.c.ha ⁻¹
Clorantraniliprole	Diamidas antranílicas	Ativadores dos receptores de rianodina (28)	Premio 200 SC	112,5 mL.p.c.ha ⁻¹
Espinosade	Espinosinas	Moduladores alostéricos de receptores nicotínicos da acetilcolina (5)	Tracer 480 SC	68,75 mL.p.c.ha ⁻¹

4.3. Bioensaios de toxicidade

4.3.1. Eficiência de inseticidas para o controle de *Spodoptera frugiperda*

Para verificar os efeitos dos inseticidas sobre as larvas de *S. frugiperda*, folhas de milho-pipoca (não transgênico) foram higienizadas com hipoclorito de sódio (0,5 % v:v), lavadas com água destilada e cortadas em fragmentos retangulares (7 × 5 cm). Os fragmentos foliares foram submergidos nas soluções dos inseticidas + 0,03% (v:v) de espalhante adesivo alquilfenol etoxilado (Adesil® 250, Nufarm Indústria Química e Farmacêutica S/A, Ceará, Brasil) por 30 segundos, deixados para secar à sombra, em temperatura ambiente por 30 minutos e transferidos para placas de Petri (10 cm de diâmetro × 15 mm de altura) quando secos. Os inseticidas testados foram: lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir, clorantraniliprole e espinosade. Para o tratamento controle, os fragmentos foliares foram submergidos por 30 segundos em água destilada + 0,03% (v:v) de espalhante adesivo. Em cada placa foram colocadas dez larvas de 2º ínstar de *S. frugiperda* e as placas foram fechadas com filme de polietileno, seguido da tampa, e armazenadas em câmaras incubadoras (25 ± 1,0 °C, umidade relativa de 60 ± 10% e fotoperíodo de 12 horas).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (inseticidas), um controle e cinco repetições cada. A mortalidade foi avaliada 24h e 48h após a montagem dos bioensaios. Com o uso de um pincel era verificado se o inseto se movimentava, caso contrário, era considerado morto.

4.3.2. Probabilidade de Falha de Controle (PFC)

Com os dados de mortalidade foi calculada a probabilidade de falha de controle (PFC) segundo Guedes (2017), por meio da equação abaixo:

$$PFC = 100 - \frac{[mortalidade\ observada\ (\%) \times 100]}{mortalidade\ esperada\ (\%)}$$

A mortalidade esperada é de 80% (padrão mínimo de eficácia de inseticida para registro no Ministério de Agricultura Agropecuária e Abastecimento-MAPA). A PFC pode assumir os seguintes valores: PFC < 0, risco negligenciável de falha de controle; PFC = 0, mortalidade alcançada igual à mortalidade esperada e PFC > 0 risco de falha de controle proporcional ao valor obtido (Guedes, 2017).

4.3.3. Seletividade de inseticidas por contato ao predador *Doru luteipes*

Para verificar a seletividade de inseticidas a tesourinha *D. luteipes*, foi utilizada a metodologia descrita conforme o tópico 4.3.1. Os fragmentos foliares, tratados com os inseticidas e com a solução controle, foram transferidos para potes plásticos (200 mL). Em cada pote foram colocados dez adultos de *D. luteipes* e um chumaço de algodão umedecido com água destilada em cada placa, para servir de fonte de água e para manter a umidade. Os potes foram armazenados em câmaras incubadoras ($25 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (inseticidas), um controle e quatro repetições cada. A mortalidade foi avaliada 24h e 48h após a montagem do bioensaio conforme descrito no tópico 4.3.1.

4.3.4. Seletividade de inseticidas a *Doru luteipes* por ingestão de presas tratadas

Para os bioensaios com e sem escolha por presas tratadas, foi utilizado o pulgão da espécie *D. sonchi*, pois não foi possível obter a quantidade necessária do pulgão do milho *R. maidis* para o experimento.

Os pulgões adultos foram mortos por resfriamento ($- 6^{\circ}\text{C}$ por 60 minutos) e submergidos nas soluções dos inseticidas de lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir, clorantraniliprole e espinosade e na solução controle, composta de água destilada + 0,03% (v:v) de espalhante adesivo. Os pulgões contaminados foram postos para secar à sombra por 30 minutos em folhas de papel filtro. Após secos, os pulgões foram pesados em balança analítica em um recipiente de 2 ml de volume (tampa de eppendorf). A quantidade de pulgões a ser ofertada para as tesourinhas foi calculada com base em 80% do peso médio corporal de um adulto de *D. luteipes*.

4.3.5 Teste com escolha

Em cada placa foram colocados dois recipientes: um com pulgões contaminados com um dos inseticidas e outro com pulgões não tratados (controle). Em cada placa foi liberada uma tesourinha adulta, previamente deixada em inanição por 24 horas. Desta forma, as tesourinhas puderam escolher entre alimento

contaminado ou não. Em cada placa foi colocado 28 mg de pulgões: 14 mg correspondente a pulgões não tratados (controle) e 14 mg correspondente aos tratamentos inseticidas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (inseticidas), com 15 repetições cada. O consumo e a mortalidade das tesourinhas foram avaliados 24h e 48h após a montagem do bioensaio. Para isso, o alimento foi pesado nos dois dias de avaliações para calcular o quanto foi consumido pelas tesourinhas, com base na diferença do peso inicial e final dos pulgões.

4.3.6 Teste sem escolha

Em cada placa foi liberada uma tesourinha adulta e 14 mg de pulgões tratados com os inseticidas para os tratamentos e pulgões não tratados para o controle. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (soluções de inseticidas) e um controle, com 15 repetições. O consumo de alimento e a mortalidade das tesourinhas foram avaliados 24h e 48h após a montagem do bioensaio. Para isso, o alimento foi pesado nos dois dias de avaliações para calcular o quanto foi consumido pelas tesourinhas, com base na diferença do peso inicial e peso final dos pulgões.

4.3.7 Seletividade da mistura de inseticidas a *Doru luteipes* por contato

Com os inseticidas que foram seletivos a *D. luteipes*, nos bioensaios anteriores, foi feito um bioensaio com as possíveis misturas entre estes, com o intuito de verificar se em mistura estes inseticidas permaneceriam seletivos ao inimigo natural.

Folhas de milho-pipoca (não transgênico) foram higienizadas com hipoclorito de sódio (0,5% v:v), lavadas com água destilada e cortadas em fragmentos retangulares (7 × 5 cm). Os fragmentos foliares foram submergidos nas soluções (inseticidas diluídos em 100 mL de água destilada + 0,03% (v:v) espalhante adesivo) das misturas de inseticidas por 30 segundos, sendo testadas quatro combinações de misturas entre os inseticidas: lambda-cialotrina (1,5 µL), metomil (2 µL) e clorantraniliprole (0,8 µL). Os tratamentos foram: (M1) Metomil + Clorantraniliprole + Lambda-cialotrina; (M2) Metomil + Clorantraniliprole; (M3) Clorantraniliprole + Lambda-cialotrina; e (M4) Metomil + Lambda-cialotrina. Para o tratamento controle, os

fragmentos foliares foram submergidos em água destilada + 0,03% (v:v) de espalhante adesivo por 30 segundos. Os fragmentos foram postos para secar à sombra, em temperatura ambiente por 30 minutos e transferidos para potes de polipropileno (200 mL). Em cada pote foram colocados dez adultos de *D. luteipes*, com chumaço de algodão umedecido para manter a umidade e para fornecimento de água para as tesourinhas, os potes (200 mL) foram tampados e armazenados em câmaras incubadoras ($25 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos (misturas de inseticidas), um controle e com quatro repetições cada. A mortalidade foi avaliada 24h e 48h após a montagem do bioensaio.

4.3.8. Classificação dos inseticidas quanto a seletividade

Os dados de mortalidade dos bioensaios com *D. luteipes* foram classificados de acordo com a International Organisation for Biological Control/West Palaearctic Regional Section (IOBC/WPRS) (Hassan et al., 1985), sendo que:

Classe 1. Inócuo (<25%)

Classe 2. Levemente nocivo (25-50%)

Classe 3. Moderadamente nocivo (51-75%)

Classe 4. Muito nocivo (>75%)

4.4. Análises Estatísticas

Os dados de mortalidade (*S. frugiperda* e *D. luteipes*) e de consumo (*D. luteipes*) foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Com os pressupostos atendidos, foi feita a análise de variância (One Way ANOVA) para esses dados. As médias de mortalidade e consumo no teste sem chance de escolha foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). As médias de consumo com chance de escolha foram comparadas pelo teste t ($P < 0,05$). As análises estatísticas e os gráficos foram realizados no software SigmaPlot® 12.5. (Systat Software Inc., San Jose, California, USA).

5. RESULTADOS

5.1. Efeito letal de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda*

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a taxa de mortalidade de 0 a 24 horas de *S. frugiperda* ($F_{6,28} = 20,396$; $P < 0,001$). Espinosade causou a maior taxa de mortalidade (100%) de *S. frugiperda*. As menores taxas de mortalidade de *S. frugiperda* foram causadas por lambda-cialotrina (30%), clorfenapir (24%), clorantraniliprole (12%) e clorpirifós (12%). Metomil não causou mortalidade nas larvas de *S. frugiperda*, com resultado igual ao controle (0%) (Figura 2A).

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a taxa de mortalidade de 0 a 48 horas de *S. frugiperda* ($F_{6,28} = 18,484$; $P < 0,001$). Espinosade causou a maior taxa de mortalidade (100%) de *S. frugiperda*. Houve acréscimo de mortalidade de *S. frugiperda* para os inseticidas lambda-cialotrina (30 para 46%), clorfenapir (24 para 42%) e clorantraniliprole (12 para 20%), já para os inseticidas clorpirifós (12%) e metomil (0%) não houve acréscimo de mortalidade (Figura 2B).

5.1.1. Probabilidade de Falha de Controle

A PFC dos inseticidas no tempo de 24 e 48 horas variou de -25 a 100%. No tempo de 24 horas os maiores valores de PFC foram para os inseticidas metomil (100%), clorpirifós (85%), clorantraniliprole (85%), clorfenapir (70%), lambda-cialotrina (62,5%) e o menor valor para espinosade (-25%). No tempo de 48 horas os valores

de PFC para os inseticidas metomil, clorpirifós e espinosade não se alteraram (100, 85, -25%), enquanto para os inseticidas clorantraniliprole, lambda-cialotrina e clorfenapir os valores de PFC reduziram para 75%, 42,5% e 47,5%, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Probabilidade de Falha de Controle (PFC) dos seis inseticidas testados

Inseticidas	PFC (24h)	PFC (48h)
Lambda-cialotrina	62.5%	42,5%
Metomil	100%	100%
Clorpirifós	85%	85%
Clorfenapir	70%	47,5%
Clorantraniliprole	85%	75%
Espinosade	-25%	-25%

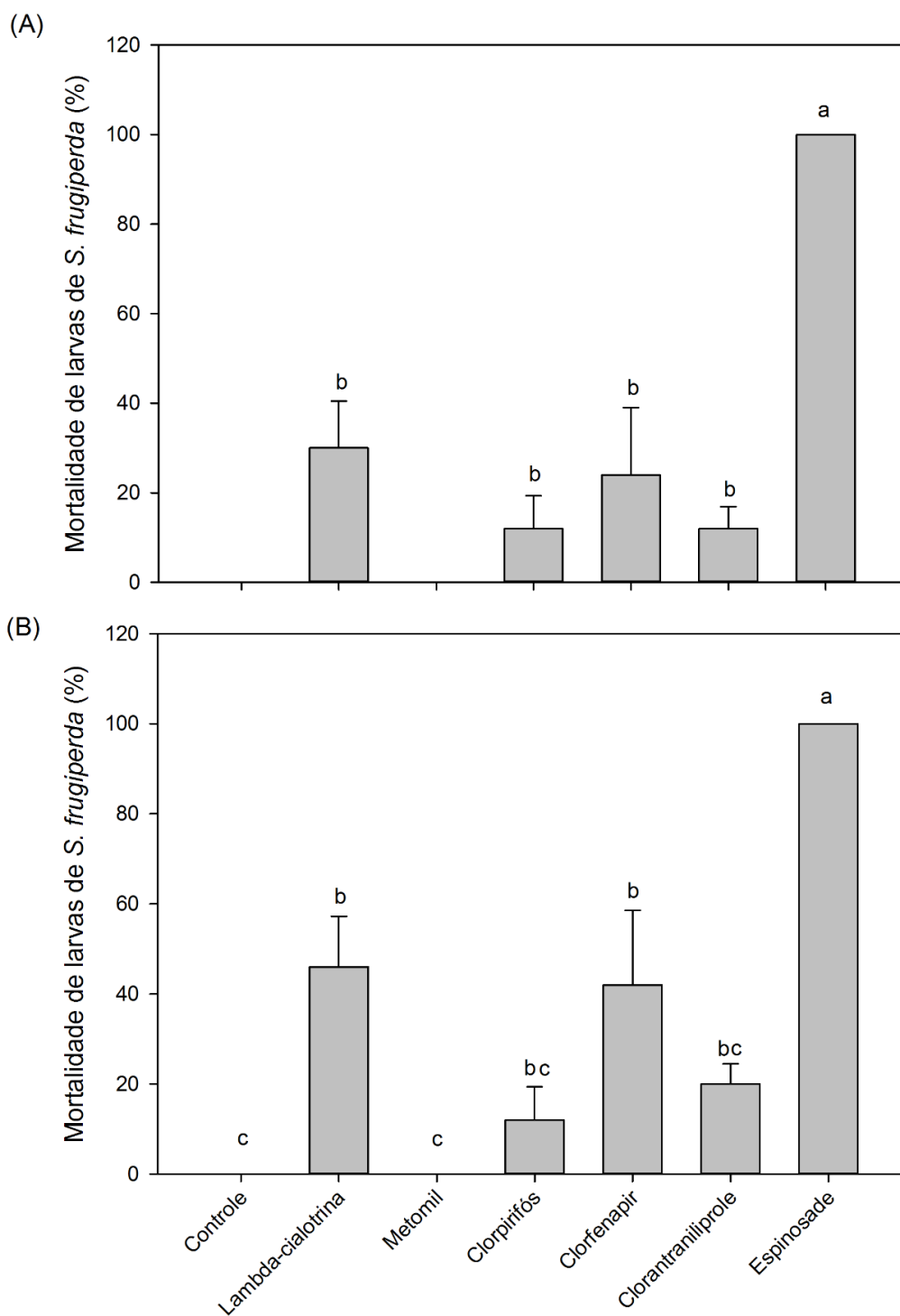


Figura 2. Mortalidade de larvas de *Spodoptera frugiperda* 24 horas (A) e 48 horas (B) após contato com os inseticidas. Médias seguidas por letras diferentes são estaticamente diferentes pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

5.2. Seletividade de inseticidas a *Doru luteipes* via contato

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a taxa de mortalidade (de 0 a 24 horas) de *D. luteipes* ($F_{6,21} = 161,805$; $P < 0,001$). Clorpirifós causou a maior taxa de mortalidade de *D. luteipes* (100%), seguido de clorfenapir (97,5%). As menores taxas de mortalidade foram causadas por metomil (40%), espinosade (12,5%), lambda-cialotrina (7,5%), e clorantraniliprole (0%) que não diferenciou do controle (0%) (Figura 3A).

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a taxa de mortalidade (de 0 a 48 horas) de *D. luteipes* ($F_{6,21} = 50,617$; $P < 0,001$). Clorpirifós (100% mortalidade) e Clorfenapir (100%) causaram as maiores taxas de mortalidade, seguidos de espinosade (72,5%). As menores taxas de mortalidade foram causadas por metomil (45%), lambda-cialotrina (7,5%) e clorantraniliprole (2,5%) (Figura 3B).

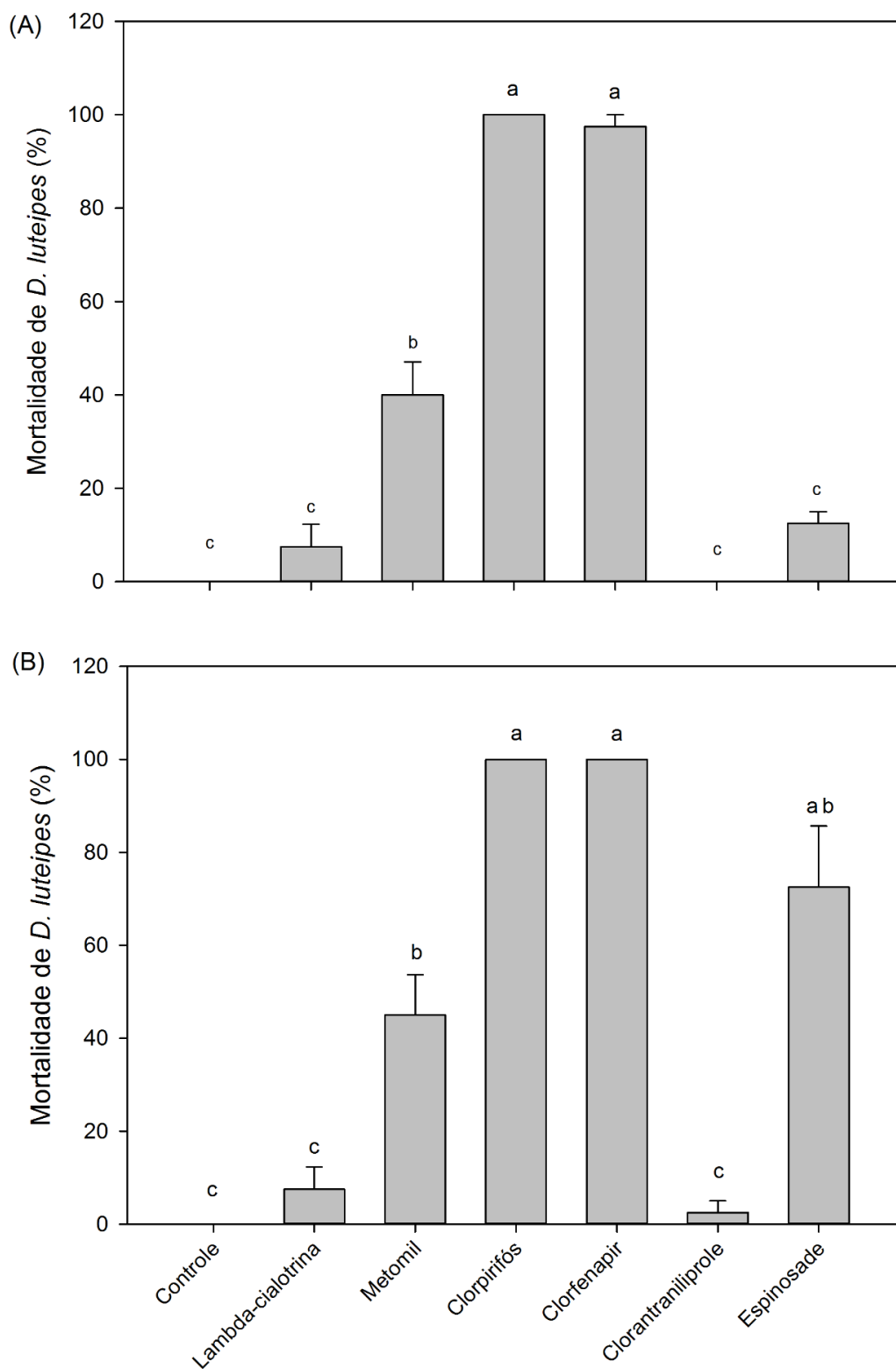


Figura 3. Mortalidade de adultos de *Doru luteipes* 24 horas (A) e 48 horas (B) após contato com os inseticidas lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir, clorantraniliprole e espinosade. Médias seguidas por letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

5.3. Seletividade de inseticidas a *Doru luteipes* via ingestão de presas contaminadas

5.3.1. Seletividade via ingestão sem escolha

O consumo de alimento por adultos de *D. luteipes* não foi afetado pela ingestão dos inseticidas utilizados ($F_{6,28} = 0,619$; $P=0,715$) (Figura 4). No entanto, o consumo de alimento contaminado ocasionou mortalidade de adultos de *D. luteipes*, de forma que houve diferença significativa entre os tratamentos para a mortalidade nos tempos de 24 ($F_{6,98} = 3,772$; $P=0,002$) e 48 horas ($F_{6,98} = 3,889$; $P=0,002$). No tempo de 24 horas, o clorpirifós causou a maior taxa de mortalidade de *D. luteipes* (40%), seguido de espinosade (13,33%). As menores taxas de mortalidade foram causadas por metomil (13,33%) e clorantraniliprole (6,67%). Lambda-cialotrina (0%) e Clorfenapir (0%) não causaram mortalidade nos adultos de *D. luteipes*, resultado igual ao controle (0%) (Figura 5A). Já no tempo de 48 horas houve acréscimo de mortalidade apenas para o inseticida espinosade (26,67%), os demais inseticidas mantiveram a mesma taxa de mortalidade do tempo de 24 horas (Figura 5B).

5.3.2. Seletividade via ingestão com escolha

O inseticida metomil foi o único inseticida que afetou o consumo de alimento por adultos de *D. luteipes* ($F_{1,28} = 8,129$; $P=0,008$). O consumo de alimento contaminado por metomil foi maior em relação ao consumo de alimento não contaminado (controle). Já o consumo de alimento contaminado pelos inseticidas lambda-cialotrina ($F_{1,28} = 0,310$; $P=0,582$), clorpirifós ($F_{1,28} = 0,929$; $P=0,343$), clorfenapir ($F_{1,28} = 3,974$; $P=0,056$), clorantraniliprole ($F_{1,28} = 0,448$; $P=0,509$) e espinosade ($F_{1,28} = 4,071$; $P=0,053$) não diferiram do consumo de tratamento controle (Figura 6).

Diferentemente do teste sem escolha, o consumo de alimento contaminado pelos inseticidas não ocasionou mortalidade significativa de adultos de *D. luteipes* nos tempos de 24 ($F_{5,84} = 2,154$; $P=0,067$) e 48 horas ($F_{5,84} = 1,470$; $P=0,208$). Neste bioensaio a maior mortalidade ocorreu quando as tesourinhas se alimentaram de alimentos contaminados pelo inseticida clorpirifós, porém a mortalidade não diferiu dos demais inseticidas.

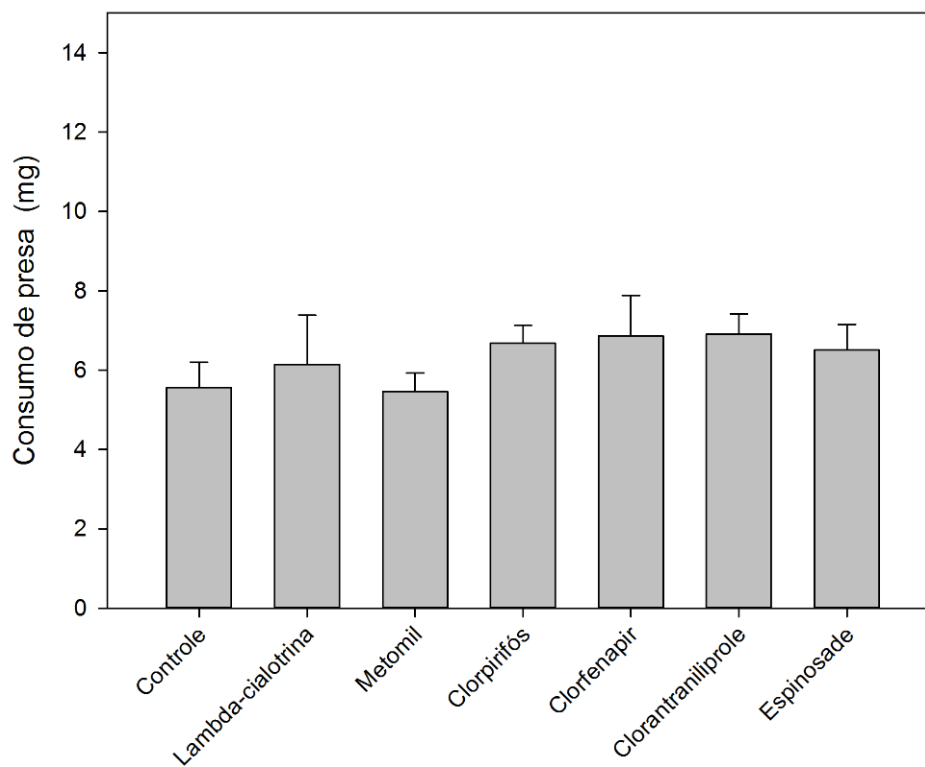


Figura 4. Consumo de *D. sonchi* por *D. luteipes* em bioensaio sem escolha de presas contaminadas com os inseticidas lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir, clorantranilprole e espinosade. Não houve diferença significativa pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

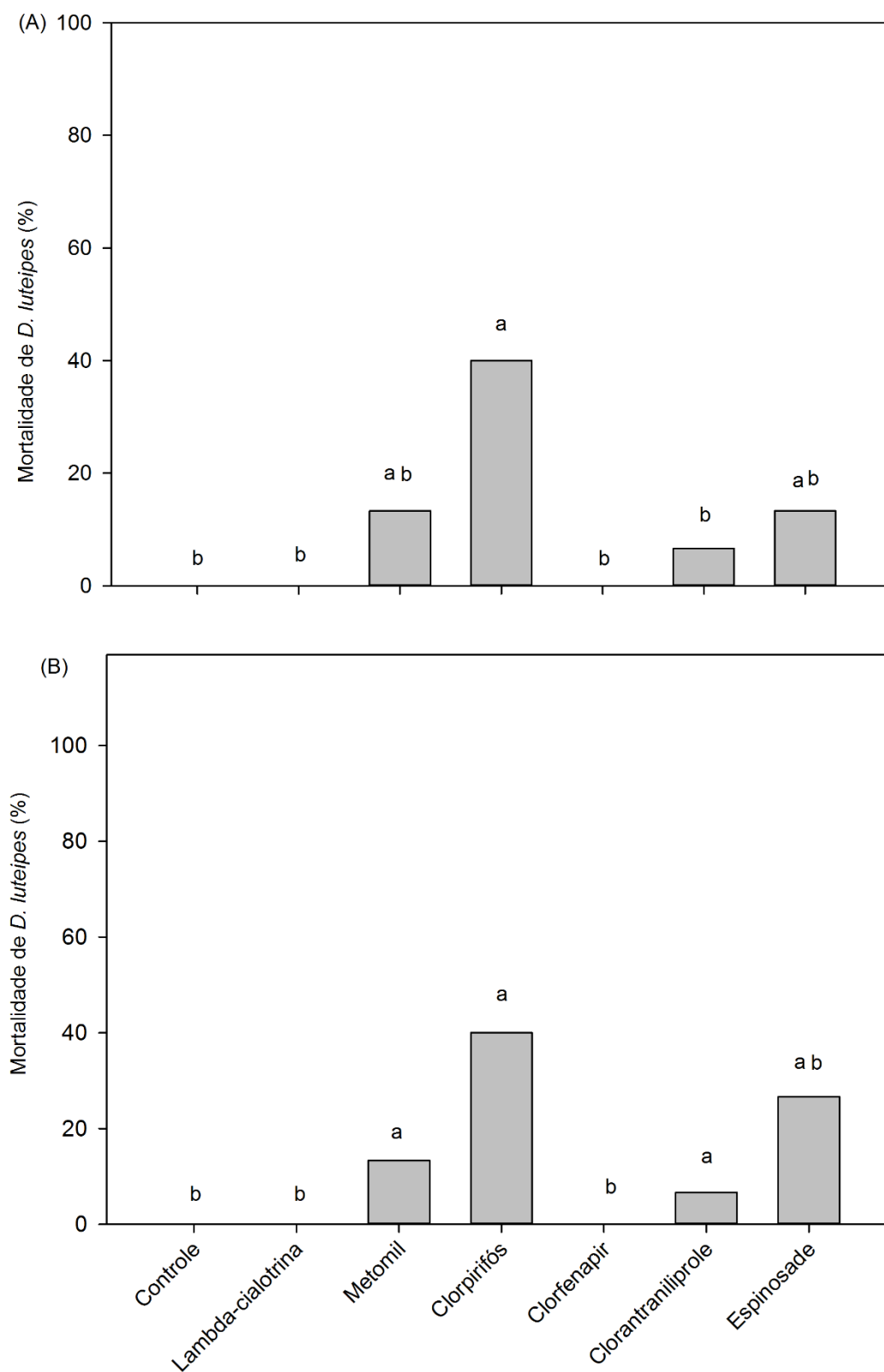


Figura 5. Mortalidade de adultos de *D. luteipes* em bioensaio sem escolha 24 horas (A) e 48 horas (B) após consumo de *D. sonchi* contaminados com os inseticidas lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir, clorantraniliprole e espinosade. Médias seguidas por letras diferentes são estaticamente diferentes pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

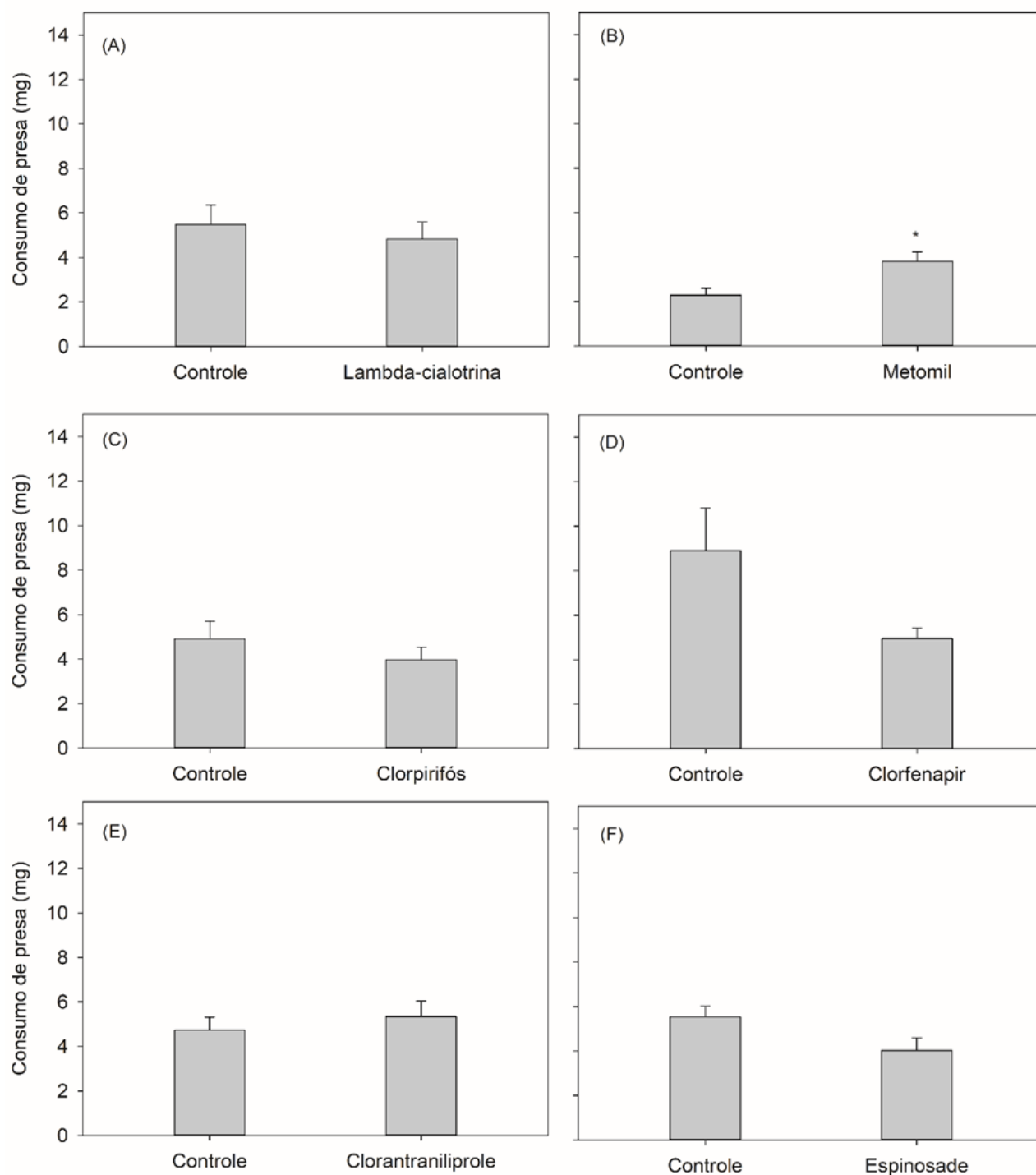


Figura 6. Consumo de *Dactynotus sonchi* por *Doru luteipes* em bioensaio com escolha de presas contaminadas com os inseticidas lambda-cialotrina (A), metomil (B), clorpirifós (C), clorfenapir (D), clorantraniliprole (E) e espinosade (F). * indica diferença significativa com $P < 0,05$.

5.4. Efeito da mistura de inseticidas sobre *Doru luteipes*

Tanto por contato, quanto por ingestão, os inseticidas mais seletivos, separadamente, a *D. luteipes* (de 0 a 48 horas) foram metomil, lambda-cialotrina e clorantraniliprole. Quando foi testada a combinação destes inseticidas em misturas, não houve aumento de mortalidade de adultos de *D. luteipes* (24 horas: $F_{4,15} = 1,050$; $P=0,415$ e 48 horas: $F_{4,15} = 1,214$; $P=0,346$). No tempo de 24 e 48 horas as misturas dos inseticidas metomil + lambda-cialotrina, metomil + clorantraniliprole, lambda-cialotrina + clorantraniliprole e lambda-cialotrina + metomil + clorantraniliprole ocasionaram mortalidade abaixo de 10%, demonstrando que estes inseticidas são compatíveis e que a utilização desses em mistura para o controle de *S. frugiperda* em lavouras de milho não acarreta em perda de seletividade ao predador *D. luteipes*.

6. DISCUSSÃO

Experimentalmente, foi demonstrado que espinosade é o único ingrediente ativo eficaz contra *S. frugiperda* na cidade de Campos dos Goytacazes, em relação aos demais inseticidas testados (lambda-cialotrina, clorpirifós, clorfenapir, clorantraniliprole e metomil). Além disso, lambda-cialotrina, metomil e clorantraniliprole foram os inseticidas mais seletivos a *D. luteipes*, tanto por contato quanto por ingestão, e essa seletividade se mantém quando são utilizadas misturas destes inseticidas.

6.1. Letalidade e Probabilidade de Falha de Controle dos inseticidas testados sobre *Spodoptera frugiperda*

Entre os inseticidas testados, lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir e clorantraniliprole por contato apresentaram baixa eficiência sobre *S. frugiperda*. Foi observado que espinosade foi o único inseticida capaz de causar mortalidade larval acima de 80% em *S. frugiperda*, o que resulta em uma probabilidade de falha de controle negligenciável (-25%). Campos et al., (2011) obtiveram o mesmo resultado, com o espinosade sendo o inseticida mais tóxico em bioensaios de contato com *S. frugiperda*. Lambda-cialotrina, clorpirifós, clorfenapir, clorantraniliprole e metomil não foram eficientes, já que *S. frugiperda* apresentou baixa suscetibilidade, com taxas de mortalidade abaixo de 80% (Guedes, 2017) que resultaram em probabilidades de falha de controle altas.

Há casos de resistência de populações de *S. frugiperda* a clorpirifós, lambda-cialotrina, clorantraniliprole e espinosade (Carvalho et al., 2013; Okuma et al., 2018; Bolzan et al., 2019; Gutierrez-Moreno et al., 2019; Garlet et al., 2021; Kaiser et al., 2021; Padovez et al., 2021). Estudos mostraram que *S. frugiperda* desenvolveu resistência a inseticidas como lambda-cialotrina, clorpirifós e espinosade (Garlet et al., 2021), o que corrobora com os resultados de falha de controle observados neste trabalho.

Espinosade é um inseticida proveniente da fermentação aeróbica do actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa* (Yu, 2011) e há falha de controle deste inseticida em populações de *S. frugiperda* em determinados trabalhos (Okuma et al., 2018). No entanto, nós não encontramos falha de controle deste inseticida para o controle de *S. frugiperda* em laboratório. Espinosade não é pulverizado no milharal de origem da população de *S. frugiperda* exposta aos inseticidas no bioensaio. Isso corrobora com o resultado obtido em relação à eficiência de espinosade contra essa espécie, já que essa população de *S. frugiperda* pode não ter começado a desenvolver resistência a este inseticida ainda por não ser exposta a espinosade no campo. Logo, não há pressão de seleção por este ingrediente ativo na população utilizada, o que resultou na alta mortalidade de *S. frugiperda* por espinosade no bioensaio, e consequentemente, uma PFC negativa que é negligenciável.

6.2. Seletividade dos inseticidas testados a *Doru luteipes*

6.2.1. Seletividade dos inseticidas (via contato) testados a *Doru luteipes*

Entre os inseticidas testados, lambda-cialotrina e clorantraniliprole foram os mais seletivos a *D. luteipes*, enquanto clorpirifós e clorfenapir foram os mais tóxicos. Segundo a classificação da IOBC/WPRS (Hassan et al., 1985), os inseticidas lambda-cialotrina e clorantraniliprole foram classificados como inócuos (Classe 1), metomil como levemente nocivo (Classe 2), espinosade como moderadamente nocivo (Classe 3), e clorpirifós e clorfenapir como muito nocivos (Classe 4).

Clorantraniliprole é considerado um inseticida seletivo, pois possui muita afinidade com os receptores de rianodina de lepidópteros (Lahm et al., 2007; 2009).

Clorpirifós pertence ao grupo químico dos organofosforados, que compreende os inseticidas tradicionais de amplo espectro e baixa seletividade a inimigos naturais (Yu, 2011). Clorpirifós tem atividade via contato e via ingestão (Yu, 2011), devido a sua menor massa molar ($350,59 \text{ g.mol}^{-1}$) em relação aos demais inseticidas testados

e natureza lipofílica, o que facilita a penetração na cutícula do inseto (Hornsby et al., 1995; Campos et al., 2009). Clorpirifós teve um efeito inibitório maior na enzima carboxilesterase (CbE) em tesourinhas da espécie *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae), em comparação com inseticidas carbamatos (Malagnoux et al., 2014). Essa enzima tem papel importante na detoxificação de compostos em insetos (Wheelock et al., 2008).

Clorfenapir foi altamente tóxico a alguns insetos benéficos como os parasitoides *Aphelinus gossypii*, *Bracon vulgaris*, *Lysiphlebus testaceipes*, *Telenomus podisi*, *Trichogramma pretiosum* e aos predadores *Chrysoperla externa*, *Eriopis connexa*, *Hippodamia convergens*, *Orius insidiosus*, *Podisus nigrispinus*, *Solenopsis invicta* (Barros et al., 2018). A contaminação de um inseto por um inseticida via contato depende da sua polaridade, coeficiente de partição e taxa de penetração (Yu, 2011).

6.2.2. Seletividade dos inseticidas (via ingestão) testados a *Doru luteipes*

Quanto à mortalidade por ingestão de presa tratada, clorpirifós e espinosade causaram as maiores taxas de mortalidade de *D. luteipes*. Segundo a classificação da IOBC/WPRS, clorpirifós e espinosade foram classificados como levemente nocivos (Classe 2). Desta forma, clorpirifós foi letal tanto via contato quanto via ingestão, o que era esperado, visto o histórico de toxicidade deste inseticida a tesourinhas e a outros inimigos naturais (Thomson e Hoffmann, 2006).

Espinosade ocasionou uma taxa de mortalidade maior via contato (Classe 3), em relação à exposição via ingestão (Classe 2). Espinosade possui ação primária por ingestão, no entanto, o consumo de pulgões tratados no bioensaio pode ter sido insuficiente para causar uma maior mortalidade (Xian-Hui et al., 2008; Maroufpoor et al., 2015). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos classificou espinosade como um inseticida menos nocivo ambiental e toxicologicamente (Cleveland et al., 2002). Espinosade já foi classificado como inócuo (Classe 1) para alguns organismos não-alvo, mas também como moderadamente nocivo (Classe 3) e nocivo (Classe 4) para parasitoides da ordem Hymenoptera (Biondi et al., 2012).

Pulgões tratados com o inseticida metomil apresentaram maior taxa de consumo pelas tesourinhas, em comparação aos pulgões não tratados. Silva et al., ('em publicação') ao determinar a letalidade de inseticidas sobre adultos de *C. sanguinea*, observaram que metomil aumentou o consumo de presas deste inimigo

natural. Apesar de ter aumentado o consumo de *D. luteipes*, metomil não causou mortalidade no bioensaio com escolha. Provavelmente, o consumo de presas contaminadas não foi suficiente para ocasionar mortalidade, uma vez que este inseticida possui ação por contato e ingestão (WHO, 1996).

No bioensaio sem escolha, *D. luteipes* consumiu em média 5,46 mg de pulgões tratados com metomil, o que causou uma taxa de mortalidade de 13,33%. No bioensaio com escolha, o consumo médio de pulgões tratados com metomil foi de 3,80 mg, com 0% de mortalidade, porém este consumo foi maior que o ocorrido no controle. O maior consumo de alimento contaminado pelo inseticida metomil em relação ao controle é um indício que este inseticida possui ação fago-estimulante no predador *D. luteipes*. No entanto, o maior consumo de presas contaminadas não resultou em aumento de mortalidade. Este fato é desejável para o manejo de pragas na cultura do milho, já que aplicações de metomil não ocasionam mortalidade e não alteram a capacidade de predação de *D. luteipes*. Desta forma, há a possibilidade do uso de metomil em mistura com outros inseticidas - também seletivos a *D. luteipes* - para o controle de *S. frugiperda*, já que isoladamente, este ingrediente ativo não causou mortalidade dessa praga.

Ao comparar os resultados dos bioensaios com e sem escolha, foi observado que quando *D. luteipes* não tem opção de escolha quanto à presa, há mortalidade causada pelos inseticidas. Porém, o mesmo não ocorre quando este predador possui chance de escolha. Esse resultado indica que *D. luteipes* pode diferenciar uma presa tratada com inseticida de uma presa não tratada.

As misturas dos inseticidas metomil, lambda-cialotrina e clorantraniliprole foram igualmente seletivas ao predador *D. luteipes* nos tempos de 24 e 48 horas e não houve acréscimo de mortalidade em comparação ao uso destes inseticidas de forma isolada. O inseticida metomil pertence ao grupo dos carbamatos que agem nos insetos inibindo a enzima acetilcolinesterase presente nas sinapses (EFSA, 2015). A lambda-cialotrina é um inseticida do grupo dos piretróides e sua ação tóxica se dá pela inativação dos canais de sódio dos neurônios (Tian et al., 2018). Já o clorantraniliprole é uma diamida que atua como modulador dos receptores de rianodina, com ação destacada em lepidópteros (Casida, 2015). Como visto anteriormente, os três inseticidas apresentam sítios distintos de ação nos insetos, apesar disto não foram observados efeitos na sobrevivência de *D. luteipes* à exposição desses produtos. Os mecanismos de detoxificação utilizados por *D.*

luteipes para metabolização de compostos tóxicos e a insensibilidade dos sítios de ação de inseticidas podem ser responsáveis pela seletividade dos inseticidas e de suas misturas a *D. luteipes*. Enzimas dos grupos das monooxigenases do citocromo P450, esterases e glutatona-s-transferases realizam a neutralização de compostos tóxicos a insetos, através de reações que envolvem hidrólise, oxidação e conjugação dos compostos (Yu, 2011).

Carbamatos e piretroides são inseticidas considerados de amplo espectro de ação e não seletivos a inimigos naturais (Croft, 1990; Picanço et al., 2003; Badji et al., 2004; Cordeiro et al., 2010). Neste trabalho, metomil e lambda-cialotrina foram seletivos a *D. luteipes*, corroborando com resultados obtidos por Campos et al., (2010), que relataram a seletividade destes inseticidas sobre adultos de *D. luteipes* coletados em Viçosa, Minas Gerais. Adicionalmente, os inseticidas pirimicarbe (carbamato), e os piretroides deltametrina e permetrina também foram seletivos à *D. luteipes* (Bacci et al., 2001; Picanço et al., 2003). Por outro lado, a alta toxicidade dos inseticidas carbaril (carbamato) foi relatada a adultos de *D. luteipes* por Picanço et al., (2003). Contudo, a seletividade de carbamatos e piretroides a *D. luteipes* parece ser uma característica intrínseca a cada molécula inseticida e não uma característica geral do grupo.

A seletividade do inseticida clorantraniliprole a adultos de *D. luteipes* corrobora com os resultados publicados em outros trabalhos (Castro et al., 2018; Gontijo et al., 2015; Campos et al., 2011; Lahm et al., 2009; Preetha et al., 2009 e Dinter et al., 2008). Estes autores observaram baixa toxicidade de clorantraniliprole a insetos predadores, parasitoides e ácaros predadores. No entanto, Silva et al., ('em publicação') relataram alta taxa de mortalidade da joaninha *C. sanguinea* após exposição ao clorantraniliprole.

Os inseticidas mais seletivos a *D. luteipes* não foram tóxicos a *S. frugiperda*. As misturas possíveis entre lambda-cialotrina, clorantraniliprole e metomil foram seletivas a *D. luteipes*. Desta forma, bioensaios de toxicidade destas misturas devem ser feitas para *S. frugiperda*, a fim de verificar se são eficazes para o controle da população dessa espécie em Campos dos Goytacazes. Os inseticidas que foram seletivos a *D. luteipes* precisam ser testados quanto aos efeitos subletais que possam causar a esse inimigo natural, pois apesar de não causarem mortalidade alta, podem comprometer o *fitness* desse inseto benéfico e conseqüentemente seu potencial de predação.

7. CONCLUSÃO

A população de *S. frugiperda* de Campos dos Goytacazes apresenta baixa suscetibilidade aos inseticidas lambda-cialotrina, metomil, clorpirifós, clorfenapir e clorantraniliprole e a utilização destes inseticidas em lavouras de milho pode resultar em falhas de controle de *S. frugiperda*. Espinosade foi o único inseticida a ocasionar mortalidade de larvas de *S. frugiperda* acima de 80%, portanto há baixa probabilidade de falha de controle quando espinosade for utilizado para controle de *S. frugiperda*.

Os inseticidas lambda-cialotrina, metomil e clorantraniliprole são seletivos por contato e por ingestão ao predador *D. luteipes*. Já os inseticidas clorpirifós, clorfenapir e espinosade foram seguros ao predador *D. luteipes* apenas via ingestão.

A mistura de inseticidas lambda-cialotrina, metomil e clorantraniliprole não altera a seletividade destes inseticidas ao predador *D. luteipes*. Essas combinações entre os inseticidas metomil, clorantraniliprole e lambda-cialotrina devem ser testadas sobre *S. frugiperda*, a fim de verificar sua eficiência contra essa praga, já que separadamente não surtiram efeito sobre a praga.

É interessante o uso de espinosade para o controle de *S. frugiperda* em lavouras de milho, desde que seja utilizado dentro de estratégias de MIP com foco para a seletividade ecológica, a fim de evitar a exposição do predador *D. luteipes* a este inseticida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, C. D., Vendramin, J., e Cruz, I. (1996). Efeito do predador *Doru luteipes* (Scud.) sobre o crescimento populacional de *Schizaphis graminum* (Rond.) em diferentes genótipos de sorgo. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- APRD – Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. Disponível em: <http://www.pesticideresistance.org>. Acesso em 03 fev, 2022.
- Bacci, L., Picanço, M. C., Gusmão, M. R., Crespo, A. L., e Pereira, E. J. (2001). Seletividade de inseticidas a *Brevicoryne brassicae* (L.) (Homoptera: Aphididae) e ao predador *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Neotropical Entomology*, 30(4), 707-713.
- Badji, C. A., Guedes, R. N. C., Silva, A. A., and Araújo, R. A. (2004). Impact of deltamethrin on arthropods in maize under conventional and no-tillage cultivation. *Crop Protection*, 23(11), 1031–1039. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2004.03.003>
- Barros, E. M., da Silva-Torres, C. S. A., Torres, J. B., and Rolim, G. G. (2018). Short-term toxicity of insecticides residues to key predators and parasitoids for pest management in cotton. *Phytoparasitica*, 46(3), 391-404.
- Biondi, A., Desneux, N., Siscaro, G., e Zappalà, L. (2012). Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents:

- Selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere*, 87(7), 803–812.
- Brown, R. A. (1989). Pesticides and non-target terrestrial invertebrates: an industrial approach. *Pesticides and non-target invertebrates*/editor: Paul C. Jepson.
- Bolzan, A., Padovez, F. E. O., Nascimento, A. R. B., Kaiser, I. S., Lira, E. C., Amaral, F. S. A., Kanno, R. H., Malaquias, J. B., and Omoto, C. (2019). Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. *Pest Management Science*, 75(10), 2682–2689. <https://doi.org/10.1002/PS.5376>
- Butnariu, A. R., Pasini, A., Reis, F. S., and Bessa, E. (2013). Maternal Care by the Earwig *Doru lineare* Eschs. (Dermaptera: Forficulidae). *Journal of Insect Behavior*, 26(5), 667–678.
- Campos, Mateus Ribeiro de (2009). *Selectivity and behavioral response of the predator Doru luteipes to insecticides*. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciência entomológica; Tecnologia entomológica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- Campos. (2011). Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. *Crop Protection*.
- Carvalho, R. A., Omoto, C., Field, L. M., Williamson, M. S., & Bass, C. (2013). Investigating the Molecular Mechanisms of Organophosphate and Pyrethroid Resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. *PLOS ONE*, 8(4), e62268.
- Carvalho, R. P. L. (1970). Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) e susceptibilidade de diferentes genótipos de milho, em condições de campo. *Piracicaba: USP-ESALQ*.
- Casida, J. E. (2015). Golden age of RyR and GABA-R diamide and isoxazoline insecticides: common genesis, serendipity, surprises, selectivity, and safety. *Chemical research in toxicology*, 28(4), 560-566.
- Cleveland, C. B., Mayes, M. A., & Cryer, S. A. (2002). An ecological risk assessment for spinosad use on cotton. *Pest Management Science*, 58(1), 70–84.

- Cock, M. J. W., Beseh, P. K., Buddie, A. G., Cafá, G., & Crozier, J. (2017). Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries. *Scientific Reports* 2017 7:1, 7(1), 1–10.
- Cordeiro, E. M. G., Corrêa, A. S., Venzon, M., and Guedes, R. N. C. (2010). Insecticide survival and behavioral avoidance in the lacewings *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa cubana*. *Chemosphere*, 81(10), 1352–1357.
- Corrêa, J. C. R., e Salgado, H. R. N. (2011). Atividade inseticida das plantas e aplicações: Revisão. In *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* (Vol. 13, Issue 4, pp. 500–506).
- Coutinho Picanço, M., Fialho De Moura, M., Mascarenhas, M., Miranda, M., Moreira Gontijo, L., e Fernandes, F. L. (2003). Seletividade de inseticidas a *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae) e *Cotesia* sp. (Hymenoptera: Braconidae) inimigos naturais de *Ascia monuste orseis* (Godart, 1818) (Lepdoptera: Pieridae). *Ciência Rural*, 33(2), 183–188.
- Croft, B. A. (1990). *Arthropod biological control agents and pesticides*. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1911>
- Croft, B. A., and Whalon, M. E. (1982). Selective toxicity of pyrethroid insecticides to arthropod natural enemies and pests of agricultural crops (1). *Entomophaga*, 27(1), 3–21.
- Cruz. (1995). Biologia de *Doru luteipes* e sua capacidade predatória de ovos de *Helicoverpa zea* (Boddie). *An. Soc. Entomol. Brasil*. <https://doi.org/10.37486/0301-8059.v24i2.1027>
- Cruz, I. (1995). A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. *Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)*.
- Cruz, I., e Oliveira, A. C. (1997). Flutuação populacional do predador *Doru luteipes* Scudder em plantas de milho. *Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Cruz, I. (2007). Controle biológico de pragas na cultura de milho para produção de conservas (Minimilho), por meio de parasitóides e predadores. *Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)*.

- da Silva, D. D., Mendes, S. M., Parreira, D. F., Pacheco, R. C., Marucci, R. C., Cota, L. v., Costa, R. v., and Figueiredo, J. E. F. (2021). Fungivory: a new and complex ecological function of *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Brazilian Journal of Biology*, 82.
- de Castro, A. A., Legaspi, J. C., de Souza Tavares, W., Meagher, R. L., Miller, N., Kanga, L., Haseeb, M., Serrão, J. E., Wilcken, C. F., and Zanuncio, J. C. (2018). Lethal and behavioral effects of synthetic and organic insecticides on *Spodoptera exigua* and its predator *Podisus maculiventris*. *PLOS ONE*, 13(11).
- de Paiva, A. C. R., Beloti, V. H., and Yamamoto, P. T. (2018). Sublethal effects of insecticides used in soybean on the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ecotoxicology*, 27(4), 448–456. *dinter2008*. (n.d.).
- dos Santos, T. P., de Menezes, C. W. G., Batista, C. H., Brito, E. S. G., Tavares, W. de S., and Zanuncio, J. C. (2020). Selectivity of registered pesticides for the corn crop on immature stages of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Ciência e Agrotecnologia*, 43, 20719.
- Dumas, P., Legeai, F., Lemaitre, C., Scaon, E., Orsucci, M., Labadie, K., Gimenez, S., Clamens, A. L., Henri, H., Vavre, F., Aury, J. M., Fournier, P., Kergoat, G. J., and d'Alençon, E. (2015). *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: two host strains or two distinct species? *Genetica*, 143(3), 305–316.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2015). Review of the existing maximum residue levels for methomyl according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. *EFSA Journal*, 13(10), 4277.
- Ehler, L. E. (2006). Perspective Integrated pest management (IPM): definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest Management Science Pest Manag Sci*, 62, 787–789. <https://doi.org/10.1002/ps.1247>
- Feltham, H., Park, K., and Goulson, D. (2014). Field realistic doses of pesticide imidacloprid reduce bumblebee pollen foraging efficiency. *Ecotoxicology*, 23(3), 317–323.
- Fernandes, F. L., Bacci, L., and Fernandes, M. S. (2010). Impact and Selectivity of Insecticides to Predators and Parasitoids. *EntomoBrasilis*, 3(1), 1–10.
- Filho, M. M., della Lucia, T. M. C., Cruz, I., Guedes, R. N. C., and Galvão, J. C. C. (2002). Chlorpyrifos spraying of no-tillage corn during tasselling and its effect on

- damage by *Helicoverpa zea* (Lep., Noctuidae) and on its natural enemies. *Journal of Applied Entomology*, 126(7–8), 422–430.
- Flint, M. L., and van den Bosch, R. (1981). Introduction to Integrated Pest Management. In *Introduction to Integrated Pest Management*. Springer US.
- Garlet, C. G., Gubiani, P. da S., Palharini, R. B., Moreira, R. P., Godoy, D. N., Farias, J. R., and Bernardi, O. (2021). Field-evolved resistance to chlorpyrifos by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Inheritance mode, cross-resistance patterns, and synergism. *Pest Management Science*, 77(12), 5367–5374.
- Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A., and Tamò, M. (2016). First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa. *PLOS ONE*, 11(10), e0165632.
- Gontijo, L. M., Celestino, D., Queiroz, O. S., Guedes, R. N. C., and Picanço, M. C. (2015). Impacts of azadirachtin and chlorantraniliprole on the developmental stages of pirate bug predators (Hemiptera: Anthocoridae) of the tomato pinworm *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Florida Entomologist*, 98(1), 59–64.
- Guedes, R. N. C. (2017). Insecticide resistance, control failure likelihood and the First Law of Geography. *Pest Management Science*, 73(3), 479–484.
- Gutierrez-Moreno, R., Mota-Sanchez, D., Blanco, C. A., Whalon, M. E., Terán-Santofimio, H., Rodriguez-Maciel, J. C., and Difonzo, C. (2019). Field-Evolved Resistance of the Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to Synthetic Insecticides in Puerto Rico and Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 792–802.
- Hassan, S. A., Bigler, F., Blaisinger, P., Bogenschütz, H., Brun, J., Chiverton, P., ... and Van Zon, A. Q. (1985). Standard methods to test the side-effects of pesticides on natural enemies of insects and mites developed by the IOBC/WPRS Working Group 'Pesticides and Beneficial Organisms'. *Eppo Bulletin*, 15(2), 214-255.
- He, Y., Zhao, J., Zheng, Y., Desneux, N., and Wu, K. (2012). Lethal effect of imidacloprid on the coccinellid predator *Serangium japonicum* and sublethal effects on predator voracity and on functional response to the whitefly *Bemisia tabaci*. *Ecotoxicology*, 21(5), 1291–1300.

- Hilliou, F., Chertemps, T., Maïbèche, M., Le Goff, G. (2021). Resistance in the genus *Spodoptera*: Key insect detoxification genes. In *Insects* (Vol. 12, Issue 6). MDPI AG.
- Hohmann, C. L. (1993). Efeito de alguns inseticidas sobre adultos de *Trichogramma pretiosum* Riley. *ANAIS-SOCIEDADE ENTOMOLOGICA DO BRASIL*, 22, 563-563.
- Hornsby, A. G., Wauchope, R. D., and Herner, A. (1995). *Pesticide properties in the environment*. Springer Science & Business Media.
- Johnson, R. M. (2015). Honey bee toxicology. *Annual review of entomology*, 60, 415-434.
- Kaiser, I. S., Kanno, R. H., Bolzan, A., Amaral, F. S. A., Lira, E. C., Guidolin, A. S., and Omoto, C. (2021). Baseline Response, Monitoring, and Cross-Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Sodium Channel Blocker Insecticides in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 114(2), 903–913.
- Kasten, P., Precetti, A. A. C. M., and Parra, J. R. P. (1978). Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) em duas dietas artificiais e substrato natural. *Revista de Agricultura*, 53, 68–78. <http://revistadeagricultura.org.br/index.php/revistadeagricultura/article/viewFile/3948/3741>
- Lahm, G. P., Stevenson, T. M., Selby, T. P., Freudenberger, J. H., Cordova, D., Flexner, L., ... and Benner, E. A. (2007). Rynaxypyr™: a new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potent and selective ryanodine receptor activator. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 17(22), 6274-6279.
- Lahm, G. P., Cordova, D., and Barry, J. D. (2009). New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(12), 4127–4133.
- Lamb, R. J., and Wellington, W. G. (1975). Life history and population characteristics of the European Earwig, *Forficula Auricularia* (Dermaptera: Forficulidae), at Vancouver, British Columbia¹. *The Canadian Entomologist*, 107(8), 819-824.
- Reis, L. L., Oliveira, L. J., e Cruz, I. (1988). Biologia e potencial de *Doru luteipes* no controle de *Spodoptera frugiperda*. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

- L.C. Toscano, G.C. Calado Filho, A.M. Cardoso, W.I. Maruyama, and G.V. Tomquelski. (2012). Impacto de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) e seus inimigos naturais em milho safrinha cultivado em Cassilândia e Chapadão do Sul, MS. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 79(2), 223–231.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2022). Recuperado 3 de fevereiro de 2022, de http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons
- Malagnoux, L., Capowiez, Y., and Rault, M. (2015). Impact of insecticide exposure on the predation activity of the European earwig *Forficula auricularia*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(18), 14116-14126.
- Maroufpoor, M., Aramideh, S., Safaralizadeh, M. H., Pourmirza, A. A., and Ghasemzadeh, S. (2015). Toxicity of spinosad on common green lacewing *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) larvae via ingestion technique under laboratory conditions. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48(5), 412–420.
- Marucci. (2018). Pollen as a component of the diet of *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae). *Brazilian Journal of Biology*.
- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa-Gómez, D. R., Roque-Specht, V. F., Paula-Moraes, S. V. de, Peterson, J. A., and Hunt, T. E. (2019). Developmental Parameters of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Immature Stages Under Controlled and Standardized Conditions. *Journal of Agricultural Science*, 11(8), 76.
- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa-Gómez, D. R., Roque-Specht, V. F., Sousa-Silva, J. C., Paula-Moraes, S. v., Peterson, J. A., and Hunt, T. E. (2018). Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2), 286–300.
- Müller, C. (2018). Impacts of sublethal insecticide exposure on insects — Facts and knowledge gaps. *Basic and Applied Ecology*, 30, 1–10.
- Murúa, M. G., Virla, E. G., y Defagó, V. (2003). Evaluación de cuatro dietas artificiales para la cría de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) destinada a mantener

- poblaciones experimentales de himenópteros parasitoides. In *Bol. San. Veg. Plagas* (Vol. 29).
- Nagoshi, R. N., Goergen, G., Tounou, K. A., Agboka, K., Koffi, D., and Meagher, R. L. (2018). Analysis of strain distribution, migratory potential, and invasion history of fall armyworm populations in northern Sub-Saharan Africa. *Scientific Reports* 2018 8:1, 8(1), 1–10.
- Naranjo-Guevara, N., Peñafior, M. F. G. V., Cabezas-Guerrero, M. F., and Bento, J. M. S. (2017). Nocturnal herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder. *Die Naturwissenschaften*, 104(9–10), 77.
- Naranjo-Guevara, N., Peñafior, M. F. G. V., Silva, D. B., and Bento, J. M. S. (2021). A comparison of the direct and indirect defence abilities of cultivated maize versus perennial and annual teosintes. *Chemoecology*, 31(1), 63–74.
- Nboyine, J. A., Kusi, F., Abudulai, M., Badii, B. K., Zakaria, M., Adu, G. B., Haruna, A., Seidu, A., Osei, V., Alhassan, S., and Yahaya, A. (2020). A new pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in tropical Africa: Its seasonal dynamics and damage in maize fields in northern Ghana. *Crop Protection*, 127, 104960.
- Okuma, D. M., Bernardi, D., Horikoshi, R. J., Bernardi, O., Silva, A. P., and Omoto, C. (2018). Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. *Pest Management Science*, 74(6), 1441–1448.
- Overton, K., Maino, J. L., Day, R., Umina, P. A., Bett, B., Carnovale, D., Ekesi, S., Meagher, R., and Reynolds, O. L. (2021). Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*, 145, 105641.
- Pacheco, R. C., Silva, D. D., Mendes, S. M., Lima, K. P., Figueiredo, J. E. F., & Marucci, R. C. (2023). How omnivory affects the survival and choices of earwig *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae)? *Brazilian Journal of Biology*, 83.
- Padovez, F. E. O., Kanno, R. H., Omoto, C., and Guidolin, A. S. (2021). Fitness costs associated with chlorantraniliprole resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains with different genetic backgrounds. *Pest Management Science*.

- Pasini. (2007). Dieta artificial para criação de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae), predador da lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*.
- Pedroso, E. C., Carvalho, G. A., Leite, M. I. S., Rezende, D. T., e de Moura, A. P. (2012). Seletividade de inseticidas utilizados na cultura algodoeira a ovos e larvas de terceiro instar de *Cycloneda sanguinea*. *Arquivos do Instituto Biológico*, 79, 61-68.
- Piggott, M. P., Tadle, F. P. J., Patel, S., Cardenas Gomez, K., and Thistleton, B. (2021). Corn-strain or rice-strain? Detection of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in northern Australia. *International Journal of Tropical Insect Science* 2021 41:4, 41(4), 2607–2615.
- Pogue, M. (2002). *A world revision of the genus Spodoptera Guenée: (Lepidoptera: Noctuidae)*.
<https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=110657>
- Preetha, G., Stanley, J., Suresh, S., Kuttalam, S., and Samiyappan, R. (2009). Toxicity of selected insecticides to *Trichogramma chilonis*: Assessing their safety in the rice ecosystem. *Phytoparasitica*, 37(3), 209–215.
- Redoan, A. C. M., Carvalho, G. A., Cruz, I., Figueiredo, M. D. L. C., e Silva, R. B. D. (2013). Physiological selectivity of insecticides to adult of *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae). *Revista Ciência Agronômica*, 44, 842-850.
- Redoan, A. C., Carvalho, G. A., Cruz, I., Figueiredo, M. D. L. C., e Da Silva, R. B. (2010). Efeito de inseticidas usados na cultura do milho (*Zea mays* L.) sobre ninfas e adultos de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae) em semicampo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 9(3), 223-235.
- Ribeiro, L. M. S., Siqueira, H. A. A., Wanderley-Teixeira, V., Ferreira, H. N., Silva, W. M., Silva, J. E., and Teixeira, Á. A. C. (2017). Field resistance of Brazilian *Plutella xylostella* to diamides is not metabolism-mediated. *Crop Protection*, 93, 82–88.
- Ricardo Sosa-Gómez, D., Spalding Corrêa-Ferreira, B., Beatriz Hoffmann-Campo, C., Carlos Corso, I., Jacob Oliveira, L., Moscardi, F., Ricardo Panizzi, A., de Freitas Bueno, A., and Hirose Samuel Roggia Autores, E. (2014). *Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja 3ª edição*. www.embrapa.br/soja.

- Richardson, E. B., Troczka, B. J., Gutbrod, O., Davies, T. G. E., and Nauen, R. (2020). Diamide resistance: 10 years of lessons from lepidopteran pests. *Journal of Pest Science* 2020 93:3, 93(3), 911–928.
- Ripper, W. E., Greenslade, R. 1\1, & Hartley, G. S. (n.d.). *Selective Insecticides and Biological Control*.
- Sawicki, R. M. (1987). Definition, detection and documentation of insecticide resistance. *Combating Resistance to Xenobiotics: Biological and Chemical Approaches / Edited by M.G. Ford ... [et al.,]*.
- Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy, C. M., Asokan, R., Swamy, H. M. M., Maruthi, M. S., Pavithra, H. B., Hegbe, K., Navi, S., Prabhu, S. T., and Goergen, G. E. (2018). *First report of the fall armyworm, Spodoptera frugiperda (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India*. <https://biblio1.iita.org/handle/20.500.12478/5181>.
- Shields, M. W., Johnson, A. C., Pandey, S., Cullen, R., González-Chang, M., Wratten, S. D., and Gurr, G. M. (2019). History, current situation and challenges for conservation biological control. *Biological Control*, 131, 25–35.
- Da Silva, R. B., Cruz, I., Figueiredo, M., Pereira, A. G., Redoan, A. C. M., Costa, M. A., e Penteado-Dias, A. M. (2012). Levantamento populacional de parasitoides de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho (*Zea mays* L.) cultivado em sistema convencional. In *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012.
- Sueldo, M. R., Bruzzone, O. A., and Virla, E. G. (2010). Characterization of the earwig, *Doru lineare*, as a predator of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: A functional response study. *Journal of Insect Science*, 10(1).
- Sun, X. Xu, Hu, C. Xing, Jia, H. Ru, Wu, Q. Lin, Shen, X. Jing, Zhao, S. Yuan, Jiang, Y. Ying, and Wu, K. Ming. (2021). Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3), 664–672.

- Thomson, L. J., and Hoffmann, A. A. (2006). Field validation of laboratory-derived IOBC toxicity ratings for natural enemies in commercial vineyards. *Biological Control*, 39(3), 507-515.
- Tian, X., Liu, J., Guo, Z., Hu, B., Kibe, M. D., Wang, S., Wei, Q., and Su, J. (2018). The characteristics of voltage-gated sodium channel and the association with lambda cyhalothrin resistance in *Spodoptera exigua*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(3), 1020-1027.
- Torres, J. B., and Bueno, A. de F. (2018). Conservation biological control using selective insecticides – A valuable tool for IPM. *Biological Control*, 126, 53–64.
- Valicente, F. H. (2015). Manejo Integrado de Pragas na cultura do milho. *Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)*.
- Varella, A. C., Menezes-Netto, A. C., de Souza Alonso, J. D., Caixeta, D. F., Peterson, R. K. D., and Fernandes, O. A. (2015). Mortality Dynamics of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Immatures in Maize. *PLOS ONE*, 10(6), e0130437.
- Wheelock, C. E., Phillips, B. M., Anderson, B. S., Miller, J. L., Miller, M. J., & Hammock, B. D. (2008). Applications of carboxylesterase activity in environmental monitoring and toxicity identification evaluations (TIEs). *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 117-178.
- World Health Organisation (1996) Methomyl — Environmental Health Criteria, vol. 178, World Health Organisation, Geneva, 1996.
- Wu, M. F., Qi, G. J., Chen, H., Ma, J., Liu, J., Jiang, Y. Y., Lee, G. S., Otuka, A., and Hu, G. (2021). Overseas immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), invading Korea and Japan in 2019. *Insect Science*.
- Xian-hui, Y. I. N., Qing-jun, W. U., Xue-feng, L. I., You-jun, Z. H. A. N. G., & Bao-yun, X. U. (2008). Effect of Sublethal Concentrations of Spinosad on the Activities of Detoxifying Enzymes in the Larvae of Diamondback Moth *Plutella xylostella*. *农药学报*, 10(1), 28-34.
- Yao, F. L., Zheng, Y., Zhao, J. W., Desneux, N., He, Y. X., and Weng, Q. Y. (2015). Lethal and sublethal effects of thiamethoxam on the whitefly predator *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae) through different exposure routes.

Chemosphere, 128, 49–55.
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2015.01.010>.

- Yu, S. J. (2011). The toxicology and biochemistry of insecticides. In *The Toxicology and Biochemistry of Insecticides*.
- Zhang, L., Liu, B., Zheng, W., Liu, C., Zhang, D., Zhao, S., Li, Z., Xu, P., Wilson, K., Withers, A., Jones, C. M., Smith, J. A., Chipabika, G., Kachigamba, D. L., Nam, K., d'Alençon, E., Liu, B., Liang, X., Jin, M., ... Xiao, Y. (2020). Genetic structure and insecticide resistance characteristics of fall armyworm populations invading China. *Molecular Ecology Resources*, 20(6), 1682–1696.
- Zotti, M. J., Grützmacher, A. D., Grützmacher, D. D., Castilhos, R. V., and Martins, J. F. S. (2020). Selectivity of Insecticides Used in Corn Crops to Eggs and Nymphs of the Earwing *Doru Lineare* (Eschscholtz, 1822) (Dermaptera: Forficulidae). *Arquivos Do Instituto Biológico*, 77(1), 111–118.