



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

JACKSON DE LIMA ARAÚJO

**EFICÁCIA DE INSETICIDAS CONTRA *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846
(HEMIPTERA: STERNORRHYNCHA: ALEYRODIDAE) E SELETIVIDADE A
Amblyseius largoensis Muma, 1955 (MESOSTIGMATA: PHYTOSEIIDAE)**

FORTALEZA

2025

JACKSON DE LIMA ARAÚJO

EFICÁCIA DE INSETICIDAS CONTRA *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (HEMIPTERA:
STERNORRHYNCHA: ALEYRODIDAE) E SELETIVIDADE A *Amblyseius largoensis*
Muma, 1955 (MESOSTIGMATA: PHYTOSEIIDAE)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Entomologia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. José Wagner da Silva
Melo
Coorientadora: Prof.^a Dra. Érica Costa Calvet

FORTALEZA

2025

JACKSON DE LIMA ARAÚJO

EFICÁCIA DE INSETICIDAS CONTRA *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (HEMIPTERA:
STERNORRHYNCHA: ALEYRODIDAE) E SELETIVIDADE A *Amblyseius largoensis*
Muma, 1955 (MESOSTIGMATA: PHYTOSEIIDAE)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Entomologia Agrícola.

Defesa em 27/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Dr. José Wagner da Silva Melo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Érica Costa Calvet (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará

Dr. Antônio de Almeida Paz Neto
Universidade Federal do Ceará

Dra. Lídia Rafele Almeida da Silva
Universidade do Vale do Taquari

Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão

A Deus.

Aos meus pais, Roboão Perote e Maria
Dominga.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo, pela orientação dedicada, confiança e constante acompanhamento desde a concepção do projeto até a defesa desta tese.

A Profa. Dra. Érica Costa Calvet, pela coorientação e pelas valiosas contribuições científicas ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Aos membros das bancas de qualificação e de defesa — Dra. Lídia Rafaela Almeida da Silva, Dr. Juan Sebastián Dueñas Cáceres, Prof. Dr. Antônio de Almeida Paz Neto e Dr. Douglas Rafael e Silva Barbosa — pelas importantes sugestões, avaliações criteriosas e contribuições que aprimoraram este trabalho em suas diferentes etapas.

Aos membros suplentes, Profa. Dra. Débora Barbosa de Lima e Dr. Adson Ávila de Souza, pela disponibilidade e colaboração acadêmica.

A Universidade Federal do Ceará, por meio do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pelo suporte institucional durante a realização deste doutorado.

A Embrapa Agroindústria Tropical, pelo apoio na condução de parte desta pesquisa, e aos profissionais que contribuíram significativamente: Dr. Luiz Augusto Lopes Serrano (Pesquisador) e Dra. Nívia da Silva Dias-Pini (Pesquisadora) pela orientação e expertise; João José Silva Oliveira (Assistente A – Assistente de Campo) e Francisco Justino de Souza (Técnico A – Técnico Supervisor III) pelo suporte de campo; Alex Queiroz Cysne (Analista Supervisor II), Dr. Carlos Farley Herbster Moura (Pesquisador Supervisor I) e MSc. Maria do Socorro Cavalcante de Souza Mota (Analista) pelo acompanhamento técnico e científico.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, em especial aos doutorandos Lucas de Lima Farias, Maria Dalila Martins Leão e Pedro Vitor Moura Silva, e a Wesley da Silva Moura (zootecnista e estudante de Agronomia), pelo apoio, disponibilidade e valiosa colaboração na condução da etapa experimental; bem como aos colegas do Laboratório de Manejo de Ácaros e Insetos (LAMAI), pela convivência, pelo compartilhamento de experiências e pelo aprendizado ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

A cajucultura, importante segmento da agricultura brasileira, enfrenta desafios fitossanitários que comprometem a produtividade e a qualidade dos frutos, em grande parte devido à limitada disponibilidade de pesticidas registrados e à carência de estratégias de manejos específicos. Torna-se, portanto, fundamental o desenvolvimento e a avaliação de alternativas eficazes para o controle de pragas associadas à cultura. Dentre as principais ameaças destaca-se a mosca-branca-do-cajueiro, *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae), inseto sugador que coloniza a parte aérea das plantas, reduz a área fotossintética, ocasiona perda de vigor dos ramos e queda prematura de folhas, com consequente redução da produção. Dentre os inimigos naturais associados ao cajueiro, o ácaro predador *Amblyseius largoensis* Muma, 1955 (Mesostigmata: Phytoseiidae) desempenha papel relevante na regulação populacional da praga, contribuindo para o manejo integrado. O presente estudo avaliou a eficácia de seis inseticidas neurotóxicos (Abamectina, Acefato, Flupiradifurone, Imidacloprido, Acetamiprido e Tiametoxam) sobre *A. cocois*, considerando tempo de exposição, suscetibilidade por ínstar e determinação das concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀) dos inseticidas que apresentaram maior mortalidade nas avaliações iniciais. Em seguida, avaliou-se a seletividade das CL₉₀ ao predador *A. largoensis*, por meio de análises de sobrevivência, consumo de presas, oviposição, viabilidade de ovos e eficiência de conversão alimentar, sob exposição tópica e residual. Os bioensaios com *A. cocois* revelaram diferenças entre os tratamentos, nos quais Acefato, Flupiradifurone e Tiametoxam causaram mortalidade superior a 80%, enquanto Imidacloprido, Acetamiprido e Abamectina ocasionaram mortalidade igual ou inferior a 63,5% nas primeiras 24 horas. Após 48 horas, todos os tratamentos registraram acréscimo de letalidade e, após 72 horas, mortalidade total ou próxima de 100%. A suscetibilidade foi elevada e uniforme na maioria dos ínstars, exceto no quarto ínstar tratado com Abamectina, que apresentou menor mortalidade e maior variação na resposta. As curvas concentração-resposta indicaram elevada toxicidade de Tiametoxam, Acefato e Flupiradifurone. Em relação à seletividade das CL₉₀ ao *A. largoensis*, o Acefato mostrou-se altamente tóxico em ambas as vias de exposição, comprometendo a permanência do predador no agrossistema. O Tiametoxam, embora não tenha causado elevada mortalidade, promoveu alterações nos parâmetros biológicos avaliados, reduzindo a oviposição, o consumo de presas e a viabilidade dos ovos. Em contraste, o Flupiradifurone apresentou elevada seletividade, não afetando a sobrevivência, reprodução ou eficiência de conversão alimentar, com redução da viabilidade de ovos apenas na exposição residual. Esses resultados indicam compatibilidade de

Flupiradifurone e compatibilidade parcial de Tiametoxam com *A. largoensis*, demonstrando potencial de uso desses produtos em programas de manejo integrado de pragas na cajucultura.

Palavras-chave: mosca-branca; toxicologia; defensivos neurotóxicos; controle químico; manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

Cashew cultivation, an important sector of Brazilian agriculture, faces phytosanitary challenges that compromise productivity and fruit quality, largely due to the limited availability of registered pesticides and the lack of crop-specific management strategies. Therefore, the development and evaluation of effective alternatives for pest control are essential. Among the main threats is the cashew whitefly, *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae), a sap-sucking insect that colonizes the aerial parts of plants, reduces the photosynthetic area, causes loss of branch vigor and premature leaf drop, ultimately decreasing yield. Among the natural enemies associated with cashew, the predatory mite *Amblyseius largoensis* Muma, 1955 (Mesostigmata: Phytoseiidae) plays a relevant role in regulating pest populations, contributing to integrated pest management. This study evaluated the efficacy of six neurotoxic insecticides (Abamectin, Acephate, Flupiradifurone, Imidacloprid, Acetamiprid, and Tiametoxam) against *A. cocois*, considering exposure time, susceptibility by instar, and the determination of lethal concentrations (LC₅₀ and LC₉₀) for the insecticides that showed higher mortality in the initial evaluations. Subsequently, the selectivity of LC₉₀ to the predator *A. largoensis* was assessed through analyses of survival, prey consumption, oviposition, egg viability, and food conversion efficiency under topical and residual exposure. Bioassays with *A. cocois* revealed differences among treatments, in which Acephate, Flupiradifurone, and Tiametoxam caused mortality above 80%, whereas Imidacloprid, Acetamiprid, and Abamectin resulted in mortality equal to or lower than 63.5% within the first 24 hours. After 48 hours, all treatments showed increased lethality, and after 72 hours, mortality reached total or near-total levels. Susceptibility was high and uniform across most instars, except for the fourth instar treated with Abamectin, which showed lower mortality and greater variability in response. Concentration-response curves indicated high toxicity of Tiametoxam, Acephate, and Flupiradifurone. Regarding LC₉₀ selectivity to *A. largoensis*, Acephate was highly toxic under both exposure routes, compromising predator persistence in the agroecosystem. Tiametoxam, although not causing high mortality, altered biological parameters, reducing oviposition, prey consumption, and egg viability. In contrast, Flupiradifurone showed high selectivity, not affecting survival, reproduction, or food conversion efficiency, with reduced egg viability only under residual exposure. These findings indicate compatibility of Flupiradifurone and partial compatibility of Tiametoxam with *A. largoensis*, demonstrating their potential for use in integrated pest management programs in cashew cultivation.

Keywords: whitefly; toxicology; neurotoxic insecticides; chemical control; integrated pest management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estabelecimento da criação de <i>Aleurodicus cocois</i> em casa de vegetação. Coleta de ramos infestados com insetos adultos (A), e infestação de mudas de cajueiros (B).....	23
Figura 2 - Local e unidades de criação de <i>Aleurodicus cocois</i> . Telado com meia lateral branca, correspondente ao local da criação; telado branco, destinado à manutenção de mudas saudáveis para reposição; e telado preto, utilizado para as mudas infestadas destinadas aos bioensaios (A). Vasos contendo as mudas de cajueiro da criação (B)	24
Figura 3 - Mudas de clones de cajueiro (CCP76) com 180 dias após enxertia, contendo 3 a 4 folhas definitivas e infestadas com <i>A. cocois</i> (A) e gaiola de estrutura metálica com as mudas infestadas (B)	25
Figura 4 - Fluxograma do delineamento experimental dos bioensaios de toxicologia em ninfas de <i>Aleurodicus cocois</i>	27
Figura 5 - Criação de <i>Amblyseius largoensis</i> em laboratório. Unidades de criação (A) e colônia de manutenção (B)	43
Figura 6 - Material utilizados na montagem das arenas (A) e unidades experimentais (arenas) em placas de Petri de 9 cm de diâmetro	45

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 - Efeito da interação entre tratamento e instar sobre a proporção de mortalidade corrigida dos diferentes estágios de desenvolvimento de *Aleurodicus cocois*. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p > 0,05$). A sequência dos produtos na legenda, de cima para baixo, correspondem aos diagramas de caixa da esquerda para a direita 31
- Gráfico 2 - Curvas de sobrevivência de *Amblyseius largoensis* (método de Kaplan-Meier) após exposição tópica de Flupiradifurone, Tiametoxam, Acefato ou água destilada (Controle). A curva sinalizada com asterisco (*) (Acefato) indica diferença significativa de acordo com o teste de Log-rank 49
- Gráfico 3 - Tendência do consumo diário de protoninfas de *Tetranychus urticae* ($\pm EP$) por fêmeas adultas de *Amblyseius largoensis* após exposição tópica dos inseticidas Flupiradifurone e Tiametoxam ou Controle (água destilada). Letras distintas indicam diferenças significativas na interação tratamentos vs tempo (teste de Tukey, $p < 0,05$) 50
- Gráfico 4 - Oviposição média diária por fêmea ($\pm EP$) (A), viabilidade do primeiro ovo ($\pm EP$) (B), após exposição tópica a Flupiradifurone, Tiametoxam ou Controle (água destilada). Médias marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey, $p < 0,05$) 51
- Gráfico 5 - Consumo médio de presas (protoninfas de *Tetranychus urticae*) por fêmeas de *Amblyseius largoensis* ($\pm EP$) (A) e eficiência de conversão alimentar para produção de ovos (ECA) (B), após exposição tópica a Flupiradifurone, Tiametoxam ou Controle (água destilada). Médias seguidas por letras distintas ou marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey, $p < 0,05$) 52
- Gráfico 6 - Respostas comportamentais de *Amblyseius largoensis* após exposição tópica a Flupiradifurone, Tiametoxam, Acefato ou controle (água destilada). Proporção de indivíduos responsivos e não responsivos (A) e tempo até o primeiro encontro predador-presa (B). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos 53

Gráfico 7 - Curvas de sobrevivência de <i>Amblyseius largoensis</i> (método de Kaplan-Meier) após exposição residual dos inseticidas Flupiradifurone, Tiametoxam, Acefato ou água destilada (Controle). A curva sinalizada com asterisco (*), indica diferença significativa de acordo com o teste de Log-rank ($\chi^2 = 80,28$; $gl = 3$; $p < 0,001$)	54
Gráfico 8 - Tendência do consumo de protoninfas de <i>Tetranychus urticae</i> ($\pm EP$) por fêmeas adultas de <i>Amblyseius largoensis</i> após exposição residual dos inseticidas Flupiradifurone, Tiametoxam ou Controle (água destilada) (A). Letras distintas indicam diferenças significativas na interação tratamentos vs. tempo (teste de Tukey, $p < 0,05$)	55
Gráfico 9 - Oviposição média diária por fêmea ($\pm EP$) (A) e viabilidade do primeiro ovo ($\pm EP$) (B), após exposição residual dos tratamentos. Médias marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas (teste de Tukey, $p < 0,05$)	56
Gráfico 10 - Consumo médio de presas (A), eficiência de conversão alimentar para produção de ovos (ECA) (B), após exposição residual dos tratamentos. Médias seguidas por letras distintas ou marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas (teste de Tukey, $p < 0,05$).....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação dos inseticidas (ingredientes ativos, grupos químicos e doses) testados para o manejo de <i>Aleurodicus cocois</i>	26
Tabela 2 - Efeito da interação Tratamento vs Tempo na mortalidade corrigida média (%) \pm desvio padrão de <i>Aleurodicus cocois</i>	30
Tabela 3 - Efeito de diferentes concentrações de inseticidas sobre ninfas de <i>Aleurodicus cocois</i> , incluindo CL ₅₀ , CL ₉₀ e coeficiente de regressão	33
Tabela 4 - Características e concentrações dos inseticidas neurotóxicos utilizados nos bioensaios de toxicidade em <i>Amblyseius largoensis</i>	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	CAPÍTULO 1 - EFICIÊNCIA DE INSETICIDAS NO MANEJO DE <i>Aleurodicus cocois</i> Curtis, 1846 (HEMIPTERA: STERNORRHYNCHA: ALEYRODIDAE) EM CULTIVO DE CAJUEIRO (<i>Anacardium occidentale</i>)	20
2.1	Introdução	21
2.2	Material e método	23
2.2.1	<i>Local e condições do experimento</i>	23
2.2.2	<i>Obtenção e criação de <i>Aleurodicus cocois</i></i>	23
2.2.3	<i>Plantas de cajueiro utilizadas nos bioensaios</i>	24
2.2.4	<i>Seleção dos tratamentos</i>	25
2.2.5	<i>Bioensaios de Toxicidade de inseticidas a ninfas de <i>Aleurodicus cocois</i></i>	26
2.2.5.1	<i>Bioensaio de toxicidade com concentrações recomendadas</i>	26
2.2.5.2	<i>Estimativa das doses letais</i>	27
2.2.6	<i>Análises dos dados</i>	28
2.3	Resultados	29
2.3.1	<i>Toxicidade de inseticidas a ninfas de <i>Aleurodicus cocois</i></i>	29
2.3.2	<i>Toxicidade de inseticidas por instar</i>.....	31
2.3.3	<i>Estimativa das doses letais</i>	31
2.4	Discussão	34
3	CAPÍTULO 2 - SELETIVIDADE DE INSETICIDAS NEUROTÓXICOS A <i>Amblyseius largoensis</i> Muma, 1955 (MESOSTIGMATA: PHYTOSEIIDAE)	39
3.1	Introdução	40
3.2	Material e método	42
3.2.1	<i>Local e condições do experimento</i>	42
3.2.2	<i>Obtenção e criação dos ácaros</i>	42
3.2.2.1	<i>Ácaro-Presa: <i>Tetranychus urticae</i></i>	42
3.2.2.2	<i>Ácaro-Predador: <i>Amblyseius largoensis</i></i>	42
3.2.3	<i>Inseticidas neurotóxicos e tratamento controle utilizados</i>	44
3.2.4	<i>Bioensaios de Seletividade</i>	44

3.2.4.1	<i>Bioensaio de toxicidade com exposição tópica</i>	44
3.2.4.2	<i>Bioensaio de toxicidade com exposição residual</i>	46
3.2.5	Bioensaio comportamental de predação e taxa de consumo	47
3.2.6	Análise estatística dos dados	47
3.3	Resultados	49
3.3.1	Bioensaio de toxicidade com Exposição Tópica	49
3.3.1.1	<i>Sobrevivência de Amblyseius largoensis</i>	49
3.3.1.2	<i>Predação de Amblyseius largoensis</i>	49
3.3.1.3	<i>Oviposição e viabilidade dos ovos de Amblyseius largoensis</i>	51
3.3.1.4	<i>Eficiência de conversão alimentar de Amblyseius largoensis</i>	51
3.3.1.5	<i>Comportamento de predação e consumo diário</i>	52
3.3.2	Bioensaios de toxicidade com exposição residual	53
3.3.2.1	<i>Sobrevivência de Amblyseius largoensis</i>	53
3.3.2.2	<i>Predação de Amblyseius largoensis</i>	54
3.3.2.3	<i>Oviposição e viabilidade dos ovos de Amblyseius largoensis</i>	55
3.3.2.4	<i>Eficiência de conversão alimentar de Amblyseius largoensis</i>	56
3.4	Discussão	57
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) constitui uma atividade agrícola de grande relevância global, desempenhando papel estratégico no contexto socioeconômico de mercados em crescimento, especialmente em regiões semiáridas (OLIVEIRA *et al.*, 2020; BRAINER, 2022; REGE; LEE, 2023; FAO, 2024; QUEIROGA *et al.*, 2025). A atividade destaca-se pela elevada geração de empregos, tanto na produção quanto no beneficiamento (SERRANO; PESSOA, 2017; NUNES *et al.*, 2018; SOUSA *et al.*, 2021), além de representar significativa fonte de receita externa por meio da exportação da castanha de caju, commodity alimentar valorizada no mercado internacional (FAO, 2024).

Atualmente, a cultura do cajueiro abrange cerca de sete milhões de hectares em escala global, com destaque para Costa do Marfim, Índia e Vietnã como principais países produtores (BRAINER, 2022; QUEIROGA *et al.*, 2025). O Brasil ocupa a sexta posição em área colhida destinando cerca de 90% da produção (amêndoa beneficiada) ao mercado externo, além de figurar como o terceiro maior importador de castanha de caju *in natura* (BRAINER; VIDAL, 2020; BRAINER, 2022). A produção nacional concentra-se majoritariamente na região Nordeste, responsável por 99,7% da colheita (ALENCAR; ESPINDOLA; CARNEIRO, 2018; BRAINER, 2020; SOUSA *et al.*, 2021), onde a cajucultura exerce papel estratégico na economia local, configurando-se como uma das principais atividades agrícolas da agricultura familiar (SERRANO; PESSOA, 2017; SOUSA *et al.*, 2021; GONÇALVES; CORRÊA; PEREIRA, 2024). Estima-se que, até 2030, a produção global de castanha de caju *in natura* deva atingir patamares ainda mais elevados, em resposta a uma demanda prevista no mercado mundial de amêndoas (FAO, 2024), no entanto, a sustentabilidade da cajucultura enfrenta desafios importantes, especialmente no que se refere ao manejo fitossanitário (OLIVEIRA *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2021).

As perdas de produtividade e a redução na qualidade dos frutos, frequentemente associadas à incidência de insetos-praga, ainda representam obstáculos significativos ao alcance do potencial produtivo (OLIVEIRA *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2021; SOBRINHO; MESQUITA; MOTA, 2022). No Brasil, esse cenário é agravado pela limitada disponibilidade de produtos fitossanitários registrados para a cultura (AGROFIT, 2025), em grande parte devido à baixa oferta de registro pelos fabricantes. Essa limitação levou à inclusão do cajueiro na lista de Culturas com Suporte Fitossanitário Insuficiente (CSFI), conforme classificação do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2023). Essa restrição de produtos registrados

limita a atuação técnica dos profissionais, uma vez que não é possível recomendar defensivos agrícolas que não possuam registro para a cultura (MESQUITA *et al.*, 2024a).

Dessa forma, o manejo fitossanitário do cajueiro apresenta uma lacuna crítica, pois os produtos fitossanitários registrados são escassos e limitados em diversidade de modos de ação, dificultando a implementação de estratégias eficazes, sustentáveis e compatíveis com a preservação ambiental e a resiliência dos sistemas produtivos (MESQUITA *et al.*, 2024a; AGROFIT, 2025). Essa limitação evidencia a necessidade de alternativas de manejo integrado e diversificação de mecanismos de controle.

No sistema AGROFIT (2025), encontram-se registros para apenas dez pragas associadas à cultura, sendo nove de ocorrência em campo e uma relacionada ao armazenamento. Dentre os produtos disponíveis, estão o Spinetoram, utilizado no controle de quatro pragas do cajueiro, incluindo *Anacampsis phytomiella* Busck, 1910 (Lepidoptera: Gelechiidae), e o Flupiradifurone, indicado para o manejo de *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae) (MESQUITA *et al.*, 2024b). Essa limitada disponibilidade contrasta com a ampla diversidade de insetos-praga que acometem a cultura, reforçando a importância de estratégias integradas e sustentáveis de manejo (MESQUITA; SOBRINHO, 2013; SOBRINHO; MESQUITA; MOTA, 2022; MESQUITA *et al.*, 2024a, b).

Nesse contexto, *A. cocois*, conhecida popularmente como “mosca-branca-do-cajueiro”, destaca-se dentre as principais pragas da cajucultura (MOTA; MESQUITA, 2018; SOBRINHO; MESQUITA; MOTA, 2022), devido à elevada ocorrência e ao potencial de causar prejuízos, comprometendo a saúde das plantas e a produtividade dos pomares (MESQUITA; SOBRINHO, 2013; MOURA; PEREIRA; PEREIRA, 2022; QUEIROGA *et al.*, 2025). Esse inseto sugador coloniza preferencialmente a face abaxial das folhas, afetando os processos fisiológicos da planta por meio da extração de fotoassimilados e da redução das trocas gasosas (CABI INTERNATIONAL, 2025). Em decorrência, observam-se desequilíbrios nutricionais, clorose, desfolha precoce e excreção de ‘melada’ (honeydew), substrato que favorece o desenvolvimento de fungos conhecidos como fumagina (*Capnodium* sp.), formando uma camada escura sobre as folhas (CABI INTERNATIONAL, 2025). Essa cobertura fúngica atua como uma barreira física, reduzindo a captação de luz e limitando ainda mais a fotossíntese (ANDAYANIE; LUKITO; CHASANATUN, 2021; RAJNA *et al.*, 2021).

Adicionalmente, essa espécie apresenta alta taxa reprodutiva, ciclo de vida curto, capacidade de reprodução sexuada e partenogenética arrenótoca (óvulo não fecundado se desenvolve exclusivamente para formar indivíduos machos), além de ampla distribuição nas Américas (Brasil, Venezuela, Trinidad e Tobago, Guayana, Colômbia, Equador, Peru,

República Dominicana e México) (MOTA; MESQUITA, 2018; CABI INTERNATIONAL, 2022). Essas características, aliadas a outros fatores (ambientais e manejo), favorecem o surgimento de surtos populacionais, como os registrados no Estado da Bahia em 2016, que resultaram na morte de milhares de plantas (MOURA; PEREIRA; PEREIRA, 2022).

O manejo de *A. cocois* tem sido conduzido, exclusivamente, pelo uso de inseticidas químicos (MOTA; MESQUITA, 2018). Contudo, práticas inadequadas de aplicação, como dosagens incorretas e baixa diversificação de ingredientes ativos, comuns na cajucultura, podem comprometer a eficácia do controle, além de favorecer a resistência da praga, elevar os custos de produção e impactar negativamente organismos não-alvo, incluindo inimigos naturais e polinizadores (TORRES, 2012; ROUBOS; RODRIGUEZ-SAONA; ISAACS, 2014; CABI INTERNATIONAL, 2022).

Diante dessas limitações, inseticidas com eficácia comprovada no controle de outras espécies de moscas-branca, como *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) e *Aleurothrixus floccosus* (Maskell, 1896) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae), podem ser alternativas úteis ao manejo de *A. cocois* em cajueiros (BACCI *et al.*, 2007; HAIDER *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023; CHUQUIANA-CAIZA *et al.*, 2024), especialmente quando integrados a estratégias de rotação de modos de ação e ao uso de produtos seletivos (TORRES; BUENO, 2018; MACHADO *et al.*, 2019).

Inseticidas seletivos caracterizam-se por sua alta especificidade de ação, baixa toxicidade a inimigos naturais e menor impacto ambiental, sendo recomendados em programas de manejo sustentável (ROUBOS; RODRIGUEZ-SAONA; ISAACS, 2014; MACHADO *et al.*, 2019; DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; NOGUEIRA; MELVILE, 2020). Eles podem impactar os inimigos naturais de forma direta, causando mortalidade ou interferindo em processos biológicos essenciais, ou de forma indireta, ao reduzir a disponibilidade de presas ou hospedeiros e afetar parâmetros comportamentais como alimentação, forrageamento e dispersão (GENTZ; MURDOCH; KING, 2010; TORRES; BUENO, 2018). A escolha criteriosa e a aplicação seletiva desses produtos permitem integrar o controle químico ao biológico, preservar a funcionalidade dos inimigos naturais, garantir eficácia contra a praga-alvo e manter organismos benéficos no agroecossistema (GENTZ; MURDOCH; KING, 2010; ROUBOS; RODRIGUEZ-SAONA; ISAACS, 2014; TORRES; BUENO, 2018). Quando combinados em esquemas de rotação com modos de ação distintos, promovem maior sustentabilidade do manejo e reduzem os riscos de resistência ou ressurgência populacional de pragas (DESNEUX *et al.*, 2007; TORRES; BUENO, 2018; DUSO; VAN LEEUWEN; POZZEBON, 2020).

Além do controle químico, o manejo integrado de pragas (MIP) fundamenta-se na integração de diferentes táticas de controle, como atuação dos inimigos naturais, que desempenham papel central na regulação das populações de insetos e ácaros-praga, contribuindo para a redução da dependência do uso de inseticidas químicos (GENTZ; MURDOCH; KING, 2010; ROUBOS; RODRIGUEZ-SAONA; ISAACS, 2014). Nesse contexto, o controle biológico consiste na utilização deliberada de inimigos naturais para suprimir populações de pragas, podendo envolver a introdução de agentes exógenos (controle biológico clássico), a produção e liberação massal de predadores ou parasitoides nativos (controle biológico aplicado aumentativo ou inoculativo), ou ainda a preservação e promoção de organismos já presentes no agrossistema (controle biológico conservativo) (FLINT; DREISTADT, 1998; HEIMPEL; MILLS, 2017; STENBERG *et al.*, 2021). Essa abordagem visa assegurar a sobrevivência, reprodução e eficiência dos agentes de controle, maximizando seu papel regulador no sistema produtivo (GENTZ; MURDOCH; KING, 2010; STENBERG *et al.*, 2021).

Dentre os principais agentes de controle biológico destacam-se os ácaros predadores da família Phytoseiidae, amplamente distribuídos em diferentes agrossistemas e reconhecidos por sua eficiência no controle de pragas-chave, sobretudo, em cultivos de cajueiro no Nordeste brasileiro (GERSON *et al.*, 2003; ALFAIA *et al.*, 2018a, b; MENDES *et al.*, 2021, SARAIVA *et al.*, 2023). Nesse ambiente, já foram identificadas doze espécies de fitoseídeos (MENDES *et al.*, 2021), predominantemente de hábito generalista (tipos III e IV), com capacidade de predação de ácaros fitófagos e pequenos insetos, como mosca-branca e tripses, além de se alimentarem de pólen e néctar extrafloral (McMURTRY; MORAES; SOURASSOU, 2013).

Dentro do grupo de fitoseídeos associados ao controle natural de *A. cocois* em cajueiros, destaca-se *Amblyseius largoensis* Muma, 1955 (Mesostigmata: Phytoseiidae) (ALFAIA *et al.*, 2018a; MENDES *et al.*, 2021), uma espécie de ácaro predador com ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais (DEMITE *et al.*, 2021). Em estudos recentes, confirmou-se que *A. largoensis* se alimenta de ovos de *A. cocois*, ressaltando sua relevância na redução populacional dessa praga, sobretudo nos estágios iniciais de infestação, quando a redução previa das colônias pode evitar prejuízos severos à cultura (ALFAIA *et al.*, 2018a). Adicionalmente, foi demonstrado que *A. largoensis* consegue se alimentar, desenvolver e se reproduzir com uma dieta exclusivamente baseada em *A. cocois*, o que reforça seu potencial para utilização em programas de manejo integrado de pragas na cajucultura (ALFAIA *et al.*, 2018b).

Embora *A. largoensis* seja amplamente reconhecido como um importante agente de controle biológico em diferentes sistemas agrícolas (MORAES *et al.*, 2012; ALFAIA *et al.*, 2018a, b; ARGOLO *et al.*, 2020), sua utilização em programas de manejo de pragas permanece restrita, sobretudo em função das limitações associadas à sua implementação em estratégias de controle biológico aplicado. Avanços recentes, como a identificação de presas alternativas que viabilizam sua produção em larga escala, ampliam as perspectivas de uso futuro desse predador (COSTA *et al.*, 2025). Entretanto, nas condições atuais, o controle biológico por conservação constitui a única estratégia efetivamente disponível para a exploração de *A. largoensis* em agrossistemas, assumindo papel central no manejo de pragas, uma vez que sistemas de produção menos impactantes favorecem a manutenção e a funcionalidade das populações de inimigos naturais (LENTEREN *et al.*, 2018; SHIELDS *et al.*, 2019). Nesse contexto, a efetividade de *A. largoensis* está diretamente condicionada às práticas de manejo adotadas, sendo negativamente afetada pelo uso indiscriminado de inseticidas não seletivos, que reduzem suas populações e contribuem para a ressurgência de pragas, comprometendo a sustentabilidade do controle biológico (CABI INTERNATIONAL, 2022).

No entanto, ainda são escassos os estudos que avaliam, de forma integrada, a eficácia e a seletividade de inseticidas, utilizados e promissores, ao controle de *A. cocois*. Poucos trabalhos consideram os efeitos dessas moléculas sobre os ácaros predadores naturalmente presentes nos pomares de cajueiro, como *A. largoensis*. Torna-se, portanto, fundamental investigar o impacto de inseticidas neurotóxicos sobre esse predador, a fim de subsidiar estratégias de manejo fitossanitário sustentáveis.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de inseticidas neurotóxicos no controle de *A. cocois*, determinar as doses letais dos inseticidas mais promissores e analisar sua seletividade em relação ao ácaro predador *A. largoensis*. A seletividade dos produtos foi avaliada com base em parâmetros biológicos, incluindo sobrevivência, consumo, oviposição, comportamento de busca e eficiência de conversão alimentar em ovos, com o objetivo de caracterizar os efeitos sobre organismos não-alvo, subsidiando sua possível recomendação e futuro registro, bem como sua integração em programas de manejo integrado de pragas na cultura do cajueiro.

2 CAPÍTULO 1 - EFICIÊNCIA DE INSETICIDAS NO MANEJO DE *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (HEMIPTERA: STERNORRHYNCHA: ALEYRODIDAE) EM CULTIVO DE CAJUEIRO (*Anacardium occidentale*)

RESUMO

A mosca-branca-do-cajueiro, *Aleurodicus cocois*, representa um desafio significativo à sanidade do cultivo de cajueiros, pois seu hábito sugador provoca distúrbios fisiológicos nas plantas e favorece a formação de fumagina sobre o *honeydew* excretado. A limitada base de dados toxicológicos, associada à escassa disponibilidade de inseticidas registrados especificamente para essa espécie, evidencia a necessidade de estudos que sustentem estratégias de controle químico fundamentadas em evidências experimentais e parâmetros quantitativos. Neste contexto, avaliou-se a toxicidade de seis inseticidas neurotóxicos (Abamectina, Acefato, Flupiradifurone, Imidacloprido, Acetamiprido e Tiametoxam) sobre ninfas de *A. cocois*, determinando-se as concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) dos compostos que promoveram a maior taxa de mortalidade em menor tempo de exposição. Após 24 h de exposição, Acefato, Flupiradifurone e Tiametoxam promoveram mortalidade superior a 80%, enquanto Imidacloprido, Acetamiprido e Abamectina registraram mortalidade $\leq 63,5\%$. Após 48 h, observou-se aumento generalizado da letalidade em todos os tratamentos e, ao final de 72 h, a mortalidade foi total ou próxima de 100%. A suscetibilidade apresentou-se elevada e relativamente uniforme entre os ínstars avaliados, exceto no quarto ínstar exposto à Abamectina, que apresentou menor mortalidade e maior variabilidade na resposta biológica. As CL_{50} estimadas foram 0,116; 0,152; e 0,178 g ou ml. L⁻¹ para Tiametoxam, Acefato e Flupiradifurone, respectivamente, enquanto as CL_{90} correspondentes foram 0,291; 0,488; e 0,782 g ou ml. L⁻¹, sem diferenças significativas entre os inseticidas. Esses resultados fornecem parâmetros toxicológicos quantitativos que subsidiam recomendações técnicas para o manejo químico de *A. cocois* na cajucultura.

Palavras-chave: Mosca-branca, toxicidade de inseticidas, concentração-resposta, manejo integrado de pragas, cajucultura.

2.1 Introdução

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma cultura tropical de ampla distribuição e elevada relevância socioeconômica, especialmente em regiões semiáridas, onde constitui importante fonte de emprego e renda para pequenos e médios produtores (SERRANO; PESSOA, 2017; NUNES *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Em âmbito global, a cajucultura ocupa aproximadamente sete milhões de hectares, com destaque para Costa do Marfim, Índia e Vietnã, que figuram entre os principais produtores mundiais (BRAINER, 2022; QUEIROGA *et al.*, 2025).

Em regiões produtoras, particularmente no semiárido brasileiro, a cajucultura apresenta vulnerabilidade fitossanitária associada à elevada pressão de insetos-praga (OLIVEIRA *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2021; SOBRINHO; MESQUITA; MOTA, 2022) e à restrita disponibilidade de ferramentas de controle específicas (SOUSA *et al.*, 2021; QUEIROGA *et al.*, 2025). Essas limitações comprometem a efetividade do manejo integrado de pragas, elevam os custos de produção e reduzem a produtividade e a longevidade dos pomares, com impactos diretos sobre a sustentabilidade do sistema produtivo.

Dentre as espécies que atacam a cultura, destaca-se a mosca-branca-do-cajueiro, *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae), em razão de sua frequência de ocorrência, ampla distribuição geográfica e severidade dos danos (MESQUITA; MOTA; OLIVEIRA, 2020; MOURA; PEREIRA; PEREIRA, 2022; QUEIROGA *et al.*, 2025). O inseto coloniza preferencialmente a face abaxial das folhas e alimenta-se da seiva, provocando clorose, enfraquecimento de ramos, desfolha precoce, redução do crescimento vegetativo e, em infestações severas, mortalidade de plantas jovens (MESQUITA; SOBRINHO, 2013; MOURA; PEREIRA; PEREIRA, 2022; CABI INTERNATIONAL, 2025). Além dos danos diretos, a excreção de honeydew favorece o desenvolvimento de fumagina (*Capnodium* spp.), que recobre a superfície foliar, reduz a atividade fotossintética e compromete a qualidade dos frutos (ANDAYANIE; LUKITO; CHASANATUN, 2021; RAJNA *et al.*, 2021; CABI INTERNATIONAL, 2025).

O controle químico tem sido o principal método empregado no manejo de *A. cocois* (MOTA; MESQUITA, 2018). Contudo, o número reduzido de ingredientes ativos registrados para a cajucultura, associado ao uso indiscriminado de produtos em concentrações recomendadas para outras pragas ou culturas, não apenas limita as opções disponíveis, mas também aumenta o risco de seleção de resistência e afeta negativamente inimigos naturais, comprometendo a sustentabilidade dos programas de manejo fitossanitário (MACHADO *et al.*,

2019; MAPA, 2023; TORRES, 2012; ROUBOS; RODRIGUEZ-SAONA; ISAACS, 2014; SERRÃO *et al.*, 2022; CABI INTERNATIONAL, 2022; MESQUITA *et al.*, 2024b). Dessa forma, a identificação de ingredientes ativos com potencial para registro, aliada à estimativa de suas concentrações letais, é fundamental para subsidiar recomendações técnicas e estruturar estratégias de manejo químico baseadas em parâmetros quantitativos na cajucultura.

Nesse contexto, inseticidas pertencentes aos grupos das avermectinas, organofosforados e neonicotinoides têm demonstrado elevada eficácia contra moscas-brancas como *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) e *Aleurothrixus floccosus* (Maskell, 1896) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae), com mortalidades superiores a 80% em condições de laboratório e campo (BACCI *et al.*, 2007; HAIDER *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023; CHUQUIANA-CAIZA *et al.*, 2024; JHA; KUMAR, 2017; SHARMA; KUMAR, 2020; CREMONEZ *et al.*, 2023). Contudo, permanecem escassos os estudos que avaliem de forma quantitativa a resposta toxicológica de inseticidas químicos sintéticos nos diferentes estágios de desenvolvimento de *A. cocois* na cajucultura, sendo a maior parte das investigações direcionada a compostos alternativos (como óleos essenciais) ou a aspectos biológicos e ecológicos da praga, o que evidencia uma lacuna relevante para o aprimoramento das estratégias de manejo da espécie.

Diante dessa limitação de dados técnicos, o presente estudo teve como objetivo avaliar a toxicidade de seis inseticidas neurotóxicos sobre *A. cocois*, estimar as concentrações letais médias e superiores (CL₅₀ e CL₉₀) dos produtos com maior toxicidade aguda e determinar a suscetibilidade dos diferentes estágios ninfais da praga, considerando tanto a intensidade quanto a velocidade de mortalidade observada.

2.2 Material e método

2.2.1 Local e condições do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e laboratório ambos da unidade experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza-CE (3°44'S, 38°44'W e altitude de 19,5 m; clima Tropical com inverno seco (AW) (Koppen, 1918)), entre os meses de junho de 2023 a novembro de 2024 (FUNCEME, 2025). As condições em casa de vegetação foram de $36 \pm 4^\circ\text{C}$ de temperatura, $60 \pm 18\%$ de umidade relativa e 12h de fotoperíodo, enquanto em laboratório foram de $32 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura, $60 \pm 12\%$ de umidade relativa e 12h de fotoperíodo.

2.2.2 Obtenção e criação de *Aleurodicus cocois*

A criação de *A. cocois* foi estabelecida com coletas semanais de ramos infestados, com insetos adultos, em pomares de cajueiros do Campo Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, no município de Pacajus-CE (4°10'S, 38°27'W, altitude de 77m e clima tipo AW (Koppen, 1918), nos meses de junho a julho de 2023 (FIGURA 1A, B).

Figura 1 - Estabelecimento da criação de *Aleurodicus cocois* em casa de vegetação. Coleta de ramos infestados com insetos adultos (A), e infestação de mudas de cajueiros (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A população de insetos foi mantida sobre mudas de cajueiro (com 180 dias após enxertia) em casa de vegetação (FIGURA 2B). As mudas (clones) foram produzidas e obtidas na mesma unidade da Embrapa e transplantadas para recipientes de polietileno com capacidade

de 5L, contendo substrato composto por areia, pó de fibra de coco e húmus de minhoca, na proporção de 3:1:1 (FIGURA 2B). A criação foi iniciada com 40 mudas infestadas, as quais foram irrigadas diariamente com água do sistema de abastecimento da cidade (torneira). Mensalmente, novas mudas de cajueiro, livres de quaisquer infestações por pragas, foram introduzidas na casa de vegetação, com o objetivo de manter e renovar a criação.

Figura 2 - Local e unidades de criação de *Aleurodicus cocois*. Telado com meia lateral branca, correspondente ao local da criação; telado branco, destinado à manutenção de mudas saudáveis para reposição; e telado preto, utilizado para as mudas infestadas destinadas aos bioensaios (A). Vasos contendo as mudas de cajueiro da criação (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.3 Plantas de cajueiro utilizadas nos bioensaios

Nos bioensaios foram utilizadas mudas de clones de cajueiro (CCP76) com 180 dias após enxertia, contendo 3 a 4 folhas definitivas e infestadas com *A. cocois*. Mudas saudáveis foram expostas por dez dias à população de *A. cocois* para serem infestadas (FIGURA 3A). Esse tempo de exposição foi suficiente para obtenção de mudas com oviposições e com diferentes estágios de ninfas na mesma planta, semelhante às populações encontradas em campo. Após esse período, as mudas infestadas foram transferidas para uma gaiola de estrutura metálica, recoberta com tecido *voil*, permanecendo por doze dias, para aguardar o desenvolvimento dos insetos, com eclosões de ninfas e passagens por quatro instares (FIGURA 3B).

Figura 3 - Mudas de clones de cajueiro (CCP76) com 180 dias após enxertia, contendo 3 a 4 folhas definitivas e infestadas com *A. cocois* (A) e gaiola de estrutura metálica com as mudas infestadas (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.4 Seleção dos tratamentos

A seleção dos inseticidas avaliados fundamentou-se em sua indicação para o controle de moscas-brancas e demais insetos sugadores, com base nos registros disponíveis no sistema AGROFIT para culturas como meloeiro (*Cucumis melo* L.), citros (*Citrus* spp.) e cajueiro (TABELA 1). Compostos pertencentes aos grupos das avermectinas, organofosforados e neonicotinoides apresentam reconhecida atividade contra aleirodídeos, configurando-se como opções tecnicamente promissoras para o manejo de *A. cocois* no cajueiro. Os inseticidas avaliados incluíram um ativador de canais de cloro: Abamectina a $72,0 \text{ g. L}^{-1}$ (Abamex 7,2% EC, Sumitomo, Maracanaú, CE, Brasil); um inibidor da acetilcolinesterase (AChE): Acefato a $750,0 \text{ g. kg}^{-1}$ (Orthene 750 BR 75% SP, UPL do Brasil, Distrito Industrial, Ituverava, SP, Brasil); quatro moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina que são: Flupiradifurone a 200 g. L^{-1} (Sivanto Primer 200 SL, Bayer, Belford Roxo, RJ, Brasil); Imidacloprido a 200 g. L^{-1} (Provado 20% SC, Bayer, SP, Brasil); Acetamiprido a 200 g. L^{-1} (Carnadine 20% SC, Nufarm, Distrito Industrial, Maracanaú, CE, Brasil) e Tiametoxam a 250 g. kg^{-1} (Actara 250 WG 25% WG, Syngenta, SP, Brasil) e, como controle, utilizou-se de água destilada.

Tabela 1 - Especificação dos inseticidas (ingredientes ativos, grupos químicos e concentrações) testados para o manejo de *Aleurodicus cocois*.

Grupo Quím.	Ing. Ativo	Form.	Vol. Calda (L. ha ⁻¹)	Dose P.C. (g ou mL. 100L ⁻¹)	Conc. I.A. do P.C. (g/L ou g/kg)
Avermectina	Abamectina	EC	1000	75,0	72
Butenolida	Flupiradifurone	SC	500	75,0	200
Organofosforado	Acefato	WP	2000	75,0	750
	Imidacloprido	SC	500	35,0	200
Neonicotinoide	Acetamiprido	SP	400	30,0	200
	Tiametoxam	WG	1000	20,0	250
Controle	H ₂ O	---	---	---	---

Grupo Quím.: (Grupo Químico); Ing. Ativo.: I.A.: (Ingrediente Ativo); Form.: (Formulação); Vol. Calda (L. ha⁻¹): (Volume de Calda); Dose P.C. (g ou mL/100 L): (Dose do Produto Comercial); Conc. I.A. no P.C. (g/L ou g/kg): (Concentração de Ingrediente Ativo no Produto Comercial).

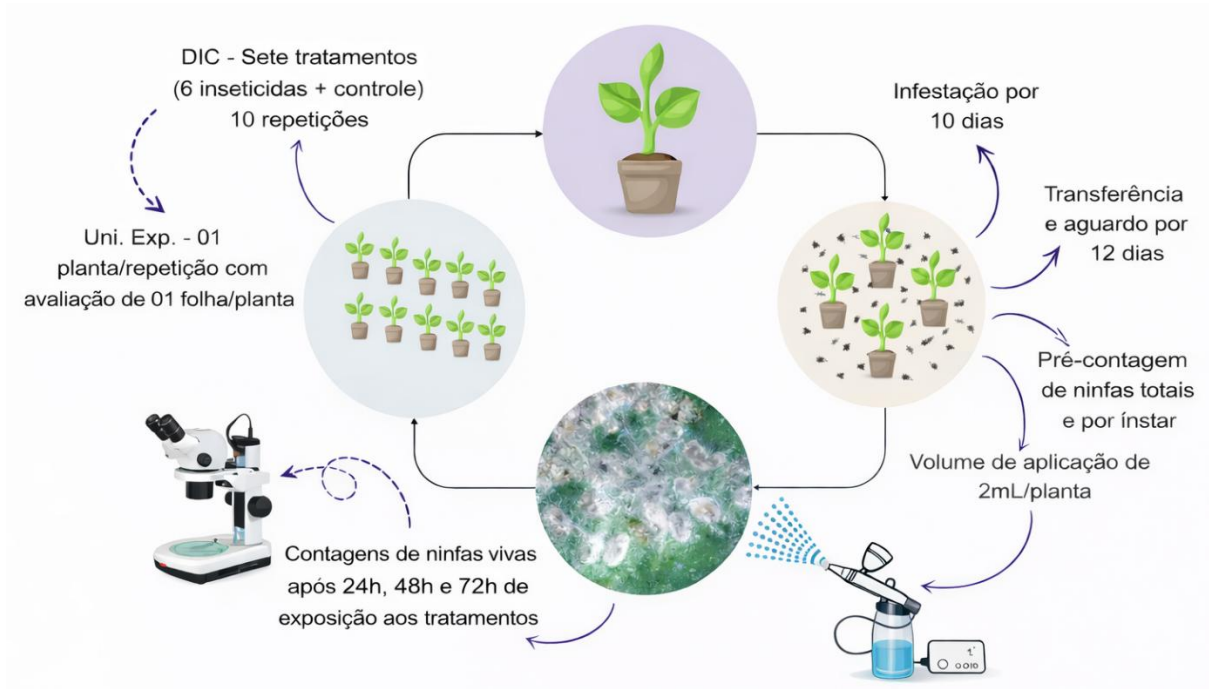
2.2.5 Bioensaios de Toxicidade de inseticidas a ninfas de *Aleurodicus cocois*

2.2.5.1 Bioensaio de toxicidade com concentrações recomendadas

As mudas de cajueiro previamente infestadas com *A. cocois* contendo ninfas de primeiro ao quarto instar foram pulverizadas com um volume de 2ml de calda ou água destilada (controle) utilizando-se de um aerógrafo (STEULA® DUPLA AÇÃO - MODELO: BC-61-03 Bico 0,3 mm), acoplado a um compressor de ar (VONDER-6240000150, Vonder®) com pressão de trabalho de 10psi (10lbf/pol.²). Após a pulverização as mudas tratadas foram mantidas em laboratório (32 ± 2°C de temperatura, 60 ± 12% de umidade relativa e 12h de fotoperíodo, respetivamente) para posterior avaliação.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com dez repetições e sete tratamentos (6 inseticidas + controle). Cada repetição consistiu em uma planta infestada, sendo avaliada uma folha/planta (unidade experimental) (FIGURA 4). Antes da pulverização foi realizada a contagem total de ninfas determinando os estágios (1º ao 4º instar) com média de 52 ± 4 ninfas/folha. Em função do comportamento sésil da maioria dos estágios ninfais, a mortalidade foi determinada pela mudança de coloração (branco cinza), descolamento da folha e ressecamento da ninfa. O percentual de mortalidade foi calculado a partir das contagens de ninfas mortas após 24, 48 e 72h de exposição aos tratamentos.

Figura 4 - Fluxograma do delineamento experimental dos bioensaios de toxicologia em ninfas de *Aleurodicus cocois*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.5.2 Estimativa das concentrações letais

Os inseticidas que promoveram mortalidade de ninfas $\geq 80\%$ nos bioensaios após 24h de exposição foram selecionados para a determinação das curvas concentração-resposta. O critério de efetividade adotado seguiu o limiar proposto por Bacci *et al.* (2006; 2007). Essa etapa foi conduzida conforme a metodologia descrita por Carvalho *et al.* (2017), precedida por testes preliminares para definição das faixas de concentração capazes de produzir mortalidade entre 10% e 90% em cada tratamento. O procedimento experimental manteve o delineamento da etapa anterior, diferindo apenas no número de repetições, reduzido para três por tratamento. Após a estimativa dessas concentrações iniciais, os valores foram transformados em logaritmo de base 10 [$\log_{10}(x)$] e, em seguida, foram estabelecidas seis concentrações para cada inseticida. A amplitude entre as concentrações foi calculada de acordo com a Equação 1:

$$k = \frac{[sup] - [inf]}{n - 1}, \text{ onde:} \quad \text{Equação (1)}$$

k = intervalo entre as concentrações;

$[sup]$ = concentração superior;

$[inf]$ = concentração inferior e

n = número de concentrações.

A partir da concentração inferior, o valor de k foi adicionado sucessivamente (x_i+k) até alcançar a concentração superior, compondo assim uma progressão aritmética. Na sequência, conduziu-se o bioensaio definitivo, seguindo o mesmo procedimento metodológico adotado nas etapas de bioensaios de toxicidade com concentrações recomendadas (bula) e testes preliminares. Para Tiametoxam as concentrações avaliadas foram (0,05; 0,07; 0,10; 0,15; 0,21 e 0,30 g. L⁻¹), Acefato (0,05; 0,09; 0,16; 0,27; 0,48 e 0,85 g. L⁻¹) e Flupiradifurone (0,05; 0,09; 0,16; 0,28; 0,50 e 0,90 mL. L⁻¹).

2.2.6 Análises dos dados

A toxicidade dos inseticidas foi avaliada com base na mortalidade corrigida pela equação de Schneider-Orelli.

$$Ma (\%) = \frac{\%Mt - \%Mc}{100 - \%Mc} \times 100, \text{ onde:} \quad \text{Equação (2)}$$

Ma = mortalidade corrigida em função do tratamento controle;

Mt = mortalidade observada no tratamento com o inseticida;

Mc = mortalidade observada no tratamento controle.

Os dados de mortalidade foram analisados por Modelos Lineares Generalizados (GLMs) com distribuição quasibinomial e ligação logit, adequados para dados proporcionais e correção de superdispersão. Para ninfas totais, o modelo incluiu os fatores Tratamento, Tempo e sua interação; para os diferentes estágios, incluiu Tratamento, Instar e sua interação. A significância dos efeitos foi avaliada por testes F ajustados, com comparações múltiplas entre médias pelo método de Tukey ($\alpha = 0,05$) utilizando o pacote emmeans. A adequação e os diagnósticos dos modelos foram verificados com os pacotes car e performance, e a estabilidade das estimativas com brglm2. As análises foram realizadas no R (versão 4.5.0; 2025-04-11 ucrt) no ambiente RStudio (versão 2025.09.2+418). As concentrações letais médias (CL₅₀) e para ocasionar mortalidade de 90% da população (CL₉₀) de *A. cocois* foram estimadas por análise Probit no software POLO-PLUS e comparadas por sobreposição dos intervalos de confiança (IC95%).

2.3 Resultados

2.3.1 Toxicidade de inseticidas em ninfas totais de *A. cocois*

Os efeitos letais da toxicidade acumulada dos inseticidas sobre as ninfas totais de *A. cocois* variaram em função do tratamento ($F_{5, 174} = 19,13$; $p < 0,001$), do tempo de exposição ($F_{2, 172} = 167,48$; $p < 0,001$) e da interação entre esses dois fatores ($F_{10, 162} = 6,22$; $p < 0,001$) (TABELA 2). Após 24 horas de exposição, Flupiradifurone ($85,0 \pm 3,1\%$), Acefato ($79,2 \pm 6,3\%$) e Tiametoxam ($83,5 \pm 4,1\%$) apresentaram as maiores taxas de mortalidade. Esses tratamentos diferiram do Imidacloprido ($40,9 \pm 8,2\%$) e do Acetamiprido ($34,8 \pm 4,6\%$), que exibiram a letalidade mais baixa nesse intervalo ($p < 0,001$). O Abamectina ($52,2 \pm 5,2\%$) demonstrou um efeito intermediário, com menor toxicidade dentre os inseticidas que apresentaram uma rápida letalidade ($p < 0,001$).

Em 48 horas, observou-se um aumento geral na mortalidade para todos os tratamentos. Tiametoxam ($98,1 \pm 1,2\%$), Imidacloprido ($94,7 \pm 3,7\%$), Acetamiprido ($91,6 \pm 2,3\%$) e Flupiradifurone ($90,4 \pm 2,6\%$) atingiram valores de letalidade superiores a 90%. Embora Acefato ($88,2 \pm 2,8\%$) e Abamectina ($75,5 \pm 6,3\%$) também tenham registrado incremento, este último apresentou a menor letalidade neste intervalo de exposição ($p = 0,037$). A progressão da mortalidade entre 24h e 48h não foi uniforme, apresentando diferenças para Acetamiprido ($p = 0,006$), Abamectina ($p = 0,022$) e Imidacloprido ($p = 0,006$).

Ao final de 72 horas, todos os tratamentos alcançaram mortalidade superior a 90%. Acefato, Flupiradifurone e Imidacloprido atingiram 100% de letalidade, enquanto Tiametoxam ($99,5 \pm 0,3\%$), Acetamiprido ($99,1 \pm 0,5\%$) e Abamectina ($90,4 \pm 2,0\%$) registraram valores levemente inferiores. As diferenças entre os tratamentos não foram expressivas neste período final ($p > 0,05$). A progressão da mortalidade com Acefato ($p < 0,001$) e Flupiradifurone ($p = 0,004$) continuou a aumentar no intervalo de 48h para 72h. Em contraste, não diferiu nesse período para Tiametoxam ($p = 0,909$), Abamectina ($p = 0,236$), Imidacloprido ($p = 0,1$) e Acetamiprido ($p = 0,067$).

Tabela 2 - Efeito da interação Tratamento vs Tempo na mortalidade corrigida média (%) \pm desvio padrão de *Aleurodicus cocois*.

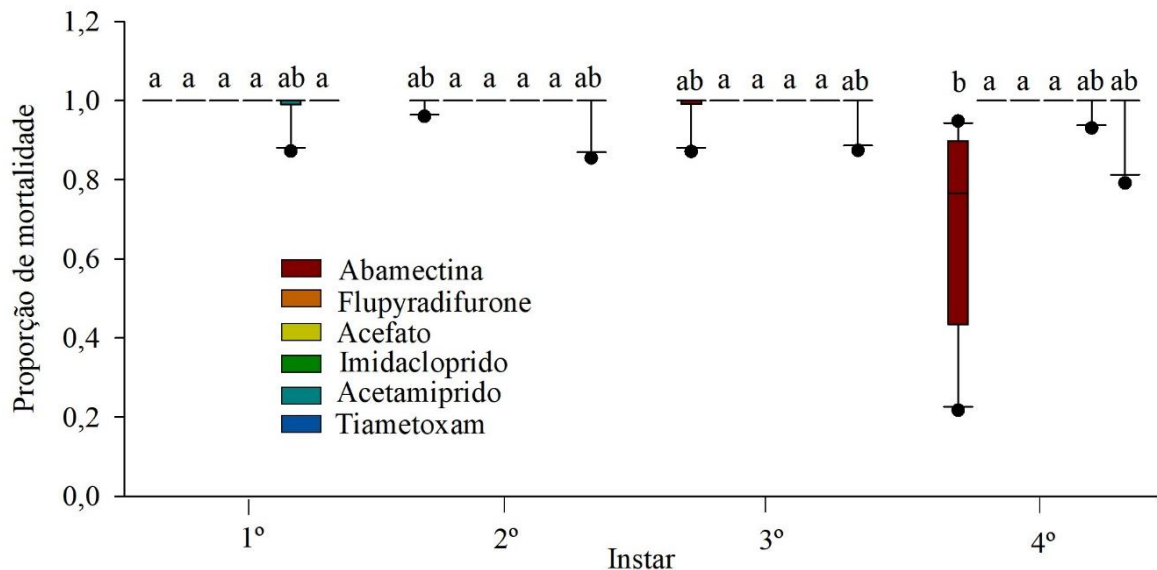
Tratamento	Interação (Mortalidade x Tempo)					
	Mortalidade \pm Erro Padrão (%)			Tempo (horas)		
	24h	48h	72h	24h vs 48h (Valor-P)	24h vs 72h (Valor-P)	48h vs 72h (Valor-P)
Abamectina	52,2 \pm 5,2 b	75,5 \pm 6,3 b	90,4 \pm 2,0 a	0,022 *	<0,001 ***	0,236
Acefato	79,2 \pm 6,3 ab	88,2 \pm 2,8 ab	100,0 \pm 0,0 a	0,98	<0,001 ***	<0,001 ***
Tiametoxam	83,5 \pm 4,1 ab	98,1 \pm 1,2 a	99,5 \pm 0,3 a	0,007 **	0,002 **	0,909
Acetamiprido	34,8 \pm 4,6 c	91,6 \pm 2,3 a	99,1 \pm 0,5 a	<0,001 ***	<0,001 ***	0,067
Imidacloprido	40,9 \pm 8,2 c	94,7 \pm 3,7 a	100,0 \pm 0,0 a	<0,001 ***	<0,001 ***	0,1
Flupiradifurone	85,0 \pm 3,2 ab	90,4 \pm 2,6 ab	100,0 \pm 0,0 a	0,471	0,001 ***	0,004 **
Valor-P	<0,0001	0,0470	>0,05	---	---	---

Mortalidade média (\pm erro padrão) ao longo do tempo para cada tratamento. Valores-*p* resultam de comparações *pairwise* (ajuste de Tukey) baseadas no modelo GLM (link logit). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos para cada tempo. Significância: $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***)

2.3.2 Toxicidade de inseticidas por instar

Na análise por instar, a proporção de mortalidade acumulada após 72h de exposição foi influenciada pelo tratamento ($F_{5, 216} = 48,63$; $p < 0,001$), pelo estágio de desenvolvimento ($F_{3, 216} = 54,03$; $p < 0,001$) e pela interação entre ambos os fatores ($F_{15, 216} = 3,08$; $p < 0,001$) (GRÁFICO 1). Nos três primeiros instares, todos os tratamentos apresentaram mortalidade elevada e uniforme (proporção próxima de 1,0). No quarto instar, o Abamectina apresentou redução acentuada na mortalidade e maior variabilidade, enquanto Acefato, Flupiradifurone, Imidacloprido, Acetamiprido e Tiametoxam, apresentou níveis elevados e consistentes de mortalidade.

Gráfico 1 - Efeito da interação entre tratamento e instar sobre a proporção de mortalidade corrigida dos diferentes estágios de desenvolvimento de *Aleurodicus cocois*. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (5%). A sequência dos produtos na legenda, de cima para baixo, correspondem aos diagramas de caixa da esquerda para a direita.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.3 Estimativa das doses letais

As concentrações letais médias (CL_{50}) e para 90% de mortalidade (CL_{90}) de *A. cocois* foram estimadas para Tiametoxam, Acefato e Flupiradifurone. O ajuste dos modelos concentração-resposta foi satisfatório para todas as moléculas (Tiametoxam: $\chi^2 = 9,08$; GL = 4; $p = 0,059$; Acefato: $\chi^2 = 1,539$; GL = 4; $p = 0,819$; Flupiradifurone: $\chi^2 = 2,549$; GL = 4; $p = 0,636$), indicando adequada aderência aos dados experimentais (TABELA 3).

A inclinação das curvas, indicativa da homogeneidade da resposta populacional, foi maior para Tiametoxam ($3,20 \pm 0,29$), seguida por Acefato ($2,53 \pm 0,25$) e Flupiradifurone ($1,99 \pm 0,21$). Quanto às estimativas de CL_{90} , os valores obtidos foram $0,291 \text{ g. L}^{-1}$ (IC95%: 0,218-0,511) para Tiametoxam, $0,488 \text{ g. L}^{-1}$ (IC95%: 0,394-0,655) para Acefato e $0,782 \text{ ml. L}^{-1}$ (IC95%: 0,596-1,141) para Flupiradifurone. Para CL_{50} , as estimativas foram $0,116 \text{ g. L}^{-1}$ (IC95%: 0,092-0,142), $0,152 \text{ g. L}^{-1}$ (IC95%: 0,129-0,176) e $0,178 \text{ ml. L}^{-1}$ (IC95%: 0,141-0,217), respectivamente. A sobreposição dos intervalos de confiança das CL_{50} indica ausência de diferença estatística entre os tratamentos quanto à resposta da população nas concentrações estimadas.

Tabela 3 - Efeito de diferentes concentrações de inseticidas sobre ninfas de *Aleurodicus cocois*, incluindo CL₅₀, CL₉₀ e coeficiente de regressão.

Ing. Ativo	N	Inclinação (±EP)	CL₅₀(IC95) g ou ml. L⁻¹	CL₉₀(IC95) g ou ml. L⁻¹	χ²	GL	Valor-P
Tiametoxam	5878	3,203 ± 0,288	0,116 (0,092; 0,142)	0,291 (0,218; 0,511)	9,080	4	0,059
Acefato	4333	2,527 ± 0,249	0,152 (0,129; 0,176)	0,488 (0,394; 0,655)	1,539	4	0,819
Flupiradifurone	3667	1,991 ± 0,214	0,178 (0,141; 0,217)	0,782 (0,596; 1,141)	2,549	4	0,636

N: Número de insetos utilizados, EP: Erro padrão, IC: Intervalo de confiança, χ²: Chi-quadrado, GL: Graus de liberdade. Os parâmetros CL₅₀ e CL₉₀ e o coeficiente de regressão foram calculados pelo modelo de regressão Probit.

2.4 Discussão

O presente estudo apresenta dados experimentais sobre a toxicidade de inseticidas neuroativos em *A. cocois*, contribuindo para a compreensão dos mecanismos de ação e da toxicidade desses produtos contra uma espécie ainda pouco investigada. Os resultados demonstraram que a letalidade observada não depende apenas da natureza química das moléculas aplicadas, mas também é influenciada pelo estágio de desenvolvimento das ninfas e pelo tempo de exposição. Essa interação entre fatores fisiológicos e temporais sugere que a resposta de *A. cocois* aos inseticidas neurotóxicos é multifatorial e dinâmica.

Os inseticidas Tiametoxam, Acefato e Flupiradifurone promoveram elevada mortalidade de *A. cocois* nas primeiras 24 horas de exposição, indicando toxicidade aguda. Esse padrão é consistente com observações em outras espécies de moscas-brancas, nas quais inseticidas neuroativos, modernos e de amplo espectro, exibiram rápida letalidade (RODITAKIS *et al.*, 2017; PATIL *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). Barman *et al.* (2021) relataram CL_{50} significativamente menor para Tiametoxam em *B. tabaci*, refletindo maior toxicidade em comparação ao Imidacloprido. De forma semelhante, Issa *et al.* (2022) observaram que Flupiradifurone causou efeito de “knockdown” (efeito de choque e paralisia imediata) e mortalidade de até 97% em adultos de *B. tabaci* em cultivos de mandioca, reforçando a elevada suscetibilidade de insetos sugadores a moléculas de ação sistêmica. Por outro lado, Alvarez *et al.* (2024) reportaram menor letalidade do Acefato no controle de *B. tabaci*, obtendo os maiores valores de CL_{50} dentre os inseticidas avaliados. Essa divergência provavelmente reflete diferenças interespecíficas na sensibilidade fisiológica, na capacidade metabólica de detoxificação e no histórico de exposição populacional a organofosforados, resultando em respostas distintas frente à mesma molécula. Adicionalmente, características bioecológicas da espécie, como a produção de secreções cerosas nos estágios ninfais, podem atuar como barreira física à penetração do inseticida, modulando a suscetibilidade e contribuindo para variações na eficiência observada.

A letalidade observada em *A. cocois* é compatível com o modo de ação dos inseticidas avaliados. Tiametoxam (neonicotinoide) e Flupiradifurone (butenolida) atuam como agonistas dos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChRs), promovendo ativação persistente desses canais, despolarização sustentada da membrana pós-sináptica, bloqueio da transmissão neural, paralisia e morte (SEIFERT, 2014). Ambos apresentam alta afinidade pelos receptores, atividade sistêmica e penetração eficiente por contato e ingestão, que ampliam as vias de exposição e aceleram os efeitos letais (RICUPERO *et al.*, 2020; GUPTA; MILATOVIC,

2014). O Acefato, por sua vez, inibe a acetilcolinesterase (AChE), resultando em acúmulo de acetilcolina e disfunção neuromuscular progressiva (GUPTA; MILATOVIC, 2014). A mortalidade observada após uma única aplicação sugere toxicocinética eficiente, com rápida absorção via cutícula e trato alimentar, distribuição pela hemolinfa e interação direta com alvos neurais, conforme descrito para aleirodídeos e outros hemípteros sugadores expostos a neonicotinoides e butenolidas (TOMIZAWA; CASIDA, 2005; NAUEN; DENHOLM, 2005; NAUEN *et al.*, 2015). Diferentemente dos relatos para *B. tabaci*, em que frequentemente são necessárias aplicações sucessivas ou se observam respostas variáveis (DUBEY *et al.*, 2023; SAHITO *et al.*, 2015; SMITH *et al.*, 2016), os resultados deste estudo, indicam elevada suscetibilidade de *A. cocois* nas condições experimentais.

Em contraste aos resultados obtidos com os inseticidas de ação neurotóxica rápida, Imidacloprido e Acetamiprido, também pertencentes à classe dos neonicotinoides, apresentaram um padrão de mortalidade distinto em *A. cocois*. Esses produtos mostraram toxicidade inicial reduzida, com mortalidade limitada nas primeiras 24 horas de exposição, mas registraram aumento progressivo da letalidade ao longo do tempo, atingindo níveis comparáveis aos demais inseticidas após 72 horas. Resultados semelhantes foram relatados por Barman *et al.* (2021), ao observarem que Tiametoxam foi de 4 a 7 vezes mais eficaz que Imidacloprido em adultos de *B. tabaci*, evidenciando padrões consistentes de resposta entre inseticidas de mesma classe toxicológica. Por outro lado, Abdel Razik *et al.* (2022) verificaram alta letalidade do Imidacloprido no controle de *B. tabaci* em tomateiro, com rápida mortalidade e aumento do rendimento das plantas, ressaltando que a resposta ao inseticida pode variar conforme a espécie, estágio de desenvolvimento e condições de cultivo. Essas diferenças podem estar relacionadas à variação de suscetibilidade entre populações e espécies de aleirodídeos, bem como às diferenças nas vias de absorção e metabolismo dos inseticidas (CASIDA, 2011; SÁNCHEZ-BAYO, 2012). Ainda assim, os resultados em *A. cocois* com esses produtos sugerem que, embora o início da ação seja mais lento, o efeito cumulativo garante um controle efetivo após 72 horas de exposição.

Apesar do compartilhamento do mesmo modo de ação, as diferenças observadas entre Imidacloprido, Acetamiprido e Tiametoxam podem ser atribuídas a uma combinação de fatores estruturais, fisicoquímicos e metabólicos (ZHANG *et al.*, 2018; KAYSER *et al.*, 2004). Essas moléculas pertencem a subclasses químicas distintas dentro dos neonicotinoides, resultando em variações na afinidade e na eficácia de ligação aos subtipos de nAChRs presentes em diferentes espécies de insetos (CASIDA, 2011; SÁNCHEZ-BAYO, 2012; KAYSER *et al.*, 2004). As moléculas de gerações mais recentes, como Tiametoxam, apresentam maior potência

agonista e ativação sináptica mais rápida, promovendo despolarização e paralisia com maior rapidez do que o Imidacloprido ou Acetamiprido (TOMIZAWA; CASIDA, 2005; THANY, 2023). Essas diferenças funcionais explicam, em parte, a resposta imediata observada com Tiametoxam em *A. cocois*, em contraste com o efeito cumulativo dependente do tempo registrado para Imidacloprido e Acetamiprido, característica já demonstrada para neonicotinoides em exposições prolongadas (SÁNCHEZ-BAYO; TENNEKES, 2020), consolidando a interpretação dos padrões de toxicidade observados neste estudo.

Adicionalmente, variações nas propriedades físico-químicas influenciam diretamente a absorção e a biodisponibilidade desses inseticidas (TICE, 2001; ZHANG *et al.*, 2018). O Tiametoxam apresenta alta solubilidade em água e baixa lipofilicidade, características que favorecem sua translocação sistêmica nas plantas. Em contraste, Imidacloprido e Acetamiprido, mais lipofílicos, apresentam difusão mais lenta e acúmulo gradual nos tecidos vegetais, o que pode retardar a bioacumulação e manifestação dos efeitos letais nos insetos.

O metabolismo diferencial e a capacidade de detoxificação também desempenham papel decisivo nesse processo (BARTLING *et al.*, 2024). Em várias espécies de aleirodídeos, a superexpressão de enzimas do complexo citocromo P450 (como CYP6ER1 e CYP6CM1) está associada à biotransformação preferencial de Imidacloprido e Acetamiprido, resultando em metabólitos menos ativos e, conseqüentemente, menor toxicidade inicial (BASS *et al.*, 2011; KARUNKER *et al.*, 2008). Em contraste, Tiametoxam é menos suscetível a essas rotas enzimáticas e pode gerar o metabólito Clotianidina, altamente ativo, potencializando sua eficácia em períodos curtos de exposição (NAUEN *et al.*, 2015; BASS *et al.*, 2011).

Dessa forma, características fisiológicas intrínsecas de *A. cocois*, como composição e espessura da cutícula, taxa de biotransformação e formação de metabólitos ativos ou inativos, podem interferir diretamente na velocidade com que os efeitos letais se manifestam (BALABANIDOU *et al.*, 2018; YAHOUÉDO *et al.*, 2017; AHMAD; DENHOLM; BROMILOW, 2006). Apesar dessa latência, o comportamento cumulativo e dependente do tempo de exposição reforça o valor de Imidacloprido e Acetamiprido como agentes de ação prolongada, especialmente em estratégias de controle residual e aplicações sistêmicas (MAHENDRA; SINGH, 2022; JHA; KUMAR, 2017; JAT *et al.*, 2020).

De modo semelhante, o Abamectina apresentou uma taxa de mortalidade inicial reduzida nas primeiras 24 horas, seguida por incremento gradual ao longo do período de avaliação. Esse padrão difere dos inseticidas neuroativos que apresentaram uma ação rápida e pode estar relacionado a particularidades de sua natureza química e de um sítio de ligação específico de alta afinidade (STEVENS; BRECKENRIDGE; WRIGHT, 2010). Esse inseticida

interage com canais de cloreto mediados por glutamato, requer a penetração e bioacumulação progressiva da molécula nos tecidos neuronais para induzir hiperpolarização, paralisia e morte (BATIHA *et al.*, 2020). Além disso, sua natureza altamente lipofílica favorece a retenção em tecidos ricos em lipídios antes de atingir os sítios-alvo (BATIHA *et al.*, 2020; BITTENCOURT *et al.*, 2021; SALMAN *et al.*, 2022; OLIVEIRA; SILVA; BOTTOLI, 2024).

Outro fator relevante refere-se à via de exposição. A abamectina apresenta ação predominantemente translaminar e limitada mobilidade sistêmica, especialmente no floema (LI; XIE; XU, 2016; KAUR *et al.*, 2024; OLIVEIRA; SILVA; BOTTOLI, 2024), o que pode reduzir sua eficiência contra insetos que se alimentam diretamente da seiva floemática. Essa característica pode explicar a menor mortalidade observada em ninfas de 4º ínstar, possivelmente associada à maior proteção tegumentar e à menor exposição efetiva ao ingrediente ativo. Nessas condições, a intoxicação de *A. cocois* depende principalmente da penetração cuticular, processo desacelerado em insetos com barreiras estruturais robustas, contribuindo para a latência inicial observada (BALABANIDOU *et al.*, 2018; YAHOUÉDO *et al.*, 2017; AHMAD; DENHOLM; BROMILOW, 2006). Em ninfas mais avançadas, a cutícula espessa recoberta por camada cerosa intensifica essa barreira, reforçando a menor letalidade registrada nas primeiras 24 horas (BALABANIDOU *et al.*, 2018).

Esse comportamento, contudo, contrasta com relatos para outros aleirodídeos, como *B. tabaci*, nos quais a Abamectina induziu mortalidade rápida sob condições controladas (KASHYAP; SHARMA, 2016; BACCI *et al.*, 2007). Essa discrepância sugere que características morfológicas específicas de *A. cocois*, particularmente relacionadas à estrutura cuticular, podem conferir maior tolerância inicial ao dificultar a penetração de moléculas tóxicas através da cutícula, um processo descrito como mecanismo de resistência em diversos insetos (DANG *et al.*, 2017; SIDDIQUI *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2025). Embora a absorção inicial seja limitada, a toxicidade pode aumentar à medida que a molécula atravessa a cutícula, se distribui nos tecidos internos e alcança seus alvos fisiológicos, conforme descrito na literatura clássica de toxicologia de inseticidas (BALABANIDOU *et al.*, 2018). A difusão gradual e a interação com sítios moleculares específicos explicam a intensificação dos efeitos ao longo do tempo e a letalidade progressiva observada nos bioensaios.

Em geral, esses resultados indicam que, enquanto Tiametoxam, Flupiradifurone e Acefato exibem ação neurotóxica aguda e rápida, Imidacloprido, Acetamiprido e Abamectina apresentam efeito cumulativo e dependente do tempo de exposição. Essa diversidade de respostas reflete as diferenças intrínsecas nos modos de ação, propriedades físico-químicas e interações espécie-específicas entre as moléculas e *A. cocois* (KAUR *et al.*, 2024). Dessa forma,

tal variabilidade deve ser considerada na formulação de estratégias de manejo integrado de *A. cocois* em cajueiros, nas quais inseticidas de ação imediata e de ação prolongada possam ser complementares, otimizando a eficiência do controle químico e reduzindo o risco de resistência.

A suscetibilidade dos diferentes instares de *A. cocois* apresentou um padrão ontogenético definido, no qual as ninfas iniciais (1º ao 3º instar) exibiram mortalidade elevada e uniforme em todos os tratamentos. Esse comportamento indica alta vulnerabilidade, possivelmente associada aos fatores já mencionados, incluindo a mobilidade do primeiro instar, que favorecem o contato, a penetração e a absorção dos princípios ativos (GUSMÃO *et al.*, 2000; LEITE *et al.*, 1998). De forma geral, o quarto instar apresentou maior variabilidade nos níveis de mortalidade, especialmente diante dos inseticidas de ação mais lenta, como o Abamectina. Em contraste, Acefato, Flupiradifurone, Imidacloprido, Acetamiprido e Tiametoxam mantiveram mortalidade elevada mesmo nas ninfas mais desenvolvidas, o que reflete maior capacidade de penetração cuticular e/ou maior disponibilidade sistêmica dos princípios ativos, características decisivas para o controle de estágios ninfais mais avançados (GUSMÃO *et al.*, 2000; LEITE *et al.*, 1998).

A análise de concentração-resposta confirmou o elevado potencial do Tiametoxam, cuja CL_{50} expressivamente menor indica maior toxicidade em doses reduzidas, com implicações positivas tanto econômicas quanto ambientais. Embora Acefato e Flupiradifurone tenham apresentado CL_{50} maiores, a sobreposição dos intervalos de confiança (IC_{95}) sugere ausência de diferenças estatísticas entre eles, ainda que a ordem central de toxicidade tenha sido Tiametoxam > Acefato > Flupiradifurone. Essa hierarquia fornece subsídios práticos para priorização no manejo químico de *A. cocois*.

Os diferentes perfis de ação permitem recomendações distintas de uso: Tiametoxam, Acefato e Flupiradifurone são indicados para situações que demandam controle imediato; Imidacloprido e Acetamiprido são adequados para aplicações sequenciais ou programas de médio prazo; e Abamectina se apresenta como alternativa estratégica para esquemas de rotação ou de exposição prolongada. Essa diversificação de usos contribui para maior flexibilidade nas tomadas de decisão e para o atraso no desenvolvimento da resistência.

A principal contribuição deste estudo é fornecer dados toxicológicos inéditos para *A. cocois*, ampliando o conhecimento sobre sua suscetibilidade a inseticidas e oferecendo diretrizes para decisões de registro e uso racional no manejo de pragas do cajueiro. Futuras pesquisas devem validar ainda mais esses achados ao investigar a seletividade desses inseticidas frente a inimigos naturais, de forma integrar o controle químico ao biológico no manejo sustentável de pragas da cajucultura.

3 CAPÍTULO 2 - SELETIVIDADE DE INSETICIDAS NEUROTÓXICOS A *Amblyseius largoensis* Muma, 1955 (MESOSTIGMATA: PHYTOSEIIDAE)

RESUMO

Amblyseius largoensis é um predador-chave em agrossistemas tropicais, mas sua utilização em programas de manejo integrado depende majoritariamente da conservação *in situ*, uma vez que ainda não há métodos consolidados de criação massal. Nesse contexto, avaliar a compatibilidade entre inseticidas e esse predador é essencial para subsidiar práticas de MIP ecologicamente sustentáveis. Este estudo investigou os efeitos letais e subletais de três inseticidas neurotóxicos (Acefato, Flupiradifurone e Tiametoxam), aplicados em concentrações correspondentes às CL₉₀ estimadas para *A. cocois*, sobre fêmeas adultas de *A. largoensis* por meio de exposições tópica e residual. Os resultados mostraram que Acefato foi altamente tóxico em ambas as vias de exposição, reduzindo drasticamente a sobrevivência das fêmeas e impossibilitando a manutenção de *A. largoensis* em áreas tratadas. Tiametoxam causou efeitos subletais consistentes, incluindo menor oviposição e redução do consumo de presas na exposição tópica, além de queda na viabilidade dos ovos sob exposição residual. Em contraste, Flupiradifurone apresentou elevada seletividade, sem efeitos detectáveis sobre sobrevivência, reprodução ou comportamento predatório. De modo geral, *A. largoensis* demonstrou compatibilidade com Flupiradifurone e, de forma moderada, com Tiametoxam, evidenciando o potencial desses inseticidas para compor programas de MIP que priorizem a conservação de inimigos naturais em ambientes agrícolas.

Palavras-chave: efeitos subletais; manejo integrado de pragas; controle biológico de conservação; toxicologia

3.1 Introdução

O controle biológico de pragas constitui uma estratégia essencial no manejo fitossanitário de sistemas agrícolas sustentáveis (TORRES; BUENO, 2018; AFTAB *et al.*, 2024). Além de reduzir a dependência de pesticidas químicos, essa abordagem contribui para mitigar impactos negativos associados ao uso intensivo desses insumos, como a seleção de populações resistentes, a contaminação ambiental e os efeitos letais e subletais sobre organismos não alvo (TORRES; BUENO, 2018; BAKER; GREEN; LOKER, 2020).

Dentre os inimigos naturais com maior potencial em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), destacam-se os ácaros predadores da família Phytoseiidae, amplamente reconhecidos por sua distribuição geográfica abrangente, alta diversidade de espécies e significativa plasticidade alimentar (HOY, 2012; McMURTRY; MORAES; SOURASSOU, 2013; DEMITE *et al.*, 2021). Este grupo inclui desde especialistas em ácaros fitófagos até generalistas capazes de explorar múltiplos recursos alimentares, como ovos e formas imaturas de pequenos insetos, além de recorrer a fontes alternativas, como esporos fúngicos, pólen e néctar extrafloral (HOY, 2012; McMURTRY; MORAES; SOURASSOU, 2013). Essa plasticidade ecológica favorece sua permanência em diferentes agrossistemas, consolidando-os como componentes funcionais estratégicos em programas de controle biológico no contexto do MIP (KNAPP *et al.*, 2018; NAVIA; CASTILHO; MORAES, 2020; ARAÚJO; RODRIGUES, 2023).

Nesse cenário, *Amblyseius largoensis* Muma, 1955 (Mesostigmata: Phytoseiidae) destaca-se por sua ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais, com registros em diversos sistemas agrícolas (DEMITE *et al.*, 2021; ARAÚJO; RODRIGUES, 2023), especialmente em frutíferas como coqueiro (*Cocos nucifera* L.) (MELO *et al.*, 2015; LIRA *et al.*, 2021), citros (*Citrus* spp.) (ARGOLO *et al.*, 2020) e cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) (MENDES *et al.*, 2021). No cajueiro, a espécie tem sido associada à supressão da mosca-branca-gigante *Aleurodicus cocois* Curtis, 1846 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae), atuando como agente regulador natural, principalmente nos estágios iniciais de infestação (ALFAIA *et al.*, 2018a, b; MENDES *et al.*, 2021). Adicionalmente, há registros de seu potencial predatório sobre outras pragas relevantes, como o ácaro-vermelho-das-palmeiras *Raoiella indica* Hirst, 1924 (Prostigmata: Tenuipalpidae) (CALVET *et al.*, 2024; LIRA *et al.*, 2021), o ácaro-branco *Polyphagotarsonemus latus* Banks, 1904 (Prostigmata: Tarsonemidae) (RODRÍGUEZ MORELL *et al.*, 2010; RODRÍGUEZ *et al.*, 2011), e o ácaro-da-leprose-dos-

citros *Brevipalpus yothersi* Baker, 1962 (Prostigmata: Tenuipalpidae) (ARGOLO *et al.*, 2020), reforçando sua relevância estratégica em sistemas frutícolas tropicais.

Apesar de sua importância ecológica e potencial aplicação em programas de controle biológico, o uso de *A. largoensis* em liberações massais ainda é limitado pela ausência de métodos de criação comercial, sendo a conservação *in situ* a única estratégia para favorecer sua atuação no MIP (MORAIS *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2025). No entanto, a exposição a inseticidas pode comprometer sua eficácia por meio de efeitos diretos (contato ou persistência de resíduos) ou indiretos (ingestão de presas contaminadas), resultando em mortalidade ou em efeitos subletais que afetam fecundidade, desenvolvimento, comportamento e capacidade predatória (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; SERRÃO *et al.*, 2022).

A compatibilidade entre defensivos agrícolas e a conservação de inimigos naturais, portanto, constitui um desafio central para o sucesso do controle biológico em sistemas agrícolas contemporâneos (TORRES; BUENO, 2018; DUSO; VAN LEEUWEN; POZZEBON, 2020). Nesse sentido, compreender a seletividade de inseticidas sobre espécies-chave de fitoseídeos, como *A. largoensis*, é fundamental para integrar de forma eficaz os métodos químico e biológico, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de produção agrícola mais resilientes e sustentáveis (TORRES; BUENO, 2018; COELHO *et al.*, 2019; MACHADO *et al.*, 2019; DUSO; VAN LEEUWEN; POZZEBON, 2020).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a seletividade de inseticidas neurotóxicos, aplicados em doses letais para *A. cocois*, sobre o predador *A. largoensis*, gerando informações que subsidiem a escolha de defensivos compatíveis com sua conservação e que fortaleçam estratégias sustentáveis de manejo na cajucultura.

3.2 Material e método

3.2.1 Local e condições do experimento

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Manejo de Ácaros e Insetos (LAMAI) da Universidade Federal do Ceará (UFC) (3°44'S, 38°44'W e altitude de 19,5 m). Todas as etapas, incluindo a manutenção das criações e a realização dos bioensaios, ocorreram sob condições controladas de temperatura ($27\pm 2^\circ\text{C}$), umidade relativa ($60\pm 10\%$) e fotoperíodo (12:12 horas).

3.2.2 Obtenção e criação dos ácaros

3.2.2.1 Ácaro-Presa: *Tetranychus urticae*

A colônia do ácaro-presa *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Prostigmata: Tetranychidae) é mantida em laboratório desde 2016, sendo alimentada com folhas de feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.]. As plantas de *C. ensiformis* são cultivadas em casa de vegetação ($36\pm 4^\circ\text{C}$, $60\pm 18\%$ UR e fotoperíodo de 12 horas), em vasos de polietileno de 5 litros, com substrato composto por areia, fibra de coco e adubo orgânico (2:1:1) e diariamente irrigadas. As unidades de criação em laboratório consistiram em bandejas de polietileno de formato retangular ($18\times 10\times 3,5\text{cm}$). No interior de cada bandeja, foi disposta uma camada de polietileno expandido (espuma) (1cm de espessura), recoberta por papel filtro, e sobre o papel filtro, uma folha de *C. ensiformis* circundadas com algodão hidrofílico, sendo saturados diariamente com água destilada, adicionada diretamente na bandeja. A manutenção da colônia foi realizada com a substituição semanal das folhas, para assegurar um suprimento constante de alimento.

3.2.2.2 Ácaro-predador: *Amblyseius largoensis*

A população do ácaro predador *A. largoensis* foi estabelecida e mantida por meio de coletas de indivíduos adultos. Os ácaros foram coletados de folíolos de coqueiros (*Cocos nucifera* L.) no campus do PICI da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, Ceará, em junho de 2024 e mantida em laboratório. Após a coleta, aproximadamente 120 ácaros foram

transferidos para quatro unidades de criação (arena), formando uma colônia de manutenção com densidade inicial de cerca de 30 ácaros por arena.

As unidades de criação consistiram em bandejas de polietileno circulares (18cm de diâmetro) (FIGURA 5A, B). No interior de cada bandeja, foi colocada uma camada de espuma em forma de disco (18cm de diâmetro e 1cm de espessura), recoberta com um disco de papel filtro de mesmo diâmetro. Sobre essa base, foi posicionado um quadrado de Policloreto de Vinila preto (PVC) (15×15cm e 01mm de espessura), tendo as bordas circundadas com algodão hidrofílico, saturado diariamente com água destilada, adicionada diretamente na bandeja. No centro de cada unidade, um pequeno tufo de lã de algodão coberto por um recorte de Polietileno transparente (PE) (1×1cm) serviu como local de abrigo e oviposição para os predadores.

Figura 5 - Criação de *Amblyseius largoensis* em laboratório. Unidades de criação (A) e colônia de manutenção (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A dieta fornecida aos ácaros predadores consistiu em uma combinação de alimentos amplamente utilizada para a multiplicação de ácaros fitoseídeos generalistas, como *A. largoensis* (Galvão *et al.* 2007, 2008). A alimentação incluiu folhas de *C. ensiformis* infestadas com todos os estágios de desenvolvimento de *T. urticae*; pólen de mamona (*Ricinus communis* L.), obtido de inflorescências coletadas no campo e preservado em recipiente fechado a 10°C e depositado sobre um recorte de PVC (1x1cm); e uma solução a 10% de mel de abelha (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758), diluída em água destilada e fornecida em fragmentos de papel

filtro sobre um recorte de PVC (1x1cm). A dieta completa (pólen + mel + *T. urticae*) foi reposta a cada 48 horas.

3.2.3 Inseticidas neurotóxicos e tratamento controle utilizados

Para a avaliação dos efeitos toxicológicos de inseticidas sobre *A. largoensis*, foram utilizados três inseticidas neurotóxicos, considerados promissores para registro e recomendação no controle populacional de *A. cocois* (capítulo 2). As concentrações testadas corresponderam às concentrações letais (CL₉₀) previamente estimadas por meio de análise de regressão Probit (TABELA 4).

Os tratamentos incluíram: o inibidor da acetilcolinesterase (AChE) Acefato a 750 g. kg⁻¹ (Orthene 750 BR 75% SP, UPL do Brasil); e os moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina (ACh), Flupiradifurone a 200 g. L⁻¹ (Sivanto Primer 200 SL, Bayer) e Tiametoxam a 250 g. kg⁻¹ (Actara 250 WG, 25% WG, Syngenta). Como controle, utilizou-se água destilada.

Tabela 4 - Características e concentrações dos inseticidas neurotóxicos utilizados nos bioensaios de toxicidade em *Amblyseius largoensis*.

Grupo Quím.	Ing. Ativo	Form.	Conc. I.A. do	DL ₉₀	Conc. I.A.
			P.C.		da DL ₉₀
			(g. kg ⁻¹ ou L ⁻¹)	(g ou mL.L ⁻¹)	(mg. L ⁻¹)
Organofosforado	Acefato	WP	750,0	0,291	218,0
Butenolida	Flupiradifurone	SC	200	0,488	97,6
Neonicotinoide	Tiametoxam	WG	250	0,782	195,5
Controle	H ₂ O	--	---	---	---

Grupo Quím. = Grupo Químico; Ing. Ativo = Ingrediente Ativo; Form. = Formulação (WP = Pó Molhável; SC = Suspensão Concentrada; WG = Grânulo Dispersível em Água); Conc. I.A. no P.C. = Concentração do Ingrediente Ativo no Produto Comercial; DL₉₀ = Dose Letal que causa 90% de mortalidade na população *Aleurodicus cocois*; Conc. I.A. na DL₉₀ = Concentração do Ingrediente Ativo na calda final.

3.2.4 Bioensaios de Seletividade

3.2.4.1 Bioensaio de toxicidade com exposição tópica

Para a realização dos bioensaios, fêmeas adultas de *A. largoensis* de idade conhecida (7 dias) foram selecionadas. Para obter essa padronização, os tufo de lã de algodão com ovos, provenientes das unidades de criação da colônia de manutenção, foram separados em novas unidades. Após a eclosão, as ninfas (imatuross) foram mantidas (por 8 dias) nas

unidades e alimentadas (com pólen + mel + *T. urticae*) até atingirem a fase adulta e as fêmeas serem copuladas.

O bioensaio foi conduzido em unidades experimentais montadas em placas de Petri de 9 cm de diâmetro (FIGURA 6A, B). No interior de cada placa, foi disposta uma camada de espuma (8 cm de diâmetro e 1 cm de espessura) saturada com água destilada, recoberta por um disco de papel filtro de mesmo diâmetro. Sobre o papel filtro, foi colocado um recorte foliar de *C. ensiformis* (4 cm x 4 cm). Para evitar a fuga dos ácaros, o recorte foliar foi circundado com algodão hidrofílico saturado de água destilada. Em cada unidade experimental, foram fornecidas 20 protoninfas de *T. urticae* como presas.

Figura 6 - Material utilizados na montagem das arenas (A) e unidades experimentais (arenas) em placas de Petri de 9 cm de diâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente, fêmeas adultas de *A. largoensis* foram transferidas para bandejas de polietileno idênticas às unidades de criação, onde foram pulverizadas com um volume de 2 mL da calda de cada tratamento. A aplicação foi realizada com um aerógrafo (STEULA® DUPLA AÇÃO, MODELO: BC-61-03 Bico 0,3 mm), acoplado a um compressor de ar (SOLDAS®, MODELO AS18, 1/6 HP, fluxo de 20-23L/min) com pressão de trabalho de 10psi (10lbf/pol.²), determinada a partir de testes preliminares. Um grupo controle recebeu apenas água destilada. Após a aplicação, os ácaros foram expostos por 3 minutos aos tratamentos e, em seguida, transferidos individualmente para as unidades experimentais já preparadas.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos (três inseticidas e um controle) e vinte repetições, sendo cada repetição uma arena com um predador e vinte presas. O consumo de presas, a oviposição e a mortalidade foram avaliados a cada 24 horas, durante cinco dias. Os indivíduos que não apresentavam movimento com distância do tamanho de seu corpo, após um leve toque com um pincel, foram considerados mortos. Após cada avaliação, a oferta de presas foi repostas. Adicionalmente, os efeitos dos tratamentos na fertilidade foram avaliados por meio da viabilidade do primeiro ovo depositado por cada fêmea. Para isso, o ovo foi coletado, acondicionado em novas arenas e sua viabilidade foi monitorada por cinco dias. Os dados obtidos permitiram a construção de curvas de sobrevivência para avaliação do efeito letal, enquanto a análise do consumo, oviposição e conversão alimentar (ECA) para avaliação dos efeitos subletais.

3.2.4.2 Bioensaio de toxicidade com exposição residual

O bioensaio de toxicidade residual seguiu a mesma metodologia, materiais e delineamento experimental descritos no bioensaio de toxicidade tópica, com a ressalva do local e do volume de aplicação dos tratamentos. A pulverização foi realizada diretamente nos recortes foliares de *C. ensiformis* com um volume de 1 mL da calda por recorte. Após a aplicação, os recortes foram deixados secar por 30 minutos em temperatura ambiente, e somente então as unidades experimentais foram montadas e, em seguida, os ácaros predadores e presas foram transferidos. Os critérios de avaliação do consumo de presas, oviposição, eficiência de conversão alimentar (ECA), mortalidade e viabilidade do primeiro ovo foram os mesmos utilizados no bioensaio de toxicidade tópica.

3.2.5 Bioensaio comportamental de predação e taxa de consumo

Para a avaliação do comportamento de predação sobre ovos de *T. urticae*, as arenas experimentais foram semelhantes às dos bioensaios anteriores, utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e vinte repetições. A padronização da disponibilidade de presas foi realizada transferindo dez fêmeas adultas de *T. urticae* para cada unidade experimental (arena), onde foram mantidas por 24 horas para oviposição. Após esse período, as fêmeas e o excesso de ovos, quando necessário, foram cuidadosamente removidos, resultando em uma oferta consistente de 25 ovos por arena.

Inicialmente, fêmeas adultas de *A. largoensis* foram submetidas a uma privação alimentar de quatro horas, a fim de uniformizar o nível de saciedade e a busca por alimento. Após essa etapa, os ácaros foram submetidos à aplicação tópica dos tratamentos (inseticidas e controle) e expostos por 3 minutos, conforme descrito nos bioensaios anteriores. Finalizado o período de exposição, uma única fêmea predadora foi transferida para o centro de cada arena. O comportamento de busca foi monitorado por um período máximo de dez minutos, cronometrando-se o tempo de encontro com a presa. O encontro foi considerado responsivo quando o ácaro localizou e tocou o ovo. Os ácaros que não encontraram a presa nesse período (dez minutos) foram classificados como não responsivos na análise. Com as mesmas unidades experimentais, a taxa de consumo de ovos foi quantificada 24 horas após a introdução do predador, o que permitiu a avaliação da capacidade predatória diária.

3.2.6 Análise estatística dos dados

A sobrevivência/mortalidade, foram avaliadas por curvas de Kaplan-Meier (pacote survival), com comparação entre tratamentos pelo teste de log-rank e ajuste de p-valores pelo método de Benjamini-Hochberg (pacote survminer). As variáveis de predação, oviposição, eficiência de conversão alimentar (ECA), viabilidade de ovos e parâmetros comportamentais foram analisadas por modelos lineares generalizados (GLMs).

O consumo de presas foi analisado por modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) com distribuição binomial negativa, ajustados pelo pacote glmmTMB, incluindo Tratamento, Tempo e sua interação como efeitos fixos e Repetição como efeito aleatório. A significância dos efeitos foi avaliada por testes de Wald (Tipo III), implementados no pacote car, e as comparações múltiplas entre tratamentos foram realizadas por meio do pacote emmeans, com ajuste de Tukey, e organizadas com o auxílio do pacote multcompView.

Os dados de oviposição foram analisados por modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição Poisson, ajustados pela função glm (base do R), com verificação de dispersão pelo índice de Pearson. Como os efeitos de Tempo e da interação Tratamento x Tempo não foram significativos, adotou-se um modelo reduzido contendo apenas o fator Tratamento. A significância dos efeitos foi avaliada por análises de deviance (testes de Wald, Tipos II e III), utilizando o pacote car, e as comparações múltiplas foram realizadas com o pacote emmeans.

A viabilidade do primeiro ovo por repetição foi analisada por modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição binomial e correção de viés (AS_mean), ajustados pela

função `brglmFit` do pacote `brglm2`. A significância dos efeitos foi avaliada por testes de razão de verossimilhança (LRT), e as comparações múltiplas entre tratamentos foram realizadas por meio do pacote `emmeans`.

A eficiência de conversão alimentar (ECA) foi calculada conforme a Equação 1 e, posteriormente, analisada por modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição Gama e ligação log, ajustados pela função `glm` (base do R). A significância dos efeitos foi avaliada por análise de deviance (teste Chi-square), e as comparações múltiplas entre tratamentos foram realizadas por meio do pacote `emmeans`.

$$ECA(\%) = \frac{OP}{PC} \times 100 \text{ em que:} \quad \text{Equação (1)}$$

ECA % = Eficiência de conversão alimentar

OP = número médio diário de ovos por fêmea

PC = número médio diário de presas consumidas por fêmea

As variáveis comportamentais (responsivo/não responsivo) foram analisadas por modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição binomial e correção de viés (AS_mean), ajustados pela função `brglmFit` do pacote `brglm2`. A significância global foi avaliada por testes de razão de verossimilhança (LRT), e as comparações múltiplas entre tratamentos foram realizadas por meio do pacote `emmeans`.

O tempo até o encontro predador-presa foi analisado por modelos de riscos proporcionais de Cox, ajustados pela função `coxph` (pacote `survival`), com significância global avaliada por testes de razão de verossimilhança (LRT), por meio da função `Anova` (pacote `survival`). As curvas de tempo até o evento foram estimadas pelo método de Kaplan-Meier, utilizando a função `survfit` (pacote `survival`), e visualizadas com o pacote `survminer`.

Adicionalmente, o número de presas consumidas foi analisado por modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição Poisson, ajustados pela função `glm` (pacote `stats`), e as comparações múltiplas foram realizadas pelo teste de Tukey por meio da função `glht` (pacote `multcomp`). Todas as análises foram conduzidas no R (versão 4.5.0; 2025-04-11 ucrt) no ambiente RStudio (versão 2025.09.2+418).

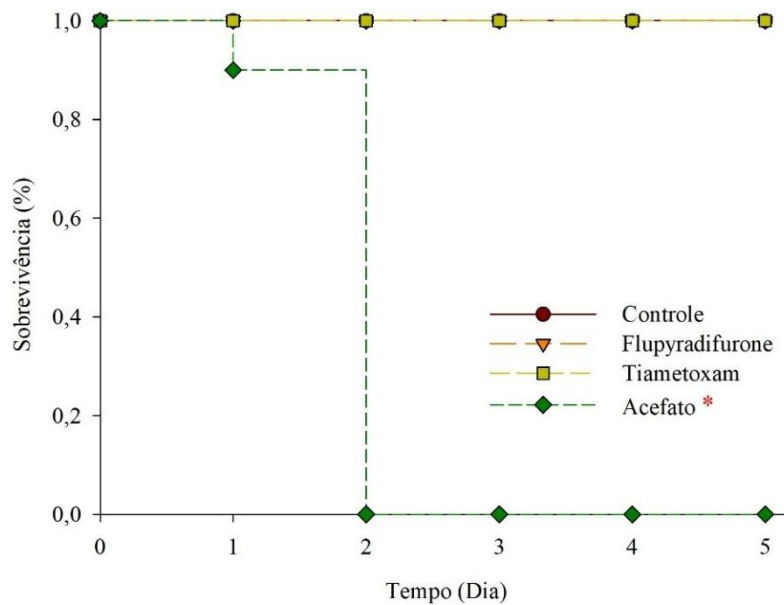
3.3 Resultados

3.3.1 Bioensaio de toxicidade com Exposição Tópica

3.3.1.1 Sobrevivência de *Amblyseius largoensis*

A sobrevivência do predador diferiu entre os tratamentos ($\chi^2 = 87,91$; $gl = 3$; $p < 0,001$) (GRÁFICO 2). Todas as fêmeas não expostas a inseticidas (Controle) sobreviveram durante os cinco dias de avaliação, e o mesmo padrão foi observado para Flupiradifurone e Tiametoxam ($p > 0,05$), sugerindo ausência de letalidade associada às doses avaliadas desses inseticidas. Em contraste, Acefato apresentou alta toxicidade, resultando em queda acentuada de sobrevivência ($p < 0,05$).

Gráfico 2 - Curvas de sobrevivência de *Amblyseius largoensis* (método de Kaplan–Meier) após exposição tópica de Flupiradifurone, Tiametoxam, Acefato ou água destilada (Controle). A curva sinalizada com asterisco (*) (Acefato) indica diferença significativa de acordo com o teste de Log-rank.



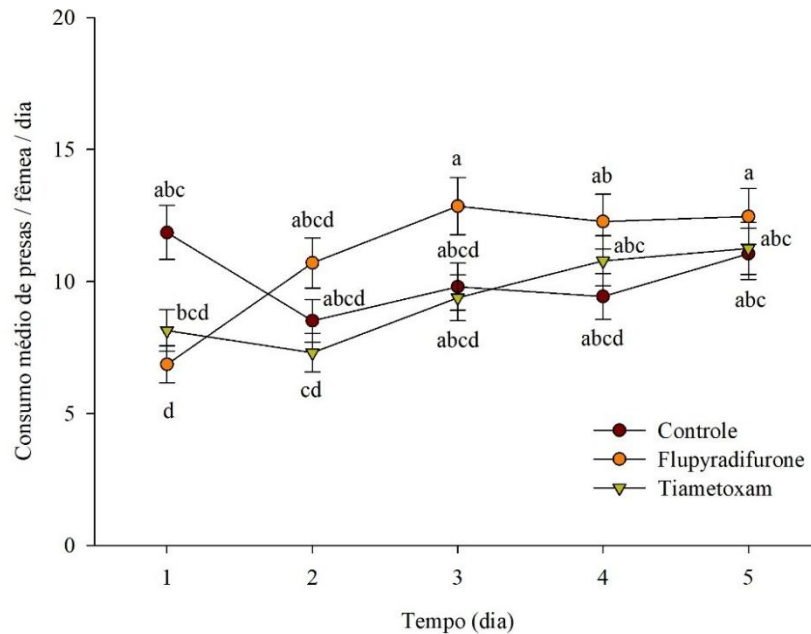
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1.2 Predação de *Amblyseius largoensis*

A análise do consumo médio diário de presas por fêmea de *A. largoensis* constatou efeito de Tratamento ($\chi^2 = 19,52$; $gl = 2$; $p < 0,05$) e de sua interação com o Tempo ($\chi^2 = 33,66$;

gl = 8; $p < 0,05$), sem efeito isolado de Tempo ($\chi^2 = 8,98$; gl = 4; $p = 0,062$). O consumo variou entre 7 e 13 presas por fêmea/dia, sem indicação de supressão acentuada da atividade predatória (GRÁFICO 3).

Gráfico 3 - Tendência do consumo diário de protoninfas de *Tetranychus urticae* (\pm EP) por fêmeas adultas de *Amblyseius largoensis* após exposição tópica dos inseticidas Flupiradifurone e Tiametoxam ou Controle (água destilada). Letras distintas indicam diferenças significativas na interação tratamentos vs. tempo (teste de Tukey, $p < 0,05$).



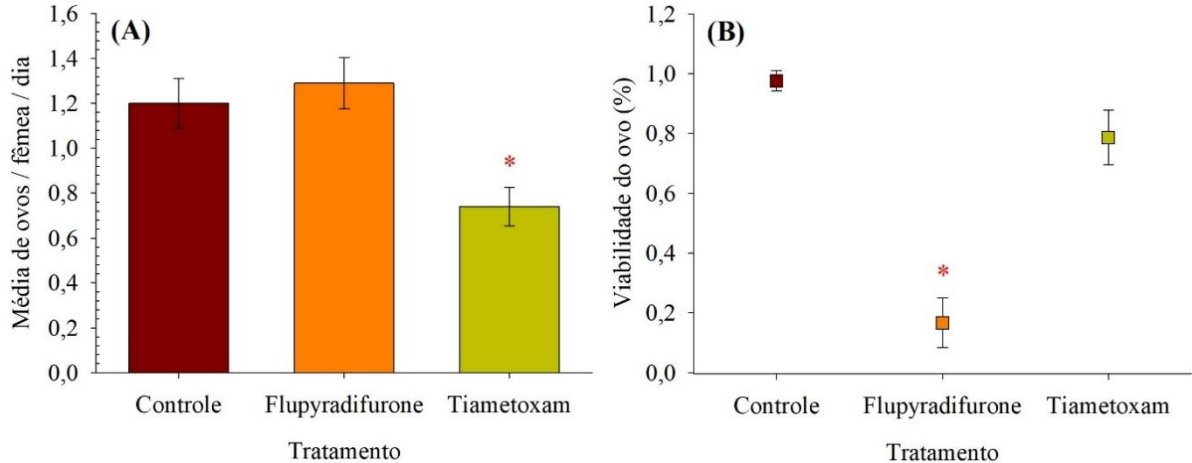
Fonte: Elaborado pelo autor.

No dia 1, fêmeas expostas ao Flupiradifurone ($6,86 \pm 0,70$) e Tiametoxam ($8,14 \pm 0,78$; $p > 0,05$) consumiram menor quantidade de presas que as do controle ($11,85 \pm 1,02$; $p < 0,01$). A partir do dia 2, o consumo das fêmeas expostas a Flupiradifurone aumentou ($10,70 \pm 0,94$), tornando-se semelhante as do controle ($8,51 \pm 0,80$; $p > 0,05$) e às fêmeas expostas ao Tiametoxam ($7,30 \pm 0,73$; $p > 0,05$). No Dia 3, observou-se o maior consumo registrado para Flupiradifurone ($12,85 \pm 1,08$; $p < 0,05$), superando tanto as do controle ($10,3 \pm 0,7$) quanto as que foram expostas a Tiametoxam ($9,6 \pm 0,6$). Todavia, fêmeas expostas a Tiametoxam apresentaram consumo de presas semelhante as do controle nos dias 2 e 3 ($p > 0,05$). Nos dias 4 e 5, não houve diferenças de consumo entre as fêmeas em todos os tratamentos ($p > 0,05$). No contexto geral, a exposição aos inseticidas resultou em queda transitória do consumo apenas no dia 1, seguida de rápida recuperação, principalmente de fêmeas tratadas com Flupiradifurone que atingiram o pico de atividade predatória no dia 3.

3.3.1.3 Oviposição e viabilidade dos ovos de *Amblyseius largoensis*

A exposição aos inseticidas afetou o desempenho reprodutivo de *A. largoensis*, tanto na oviposição ($\chi^2 = 47,62$; gl = 2; $p < 0,001$) quanto na viabilidade dos ovos ($\chi^2 = 39,74$; gl = 2; $p < 0,001$) (GRÁFICO 4A, B). Fêmeas expostas a Tiametoxam ovipositaram menos ovos ($0,74 \pm 0,08$) que as não expostas a inseticidas (Controle: $1,20 \pm 0,11$; $p < 0,005$) e as expostas a Flupiradifurone ($1,29 \pm 0,11$; $p < 0,001$), cuja oviposição foi similar as do Controle ($p > 0,05$). Em contraste, Flupiradifurone reduziu a viabilidade dos ovos, resultando em maior proporção de inviáveis que no Controle ($p < 0,005$) e em Tiametoxam ($p < 0,005$), enquanto Controle e Tiametoxam apresentaram viabilidade semelhante ($p > 0,05$). Assim, ambos os inseticidas comprometeram a reprodução, porém por mecanismos distintos: Tiametoxam reduziu a fecundidade, enquanto Flupiradifurone afetou a viabilidade dos ovos.

Gráfico 4 - Oviposição média diária por fêmea (\pm EP) (A), viabilidade do primeiro ovo (\pm EP) (B), após exposição tópica a Flupiradifurone, Tiametoxam ou Controle (água destilada). Médias marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey, $p < 0,05$).

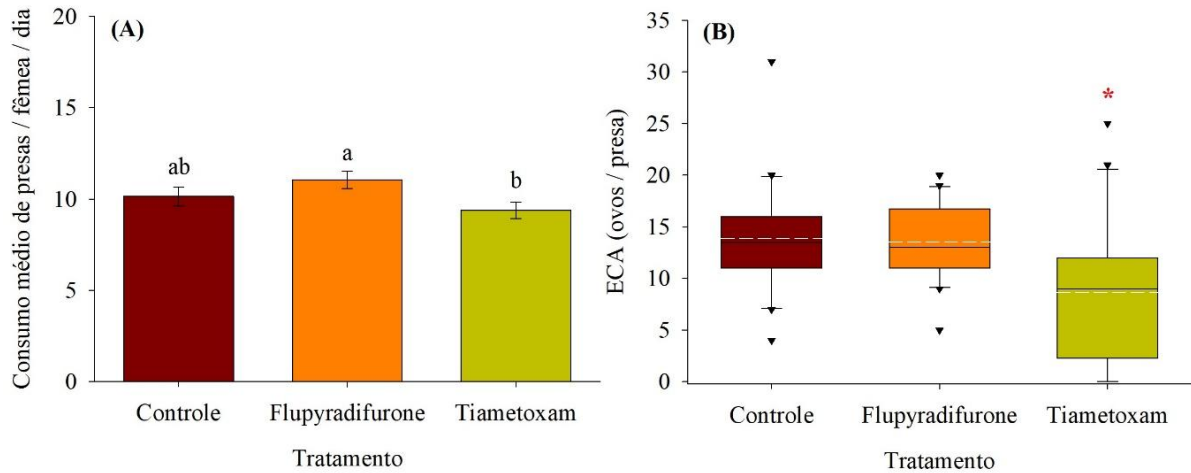


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1.4 Eficiência de conversão alimentar de *Amblyseius largoensis*

A eficiência de conversão alimentar também refletiu os efeitos dos inseticidas ($\chi^2 = 33,88$; gl = 2; $p < 0,05$) (GRÁFICO 5B). Fêmeas expostas a Flupiradifurone mantiveram uma eficiência de conversão alimentar equivalente as não expostas a inseticidas (Controle; $p > 0,05$), e superior as fêmeas expostas a Tiametoxam ($p < 0,05$). Por sua vez, fêmeas expostas a Tiametoxam tiveram conversão alimentar inferior as do Controle ($p < 0,05$).

Gráfico 5 - Consumo médio de presas (protoninfas de *Tetranychus urticae*) por fêmeas de *Amblyseius largoensis* (\pm EP) (A) e eficiência de conversão alimentar para produção de ovos (ECA) (B), após exposição tópica a Flupiradifurone, Tiametoxam ou Controle (água destilada). Médias seguidas por letras distintas ou marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey, $p < 0,05$).

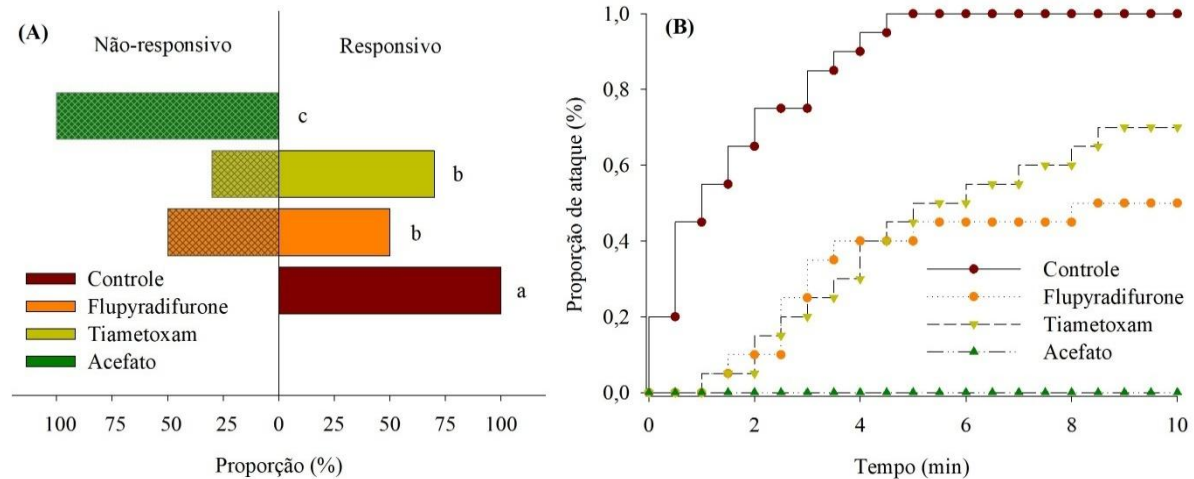


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1.5 Comportamento de predação e consumo diário

A proporção de fêmeas responsivas ao estímulo predatório variou entre os tratamentos ($\chi^2 = 51,14$; $gl = 3$; $p < 0,001$) (GRÁFICO 6A). No controle, a responsividade foi elevada e consistente (0,976; IC95%: 0,703-0,999), enquanto a exposição aos inseticidas reduziu a frequência de respostas ($p < 0,005$). Fêmeas expostas ao Tiametoxam mantiveram responsividade relativamente alta (0,691; IC95%: 0,466-0,851), semelhante às expostas ao Flupiradifurone (0,500; IC95%: 0,295-0,705; $p = 0,333$). Já com as fêmeas expostas ao Acefato praticamente não se observou responsividade ao estímulo predatório (0,024; IC95%: 0,001-0,297; $p < 0,005$).

Gráfico 6 - Respostas comportamentais de *Amblyseius largoensis* após exposição tópica a Flupiradifurone, Tiametoxam, Acefato ou controle (água destilada). Proporção de indivíduos responsivos e não responsivos (A) e tempo até o primeiro encontro predador-presa (B). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as fêmeas responsivas, o tempo até o ataque variou entre os tratamentos ($\chi^2 = 12,30$; $gl = 2$; $p < 0,005$) (Gráfico 6B). A exposição aos inseticidas prolongou o intervalo necessário para o ataque, reduzindo o risco ao longo do tempo em relação ao Controle. Fêmeas expostas a Tiametoxam apresentaram o menor risco de ataque (73,0%; $p < 0,001$), assim como as expostas a Flupiradifurone (61,9%; $p < 0,05$).

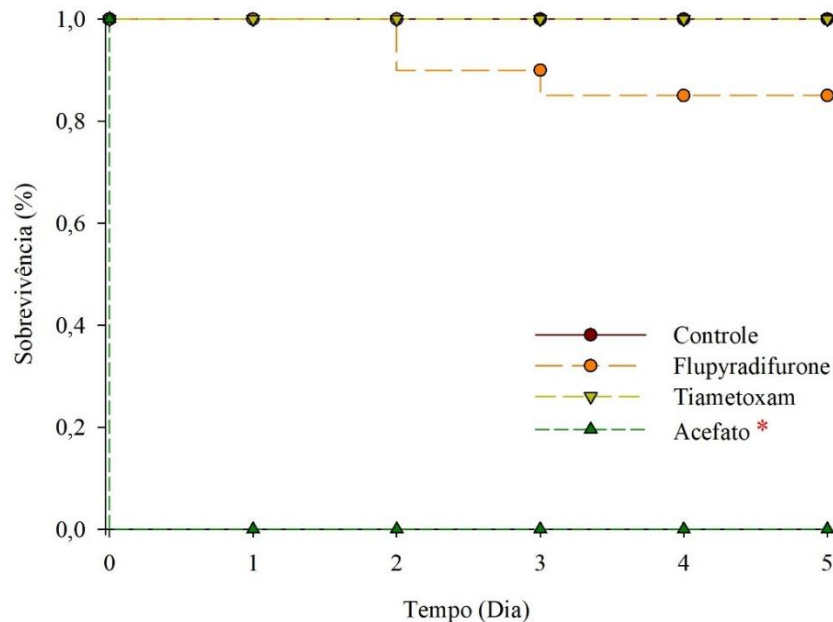
O consumo diário de ovos de *T. urticae* não diferiu entre os tratamentos ($\chi^2 = 4,98$; $gl = 2$; $p = 0,083$), com médias de $13,2 \pm 0,74$ no Controle, $12,6 \pm 0,49$ em Tiametoxam e $10,8 \pm 0,87$ em Flupiradifurone.

3.3.2 Bioensaios de toxicidade com exposição residual

3.3.2.1 Sobrevivência de *Amblyseius largoensis*

A sobrevivência de *A. largoensis* diferiu entre os tratamentos ($\chi^2 = 80,3$; $gl = 3$; $p < 0,001$) (GRÁFICO 7). Fêmeas do controle e expostas a resíduos de Tiametoxam mantiveram 100% de sobrevivência ao longo do período de avaliação ($p > 0,05$). Das que foram expostas a Flupiradifurone observou-se redução de aproximadamente 15% ($p < 0,0001$). Em contraste, a exposição residual de Acefato resultou em 100% de mortalidade das fêmeas ($p < 0,0001$).

Gráfico 7 - Curvas de sobrevivência de *Amblyseius largoensis* (método de Kaplan-Meier) após exposição residual dos inseticidas Flupiradifurone, Tiametoxam, Acefato ou água destilada (Controle). A curva sinalizada com asterisco (*), indica diferença significativa de acordo com o teste de Log-rank ($\chi^2 = 80,28$; gl = 3; $p < 0,001$).



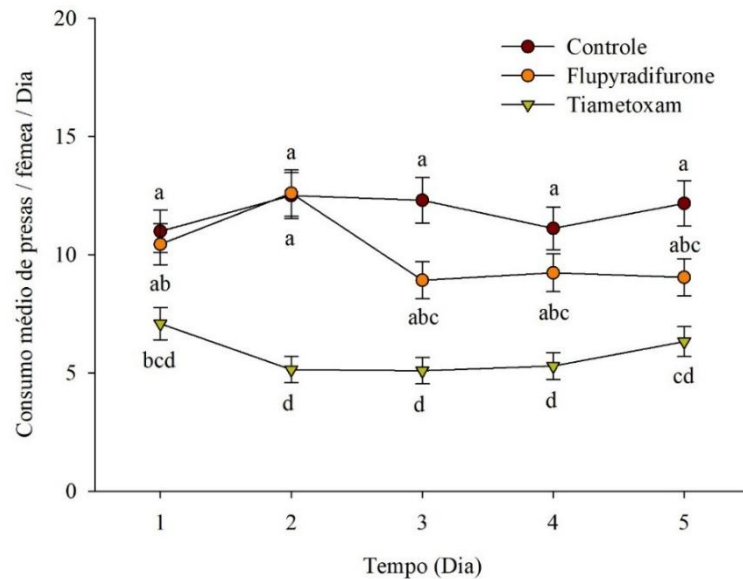
Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2.2 Predação de *Amblyseius largoensis*

A análise do consumo médio diário de presas por fêmea de *A. largoensis* após exposição residual constatou efeito de Tratamento ($\chi^2 = 15,74$; gl = 2; $p < 0,001$) e interação Tratamento x Tempo ($\chi^2 = 18,98$; gl = 8; $p = 0,015$), sem efeito isolado de Tempo ($\chi^2 = 2,70$; gl = 4; $p = 0,609$). O consumo variou entre 5 e 13 presas por fêmea/dia (GRÁFICO 8). No dia 1, fêmeas expostas a resíduos de Tiametoxam consumiram menos presas ($7,08 \pm 0,68$) que no Controle ($10,99 \pm 0,90$; $p < 0,05$), enquanto as expostas a resíduos de Flupiradifurone ($10,44 \pm 0,87$) apresentaram consumo semelhante ao Controle ($p > 0,05$) e ao Tiametoxam ($p > 0,05$). A partir do dia 2, fêmeas expostas a resíduos de Tiametoxam mantiveram consumo reduzido ($5,14 \pm 0,56$), inferior ao observado no Controle ($12,50 \pm 0,98$; $p < 0,001$) e das expostas a Flupiradifurone ($12,60 \pm 0,98$; $p < 0,001$). Esse padrão persistiu nos dias 3 e 4 ($5,09 \pm 0,56$; $5,29 \pm 0,57$, respectivamente), se mantendo abaixo do Controle ($12,30 \pm 0,94$; $11,11 \pm 0,90$; $p < 0,001$, respectivamente) e Flupiradifurone ($8,92 \pm 0,78$; $9,23 \pm 0,80$; $p < 0,005$, respectivamente). No dia 5, apesar de um leve aumento no consumo sob Tiametoxam ($6,32 \pm 0,63$), os valores permaneceram menores que no Controle ($12,17 \pm 0,95$; $p < 0,001$). Fêmeas

expostas a Flupiradifurone apresentaram consumo intermediário e estável ao longo do período ($9,23 \pm 0,80$; $9,04 \pm 0,79$), semelhante ao Controle ($p > 0,05$).

Gráfico 8 - Tendência do consumo de protoninfas de *Tetranychus urticae* ($\pm EP$) por fêmeas adultas de *Amblyseius largoensis* após exposição residual dos inseticidas Flupiradifurone, Tiametoxam ou Controle (água destilada) (A). Letras distintas indicam diferenças significativas na interação tratamentos vs. tempo (teste de Tukey, $p < 0,05$).

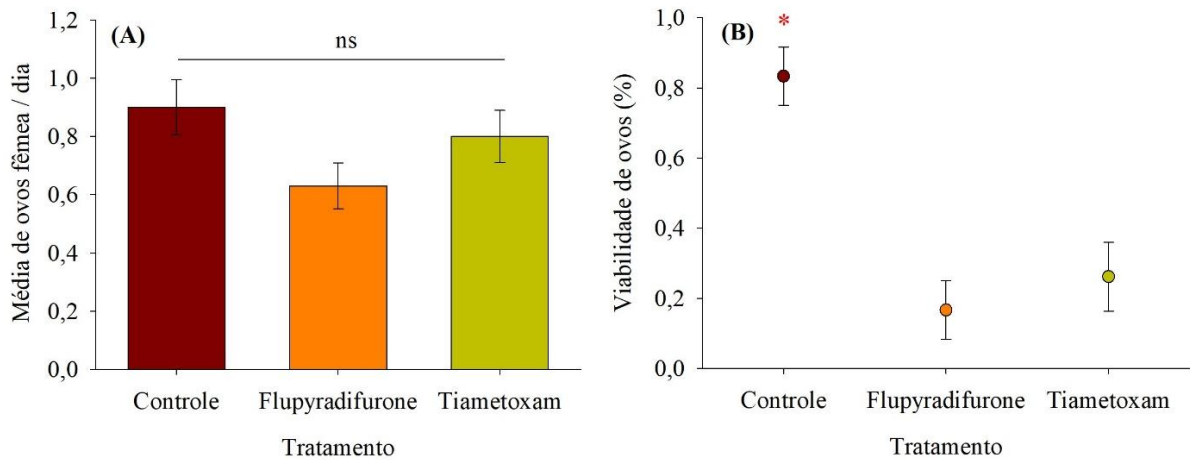


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.2.3 Oviposição e viabilidade dos ovos de *Amblyseius largoensis*

A exposição residual das fêmeas aos inseticidas não alterou a oviposição diária de *A. largoensis* ($\chi^2 = 5,09$; $gl = 2$; $p = 0,078$) (GRÁFICO 9A). A produção variou entre 0,45 e 1,00 ovo/fêmea/dia, com discreta redução sob Flupiradifurone nos dias finais, porém sem significância estatística ($p > 0,05$). Em contraste, a viabilidade dos ovos diferiu entre os tratamentos ($\chi^2 = 25,10$; $gl = 2$; $p < 0,001$) (GRÁFICO 9B). O Controle apresentou a maior proporção de ovos viáveis ($0,83 \pm 0,08$), enquanto Flupiradifurone ($0,17 \pm 0,08$) e Tiametoxam ($0,26 \pm 0,10$) reduziram substancialmente essa proporção ($p < 0,005$), sem diferença entre si ($p > 0,70$). Assim, na exposição residual, ambos os inseticidas comprometeram a viabilidade dos ovos, embora sem efeitos detectáveis sobre a fecundidade.

Gráfico 9 - Oviposição média diária por fêmea (\pm EP) (A) e viabilidade do primeiro ovo (\pm EP) (B), após exposição residual dos tratamentos. Médias marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas (teste de Tukey, $p < 0,05$).

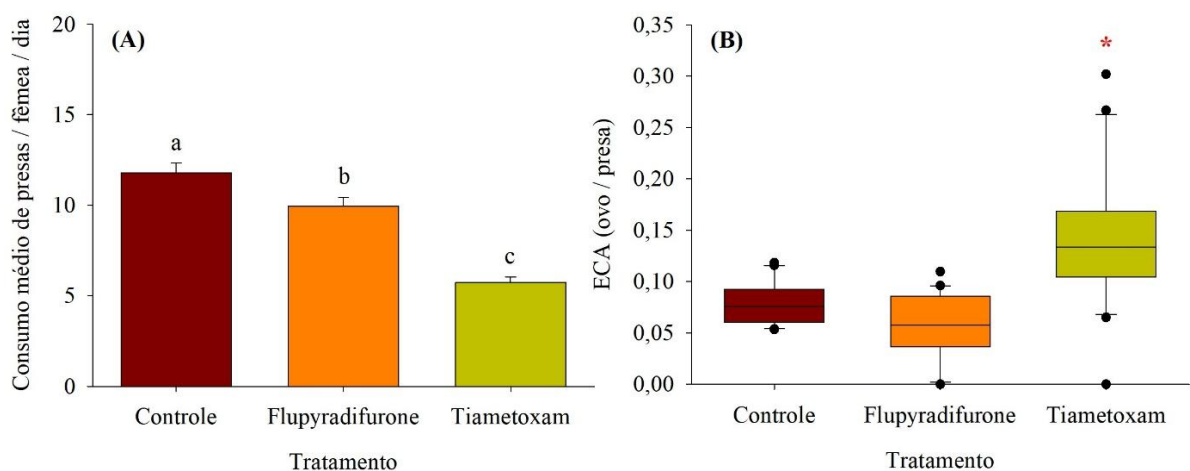


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.2.4 Eficiência de conversão alimentar de *Amblyseius largoensis*

A exposição residual aos inseticidas afetou a conversão alimentar das fêmeas ($\chi^2 = 45,81$; $gl = 2$; $p < 0,001$) (GRÁFICO 10B). Fêmeas não expostas a inseticidas (controle) apresentaram conversão alimentar ($0,078 \pm 0,008$) semelhante à observada em fêmeas expostas a Flupiradifurone ($0,058 \pm 0,006$; $p = 0,086$). Já as fêmeas expostas a Tiametoxam exibiram conversão alimentar significativamente maior ($0,146 \pm 0,014$), superando tanto as do controle quanto as expostas a Flupiradifurone ($p < 0,001$).

Gráfico 10 - Consumo médio de presas (A), eficiência de conversão alimentar para produção de ovos (ECA) (B), após exposição residual dos tratamentos. Médias seguidas por letras distintas ou marcadas com asterisco (*) indicam diferenças significativas (teste de Tukey, $p < 0,05$).



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Discussão

Os resultados obtidos neste estudo mostram que a exposição de *A. largoensis* aos inseticidas avaliados desencadeia um conjunto de efeitos letais e subletais que, em sua totalidade, contribuem para caracterizar o perfil de seletividade dos compostos no contexto do manejo integrado de pragas (MIP). A análise integrada dos bioensaios de exposição tópica (contato direto) e residual, demonstraram que os inseticidas Acefato, Flupiradifurone e Tiametoxam alteram parâmetros biológicos e o desempenho funcional do predador de forma distinta, reforçando a importância de critérios amplos de avaliação (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; GUEDES *et al.*, 2016).

O Acefato apresentou toxicidade severa tanto por exposição tópica quanto por exposição residual, resultando em 100% de mortalidade de *A. largoensis* em curto período. Esse padrão é compatível com resultados reportados para outros inimigos naturais expostos a inseticidas organofosforados, como os predadores *Chrysoperla sanguinea* Burmeister, 1839 (Neuroptera: Chrysopidae) e *Orius insidiosus* Say, 1832 (Hemiptera: Anthocoridae), bem como o parasitoide *Cotesia flavipes* Cameron, 1891 (Hymenoptera: Braconidae), nos quais o Acefato e compostos do mesmo grupo químico apresentaram elevada toxicidade aguda em bioensaios laboratoriais (FERNANDES *et al.*, 2016). Essa elevada letalidade está associada ao modo de ação dos organofosforados, caracterizado pela inibição da acetilcolinesterase, decorrente da bioativação do Acefato ao metabólito metamidofós, mecanismo amplamente descrito para artrópodes não-alvo em estudos toxicológicos clássicos (MAHAJNA; QUISTAD; CASIDA, 1996). Assim, ainda que os estudos citados não tenham avaliado diretamente ácaros predadores, os resultados obtidos neste trabalho são coerentes com o padrão de toxicidade descrito para inimigos naturais, reforçando que o uso do Acefato é incompatível com sistemas produtivos que priorizam a conservação de ácaros predadores.

Em contraste, Flupiradifurone e Tiametoxam mantiveram elevada sobrevivência do predador no bioensaio de exposição tópica e baixa mortalidade na exposição residual, indicando que a concentração avaliada pode estar abaixo do limiar de suscetibilidade de *A. largoensis*. Tendência semelhante foi observada para *Orius strigicollis* Poppius, 1909 (Hemiptera: Anthocoridae) em bioensaios de contato residual e tópico (LIN *et al.*, 2023). Além disso, estudos com Tiametoxam demonstram que seus efeitos sobre inimigos naturais podem variar conforme a espécie e a via de exposição, evidenciando impacto diferencial na sobrevivência de predadores generalistas quando expostos via cadeia alimentar (ESQUIVEL *et al.*, 2020).

No presente estudo, a redução de 15% na sobrevivência sob Flupiradifurone na exposição residual pode indicar um impacto fisiológico discreto, provavelmente insuficiente para comprometer a persistência populacional de *A. largoensis*. Para o Tiametoxam, a manutenção de 100% de sobrevivência reforça seu perfil de baixa letalidade em condições de exposição residual (TIRELLO; POZZEBON; DUSO, 2013). Contudo, a menor toxicidade aguda desses grupos químicos para organismos não alvo (predadores e parasitoides) não assegura seletividade ecológica, uma vez que efeitos subletais, alterações comportamentais e impactos indiretos podem comprometer o desempenho biológico desses inimigos naturais (DOUGLAS; TOOKER, 2016; MAIN *et al.*, 2018; SKOURAS *et al.*, 2021).

As diferenças comportamentais registradas entre exposição tópica e residual neste estudo oferecem uma perspectiva relevante sobre a dinâmica temporal dos efeitos subletais. Na exposição tópica, Flupiradifurone apresentou aumento do consumo a partir do segundo dia, seguido de redução no terceiro, indicando uma resposta estimuladora transitória. Esse padrão pode representar um ajuste compensatório temporário ao estresse químico, não sendo possível caracterizá-lo de forma conclusiva como hormese, embora seja compatível com respostas descritas para baixas doses de inseticidas (GUEDES; CUTLER, 2014).

Embora o aumento momentâneo sugira manutenção da atividade predatória, sua interpretação deve ser cautelosa, pois respostas compensatórias podem decorrer de estresses fisiológicos e não necessariamente traduzem benefícios adaptativos (COHEN, 2006; GUEDES, MAGALHÃES; COSME, 2009; MESLIN *et al.*, 2021; ALIMIRZAEI; KHAJEHALI; VAN LEEUWEM, 2023). Em contraste, Tiametoxam apresentou redução no consumo em diversos momentos, possivelmente associada a alterações neurofisiológicas que afetam a locomoção ou o comportamento de busca (DOUGLAS; TOOKER, 2016).

Na exposição residual, o padrão comportamental alterou-se substancialmente entre os inseticidas. Nesse contexto, Tiametoxam reduziu intensamente e de forma persistente o consumo de presas em todos os dias avaliados, configurando um efeito subletal de alto impacto funcional. Observou-se que o predador consumiu menos da metade do número de presas que foram consumidas no controle, e essa redução manteve-se mesmo após cinco dias de exposição, indicando efeito duradouro sobre os mecanismos de captura e alimentação (MALAGNINI *et al.* 2023). Esta consistência temporal reforça que o risco ecológico de Tiametoxam pode ser subestimado quando avaliado apenas por mortalidade (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Por outro lado, Flupiradifurone apresentou efeito mais moderado, em que o consumo na exposição residual permaneceu intermediário e sem diferenças significativas em relação ao controle.

Diferentemente da exposição tópica, que induziu sobre compensação no consumo, a exposição residual resultou em uma estabilização da predação, sugerindo que tanto a intensidade quanto a via de exposição modulam a resposta predatória de *A. largoensis*. Essa distinção evidencia que a avaliação funcional deve considerar cenários de exposição mais próximos das condições reais de campo. No entanto, observa-se uma notável lacuna na literatura quanto à investigação de fitoseídeos, e particularmente de *A. largoensis*, submetidos a neonicotinóides ou butenolídeos com mensuração direta do consumo de presas. Estudos com outras espécies de ácaros ou artrópodes demonstram que alterações comportamentais e na eficiência predatória são plausíveis mesmo na ausência de mortalidade (GUEDES, MAGALHÃES; COSME, 2009; COHEN, 2006; MALAGNINI *et al.*, 2023), reforçando a relevância biológica e ecológica do efeito observado neste estudo. Nesse contexto, o presente estudo fornece resultados inéditos de que, sob condições de exposição residual, Flupiradifurone pode afetar de forma relativamente limitada a eficiência predatória de *A. largoensis*, aproximando-se de situações reais em sistemas agrícolas, além de destacar seu potencial de compatibilidade em programas de manejo integrado de pragas.

Independentemente da via de exposição, Flupiradifurone e Tiametoxam afetaram de maneira consistente aspectos centrais da reprodução de *A. largoensis*. No contato direto, observou-se redução evidente da oviposição e queda acentuada da viabilidade dos ovos, especialmente sob Flupiradifurone. Efeitos semelhantes, ainda que menos intensos, também ocorreram na exposição residual para ambos os inseticidas. Esse padrão é amplamente corroborado por evidências em outros artrópodes em que, neonicotinóides em doses subletais reduzem a eclosão de ovos em percevejos e prejudicam a viabilidade espermática em abelhas (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; GUEDES *et al.*, 2016; MESLIN *et al.*, 2021). De forma complementar, estudos com outros ácaros predadores indicam que esses compostos podem alterar diversos parâmetros reprodutivos, sugerindo que, mesmo quando classificados como “seletivos”, os inseticidas têm potencial para comprometer significativamente a fecundidade e a persistência populacional de inimigos naturais (DUSO; VAN LEEUWEN; POZZEBON, 2020; KNAPP *et al.*, 2024; MALAGNINI *et al.*, 2023). Além disso, a toxicidade de pesticidas para ácaros predadores, como os fitoseídeos, depende de processos fisiológicos críticos, incluindo penetração, ativação, metabolismo, transporte, excreção e afinidade pelo sítio de ação (DUSO; VAN LEEUWEN; POZZEBON, 2020).

A taxa de conversão alimentar mostrou-se sensível à exposição residual. Fêmeas expostas a Tiametoxam apresentaram conversão significativamente maior que o controle e que Flupiradifurone. Essa elevação pode refletir desequilíbrio metabólico, no qual a energia

ingerida não é eficientemente alocada para reprodução ou manutenção (MOURA *et al.*, 2020). Dessa forma, a combinação entre baixa predação, conversão elevada, e baixa viabilidade dos ovos configura-se um cenário fisiológico de perturbação sistêmica, coerente com intoxicação subletal prolongada (GUEDES, MAGALHÃES; COSME, 2009; MESLIN *et al* 2021; ALIMIRZAEI; KHAJEHALI; VAN LEEUWEM, 2023). Por outro lado, Flupiradifurone manteve valores de conversão similares ao controle, reforçando seu caráter de impacto moderado em parâmetros fisiológicos de longo prazo, embora não isento de riscos reprodutivos relevantes.

No geral, os resultados demonstram que Acefato é totalmente incompatível com qualquer programa de MIP baseado na conservação de *A. largoensis*. Flupiradifurone apresenta baixa toxicidade aguda, efeitos comportamentais moderados e reduzido impacto reprodutivo, especialmente na viabilidade dos ovos. Enquanto Tiametoxam, apesar de altamente seletivo em mortalidade, causa expressivo comprometimento comportamental, nutricional e reprodutivo, configurando forte risco subletal. No entanto, sob condições residuais, podem ser considerados compatíveis ou relativamente seletivos segundo os critérios amplamente utilizados em avaliações internacionais (IRAC e IOBC), particularmente quando há manutenção da sobrevivência, preservação parcial da capacidade predatória e ausência de colapso reprodutivo completo. Esses inseticidas, portanto, não devem ser interpretados como totalmente incompatíveis, mas como produtos cujo uso requer ponderação, atenção ao momento de aplicação e integração a práticas que minimizem a exposição dos inimigos naturais (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

Dessa forma, o presente estudo não apenas avalia os efeitos toxicológicos sobre *A. largoensis*, mas também contextualiza sua relevância na prática agrícola, oferecendo subsídios para decisões mais equilibradas entre eficácia contra *A. cocois* e conservação de *A. largoensis*. Em um cenário de crescente demanda por sustentabilidade e racionalização do uso de inseticidas, compreender essa interação de maneira ampla que incluem tanto impactos negativos quanto vantagens funcionais, torna-se fundamental para avançar em direção a um MIP verdadeiramente integrado e responsável.

REFERÊNCIAS

- ABDEL RAZIK, M. A.; AL DHAFAR, Z. M.; ALQAHTANI, A. M.; OSMAN, M. A.; SWEELAM, M. E. Dissipation and residues of imidacloprid and its efficacy against whitefly, *Bemisia tabaci*, in tomato plants under field conditions. **Molecules**, Basel, v. 27, art. 7607, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27217607>.
- AFTAB, Z. H.; ANJUM, T.; AKRAM, W.; BOKHARI, N. A.; REHMAN, A.; SHARIF, S.; RIZWANA, H.; MUNIR, B. **Biological pest control and sustainable agroecosystems**. In: Sustainable agroecosystems: principles and practices (Agricultural Sciences). London: IntechOpen, 2024. Cap. 8, p. 1-34. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1006693>.
- AHMAD, M.; DENHOLM, I.; BROMILOW, R. H. Delayed cuticular penetration and enhanced metabolism of deltamethrin in pyrethroid resistant strains of *Helicoverpa armigera* from China and Pakistan. **Pest Management Science**, London, v. 62, n. 9, p. 805-810, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1225>.
- ALENCAR, P. G. de; ESPINDOLA, G. M. de; CARNEIRO, E. L. N. da C. Dwarf cashew crop expansion in the Brazilian semiarid region: assessing policy alternatives in Piau . **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 79, p. 1-9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.042>.
- ALFAIA, J. P.; BARROS, M. E. N.; MELO, L. L.; LIMA, D. B.; DIAS-PINI, N. S.; MELO, J. W. S. Biological performance of the predatory mites *Amblyseius largoensis* and *Euseius concordis* fed on eggs of *Aleurodicus cocois*. **Systematic & Applied Acarology**, London, v. 23, n. 11, p. 2099-2103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.23.11.2>.
- ALFAIA, J. P.; MELO, L. L.; MONTEIRO, N. V.; LIMA, D. B.; MELO, J. W. S. Functional response of the predaceous mites *Amblyseius largoensis* and *Euseius concordis* when feeding on eggs of the cashew tree giant whitefly *Aleurodicus cocois*. **Systematic & Applied Acarology**, London, v. 23, n. 8, p. 1559-1566, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.23.8.6>.
- ALIMIRZAEI, S.; KHAJEHALI, J.; VAN LEEUWEN, T. Hormetic effects of neonicotinoid insecticides on *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, [s. l.], v. 192, p. 105396, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105396>.
- ALVAREZ, D. L.; HAYASHIDA, R.; CAVALLARO, M. C.; SANTOS, D. M.; SANTOS, L. M.; MÜLLER, C.; WATANABE, L. F. M.; BELLO, V. H.; KRAUSE-SAKATE, R.; HOBACK, W. W.; OLIVEIRA, R. C. Susceptibility of *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) Mediterranean Populations Found in São Paulo, Brazil to 11 Insecticides and Characterization of Their Endosymbionts. **Insects**, Basel, v. 15, n. 670, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects15090670>.
- SÁNCHEZ-BAYO, F.; TENNEKES, H. A. Time-Cumulative Toxicity of Neonicotinoids: Experimental Evidence and Implications for Environmental Risk Assessments. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 17, n. 5, 1629, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17051629>.

- ANDAYANIE, W. R.; LUKITO, M.; CHASANATUN, F. Antifungal of cashew (*Anacardium occidentale* Linn) leaves, nutshells, and peduncle bagasse ashes extracts against sooty mould fungi (*Capnodium* sp). **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 1011, n. 1, p. 012039, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1011/1/012039>.
- ARAÚJO, I. F.; RODRIGUES, J. K. Revisão dos ácaros phytoseiidae (acari: mesostigmata) associados ao bioma caatinga: compilação de dados e checklist. **Journal of Neotropical Biology**, Goiânia, v. 20, n. 2, p. 54-70, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5216/rbn.v20i2.75417>.
- ARGOLO, P. S.; REVYNTHI, A. M.; CANON, M. A.; BERTO, M. M.; ANDRADE, D. J.; DÖKER, Í.; RODA, A.; CARRILLO, D. Potential of predatory mites for biological control of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). **Biological Control**, [s. l.], v. 149, p. 104330, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104330>.
- BACCI, L.; PEREIRA, E. J. G.; CRESPO, A. L. B.; PICANÇO, M. C.; COUTINHO, D. C.; SENA, M. E. Eficiência e seletividade de inseticidas para o manejo de mosca branca e inimigos naturais em melancia. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 311, p. 47-54, 2007.
- BACCI, L.; PEREIRA, E. J. G.; FERNANDES, F. L.; PICANÇO, M. C.; CRESPO, A. L. B.; CAMPOS, M. R. Seletividade Fisiológica de Inseticidas a Vespas Predadoras (Hymenoptera: Vespidae) de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **BioAssay**, Viçosa, v. 1, n. 10, p. 1-7, 2006. DOI: <https://doi.org/10.14295/BA.v1.0.38>.
- BAKER, B. P.; GREEN, T. A.; LOKER, A. J. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. **Biological Control**, [s. l.], v. 140, p. 104095, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>.
- BALABANIDOU, V.; GRIGORAKI, L.; VONTAS, J. Insect cuticle: a critical determinant of insecticide resistance. **Current Opinion in Insect Science**, [s. l.], n. 27, p. 68-74, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.03.001>.
- BARMAN, M.; SAMANTA, S.; THAKUR, H.; CHAKRABORTY, S.; SAMANTA, A.; GHOSH, A.; TARAFDAR, J. Effect of neonicotinoids on bacterial symbionts and insecticide-resistant gene in whitefly, *Bemisia tabaci*. **Insects**, Basel, v. 12, art. 742, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12080742>.
- BARTLING, M. T.; BRANDT, A.; HOLLERT, H.; VILCINSKAS, A. Current insights into sublethal effects of pesticides on insects. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 25, n. 11, 6007, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25116007>.
- BASS, C.; PUINEAN, A. M.; ANDREWS, M.; CUTLER, P.; DANIELS, M.; ELIAS, J.; PAUL, V. L.; CROSTHWAITE, A. J.; DENHOLM, L.; FIELD, L. M.; FOSTER, S. P.; LIND, R.; WILLIAMSON, M. S.; SLATER, R. Mutation of a nicotinic acetylcholine receptor β subunit is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. **BMC Neuroscience**, [s. l.], v. 12, art. 51, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2202-12-51>.
- BATIHA, G. E.-S.; ALQAHTANI, A.; ILESANMI, O. B.; SAATI, A. A.; EL-MLEE, A.; HETTA, H. F.; BESHIBISHY, A. M. Avermectin derivatives, pharmacokinetics, therapeutic

and toxic dosages, mechanism of action, and their biological effects. **Pharmaceuticals**, Basel, v. 13, n. 8, art. 196, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph13080196>.

BITTENCOURT, V. C. E.; MOREIRA, A. M. S.; FERREIRA, A. A.; FERREIRA, E. A. E.; GOMIDES, A. F. F.; RODRIGUES, C. V.; MARTINS, G. F.; SILVA, J. G.; BORGES, K. B.; DENADAI, A. M. L. Nanostructured insecticide composition through the incorporation of natural abamectin in β -cyclodextrin: activity against *Aedes aegypti* larvae. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 32, n. 11, p. 2023-2032, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210093>.

BRAINER, Maria Silvana de Carvalho Pimentel. **Cajucultura**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2022. (Caderno Setorial ETENE, Agropecuária, ano 7, n. 230).

BRAINER, Maria Silvana de Carvalho Pimentel; VIDAL, Maria de Fátima. **Cajucultura**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2020. (Caderno Setorial ETENE, ano 5, n. 114).

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, [2025]. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/agrofit/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Culturas com Suporte Fitossanitário Insuficiente (CSFI). Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/culturas-com-suporte-fitossanitario-insuficiente-csfi>. Acesso em: 15 maio 2025.

CABI INTERNATIONAL. *Aleurodicus cocois* (mosca branca do coco). In: **CABI Compendium**. [S. l.]: CABI, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.4139>. Acesso em: 17 fev. 2026.

CALVET, É. C.; LIMA, D. B.; DE LA PAVA, N.; MELO, J. W. S.; GONDIM JR., M. G. C. The association between the exotic species *Raoiella indica* Hirst and the predator *Amblyseius largoensis* (Muma) may cause displacement of the native species *Oligonychus pratensis* (Banks). **Biological Invasions**, [s. l.], v. 26, p. 757-767, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-023-03205-1>.

CARVALHO, J. R.; PRATISSOLI, D.; VIANNA, U. R.; HOLTZ, A. M. **Análise de probit aplicada a bioensaios com insetos**. Colatina: IFES, 2017. 102p.

CASIDA, J. E. Neonicotinoid metabolism: compounds, substituents, pathways, enzymes, organisms, and relevance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 8, p. 2923-2931, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf102438c>.

CHUQUIANA-CAIZA, M. J.; CHIRINOS, D. T.; GRANJA, E.; UGSHA-SABANDO, J. G. Uso de insecticidas para el control de *Trialeurodes vaporariorum* y el rendimiento del tomate en condiciones de invernadero. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 36, n. 3, p. 287-298, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51372/bioagro363.4>.

COELHO, C. R.; SANTOS, M. C.; VITERI-JUMBO, L.; SENA FILHO, J. G.; CASTRO, K. N. C.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S.; SOUZA, A. S. Q.; TEODORO, A. V. Bioactividad

de *Spilanthes acmella* (Asteraceae) a *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) y selectividad al depredador *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae). **Revista de Protección Vegetal**, La Habana, v. 34, n. 1, 2019. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522019000100006. Acesso em: 18 jan. 2026.

COHEN, E. Pesticide-mediated homeostatic modulation in arthropods. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, [s. l.], v. 85, p. 21-27, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.09.002>.

COSTA, J. M. R.; LIMA, D. B.; GONDIM JR., M. G. C.; OLIVEIRA, J. E. M.; MELO, J. W. S. Astigmatid mites (Acari: Astigmata) as factitious prey for mass rearing *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, [s. l.], v. 95, n. 21, p. 1-14, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-025-01039-1>.

CREMONEZ, P. S. G.; PERIER, J. D.; SIMMONS, A. M.; RILEY, D. G. Determining field insecticide efficacy on whiteflies with maximum dose bioassays. **Insects**, Basel, v. 14, n. 6, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects14060510>.

DANG, K.; DOGGETT, S. L.; VEERA SINGHAM, G.; LEE, C.-Y. Insecticide resistance and resistance mechanisms in bed bugs, *Cimex* spp. (Hemiptera: Cimicidae). **Parasites & Vectors**, London, v. 10, p. 1-31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2232-3>.

DEMITE, P. R.; MORAES, G. J.; McMURTRY, J. A.; DENMARK, H. A.; CASTILHO, R. C. **Phytoseiidae Database**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2021. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae>. Acesso em: 18 ago. 2025.

DEMITE, P. R.; REZENDE, J. M.; LOFEGO, A. C.; AMARAL, F. S. R.; BARRETO, M. R.; MORAES, G. J. Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata: Phytoseiidae) from Mato Grosso State, Central-Western Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 93, suppl. 3, e20200729, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200729>. Acesso em: 18 ago. 2025.

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

DOUGLAS, M. R.; TOOKER, J. F. Meta-analysis reveals that seed-applied neonicotinoids and pyrethroids have similar negative effects on abundance of arthropod natural enemies. **PeerJ**, [s. l.], v. 4, p. 1-26, 2016. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.2776>.

DUBEY, V. K.; SAHOO, S. K.; GIRI, G. S.; DAS, A. Efficacy of thiamethoxam against whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) under open field conditions in okra. **Pest Management in Horticultural Ecosystems**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 109-115, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-4541.2023.00017.6>.

DUSO, C.; VAN LEEUWEN, T.; POZZEBON, A. Improving the compatibility of pesticides and predatory mites: recent findings on physiological and ecological selectivity. **Current Opinion in Insect Science**, [s. l.], v. 39, p. 63-68, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.03.005>.

STENBERG, J. A.; SUNDH, I.; BECHER, P. G.; BJORKMAN, C.; DUBEY, M.; EGAN, P. A.; FRIBERG, H.; GIL, J. F.; JENSEN, D. F.; JONSSON, M.; KARLSSON, M.; KHALIL, S.; NINKOVIC, V.; REHERMANN, G.; VETUKURI, R. R.; VIKETOOFT, M. When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. **Journal of Pest Science**, [s. l.], v. 94, n. 3, p. 665-676, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01354-7>.

ESQUIVEL, C. J.; MARTINEZ, E. J.; BAXTER, R.; TRABANINO, R.; RANGER, C. M.; MICHEL, A.; CANAS, L. A. Thiamethoxam differentially impacts the survival of the generalist predators, *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae), when exposed via the food chain. **Journal of Insect Science**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa070>.

FERNANDES, M. E. S.; ALVES, F. M.; PEREIRA, R. C.; AQUINO, L. A.; FERNANDES, F. L.; ZANUNCIO, J. C. Lethal and sublethal effects of seven insecticides on three beneficial insects in laboratory assays and field trials. **Chemosphere**, [s. l.], v. 156, p. 45-55, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.115>.

FLINT, M. L.; DREISTADT, S. H.; CLARK, J. K. **Natural enemies handbook: the illustrated guide to biological pest control**. Oakland: University of California Division of Agriculture and Natural Resources, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **MAFAP and Burkina Faso eye 10 high-potential commodities for exports push**. 24 out. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/in-action/mafap/news-details/mafap-and-burkina-faso-eye-10-high-potential-commodities-for-exports-push/en>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Relatório de avaliação climático: cenários pluviométricos no semiárido cearense**. Fortaleza, CE: FUNCEME, 2025. 54 p.

GENTZ, M. C.; MURDOCH, G.; KING, G. F. Tandem use of selective insecticides and natural enemies for effective, reduced-risk pest management. **Biological Control**, [s. l.], v. 52, p. 208-215, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.07.012>.

GERSON, U.; SMILEY, R. L.; OCHOA, R. **Mites (Acari) for pest control**. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2003.

GONÇALVES, M. W. O.; CORRÊA, M. C. M.; PEREIRA, R. C. A. Consórcio do cajueiro-anão ‘BRS 226’ com pimenta ‘BRS Avaí’ na formação do pomar. In: ANDRADE, J. K. B. (org.). **Pesquisas e inovações em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2024. p. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.58203/Licuri.22181>.

GUEDES, R. N. C.; CUTLER, G. C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. **Pest Management Science**, London, v. 70, n. 5, p. 690-697, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3669>.

GUEDES, R. N. C.; MAGALHÃES, L. C.; COSME, L. V. Stimulatory sublethal response of a generalist predator to permethrin: hormesis, hormoligosis, or homeostatic regulation?

Journal of Economic Entomology, [s. l.], v. 102, n. 1, p. 170-176, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1603/029.102.0124>.

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**, San Mateo, v. 61, p. 43-62, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646>.

GUPTA, R. C.; MILATOVIC, D. Insecticides. In: GUPTA, R. C. (ed.). **Biomarkers in Toxicology**. London: Academic Press, 2014. p. 389-407. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404630-6.00023-3>. Acesso em: 22 de set. 2025.

GUSMÃO, M. R.; PICANÇO, M.; GONRING, A. H. R.; MOURA, M. F. Seletividade fisiológica de inseticidas a Vespidae predadores do bicho-mineiro-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 34, p. 681-686, 2000.

HAIDER, I.; RIAZ, M.; ALI, S.; ALI, Q.; NOMAN, A.; HUSSAIN, D.; NADEEM, I.; AKHTAR, M. F.; ABBAS, A.; ASLAM, A.; MUSTAFA, H. S. B.; HASSAN, E. U.; ZUBAIR, M.; SALEEM, M.; MALIK, M. K. Efficacy of different insecticides alone and in combination with salicylic acid against cotton whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae). **Pakistan Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 58-62, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2023/36.1.58.62>.

HEIMPEL, G. E.; MILLS, N. J. **Biological control: ecology and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

HOY, M. A. Overview of a classical biological control project directed against the red palm mite in Florida. **Experimental & Applied Acarology**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 381-393, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9537-x>.

ISSA, K. A.; WOSULA, E. N.; STEPHANO, F.; LEGG, J. P. Evaluation of the efficacy of flupyradifurone against *Bemisia tabaci* on cassava in Tanzania. **Insects**, Basel, v. 13, p. 1-18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13100920>.

JAT, M.; DANGI, N. L.; SWAMI, H.; REDDY, K. N. Efficacy of insecticides against sucking insect pests infesting tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under protected cultivation. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 189-192, 2020.

JHA, S. K.; KUMAR, M. Relative efficacy of different insecticides against whitefly, *Bemisia tabaci* on tomato under field condition. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, [s. l.], v. 5, n. 5, p. 728-732, 2017.

KARUNKER, I.; BENTING, J.; LUEKE, B.; PONGE, T.; NAUEN, R.; RODITAKIS, E.; VONTAS, J.; GORMAN, K.; DENHOLM, I.; MORIN, S. Over-expression of cytochrome P450 CYP6CM1 is associated with high resistance to imidacloprid in the B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, Amsterdam, v. 38, n. 6, p. 634-644, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2008.03.008>.

KASHYAP, L.; SHARMA, D. C.; ANIL. Efficacy of insecticides and bio-pesticides for control of greenhouse whitefly on tomatoes in greenhouses in India. **Journal of Agricultural**

and **Urban Entomology**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 40-49, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3954/1523-5475-32.1.40>.

KAUR, H.; SINGH, S.; JAGOTA, N.; SHARMA, A. Pesticide biology in plants: plant uptake, translocation and accumulation. In: SHARMA, A.; KUMAR, V.; ZHENG, B. (ed.). **Pesticides in the environment: impact, assessment, and remediation**. Amsterdam: Elsevier, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99427-9.00004-5>.

KAYSER, H.; LEE, C.; DECOCK, A.; BAUR, M.; HAETTENSCHWILER, J.; MAIENFISCH, P. Comparative analysis of neonicotinoid binding to insect membranes: I. A structure-activity study of the displacement of [3H] imidacloprid in *Myzus persicae* and *Aphis craccivora*. **Pest Management Science**, London, v. 60, n. 10, p. 945-958, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.919>.

KNAPP, M.; HOUTEN, Y. V.; BAAL, E. V.; GROOT, T. Use of predatory mites in commercial biocontrol: current status and future prospects. **Acarologia**, Montpellier, v. 58, suppl., p. 72-82, 2018. DOI: <https://doi.org/10.24349/acarologia/20184275>.

KNAPP, R. A.; MATA, L.; MCDUGALL, R.; YANG, Q.; HOFFMANN, A. A.; UMINA, P. A. Acute toxicity effects of pesticides on predatory snout mites (Trombidiformes: Bdellidae). **Journal of Economic Entomology**, [s. l.], v. 117, n. 3, p. 951-962, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toae065>.

LEITE, G. L. D.; PICANÇO, M. C.; GUEDES, R. N. C.; GUSMÃO, M. R. Selectivity of insecticides with and without mineral oil to *Brachygastra lecheguana* (Hymenoptera: Vespidae): a predator of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Ceiba**, [s. l.], v. 39, p. 3-6, 1998.

LENTEREN, J. C. van; BOLCKMANS, K.; KÖHL, J.; RAVENSBERG, W. J.; URBANEJA, A. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>.

LI, Y.; XIE, Y.; XU, H. Comparing xylem mobility of four types of pesticides, glucose-fipronil conjugate, fipronil, Tiametoxam and abamectin, in soybean. **Journal of South China Agricultural University**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 84-88, 2016. DOI: <https://doi.org/10.7671/j.issn.1001-411X.2016.02.013>.

LIN, T.; GUO, Y.; HU, J.; WEI, H.; CHEN, X.; YANG, G.; FAN, G. Toxicity risk assessment of flupyradifurone for the predatory pirate bug, *Orius strigicollis* (Poppius) (Heteroptera: Anthocoridae), a biological control agent of *Diaphorina citri* Kuwayama. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 267, p. 115632, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115632>.

LIRA, V. A.; JUMBO, L. O. V.; FREITAS, G. S.; RÊGO, A. S.; GALVÃO, A. S.; TEODORO, A. V. Efficacy of *Amblyseius largoensis* (Muma) as a biocontrol agent of the red palm mite *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). **Phytoparasitica**, [s. l.], v. 49, p. 103-111, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00875-8>.

- MACHADO, A. V. A.; POTIN, D. M.; TORRES, J. B.; SILVA-TORRES, C. S. A. Selective insecticides secure natural enemies action in cotton pest management. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 184, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109669>.
- MAHAJNA, G.; QUISTAD, G. B.; CASIDA, J. E. Acephate toxicity and acetylcholinesterase inhibition: bioactivation to methamidophos. **Toxicology**, Amsterdam, v. 109, n. 3, p. 289-301, 1996.
- MAHENDRA, M.; SINGH, S. K. Efficacy of different insecticides against whitefly (*Bemisia tabaci*) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **The Pharma Innovation Journal**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 579-581, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22271/tpi.2022.v11.i2Sh.10709>.
- MAIN, A. R.; WEBB, E. B.; GOYNE, K. W.; MENGEL, D. Neonicotinoid insecticides negatively affect performance measures of non-target terrestrial arthropods: a meta-analysis. **Ecological Applications**, Washington, v. 28, n. 5, p. 1232-1244, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.1723>.
- MALAGNINI, V.; BALDESSARI, M.; DUSO, C.; POZZEBON, A.; ANGELI, G. Side-effects of a number of insecticides on predatory mites in apple orchards. **Acarologia**, Montpellier, v. 63, supl., p. 17-28, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24349/9tgw-xrc4>.
- McMURTRY, J. A.; MORAES, G. J. de; SOURASSOU, N. F. Revision of the lifestyles of Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. **Systematic & Applied Acarology**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 297-320, 2013. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.18.4.1>.
- MELO, J. W. S.; LIMA, D. B.; STAUDACHER, H.; SILVA, F. R.; GONDIM JR., M. G. C.; SABELIS, M. W. Evidence of *Amblyseius largoensis* and *Euseius alatus* as biological control agents of *Aceria guerreronis*. **Experimental & Applied Acarology**, [s. l.], v. 67, n. 3, p. 411-421, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-015-9963-7>.
- MENDES, J. A.; LIMA, D. B.; MONTEIRO, N. V.; GONDIM JR., M. G. C.; MELO, J. W. S. Phytoseiid mites in cashew trees: diversity and seasonality. **International Journal of Acarology**, London, v. 47, p. 339-345, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01647954.2021.1908423>.
- MESLIN, C.; BOZZOLAN, F.; BRAMAN, V.; CHARDONNET, S.; PIONNEAU, C.; FRANÇOIS, M.-C.; SEVERAC, D.; GADENNE, C.; ANTON, S.; MAIBÈCHE, M. Sublethal exposure effects of the neonicotinoid clothianidin strongly modify the brain transcriptome and proteome in the male moth *Agrotis ipsilon*. **Insects**, Basel, v. 12, n. 2, p. 152, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12020152>.
- MESQUITA, A. L. M.; BRAGA SOBRINHO, R. Pragas do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. de (Ed.). **Agronegócio Caju: práticas e inovações**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 195-215. Disponível em: <https://www.embrapa.br/biblioteca>. Acesso em: 20 set. 2025.
- MESQUITA, A. L. M.; MOTA, M. do S. C. de S.; OLIVEIRA, V. H. de. **Mosca-branca-do-cajueiro: bioecologia e manejo**. Fortaleza: Embrapa, 2020. (Comunicado Técnico).

Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1119900>. Acesso em: 7 nov. 2025.

MESQUITA, A. L. M.; MOTA, M. do S. C. de S.; SILVA, G. A. da; LIMA, A. C. Ocorrência de insetos fitófagos associados ao cajueiro no estado do Maranhão. **Revista Contemporânea**, [s. l.], v. 4, n. 10, p. 1-20, 2024. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1168045/1/ART-2024-71-Insetos-Marahaio.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 27 ago. 2025.

MESQUITA, A. L. M.; MOTA, M. do S. C. de S.; SILVA, G. A. da; OLIVEIRA, E. M. C.; SOARES, J. V. de S. Princípios ativos e características de defensivos agrícolas registrados para controle de pragas do cajueiro. In: BATISTA, J. K. (Org.). **Pesquisas e inovações em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2024. p. 109-122. Disponível em: <https://doi.org/10.58203/Licuri.22190>. Acesso em: 11 abr. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). **AGROFIT**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>. Acesso em: 7 nov. 2025.

MORAES, G. J.; CASTRO, T. M. M. G.; KREITER, S.; QUILICI, S.; GONDIM JR., M. G. C.; SÁ, L. A. M. Search for natural enemies of *Raoiella indica* Hirst in La Réunion Island (Indian Ocean). **Acarologia**, Montpellier, v. 52, p. 129-134, 2012.

MORAIS, E. G. F.; OLIVEIRA, J. S.; GONDIM JR., M. G. C.; MORAES, G. J. *Amblyseius largoensis* no controle do ácaro-vermelho-das-palmeiras em condições de semicampo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 51, n. 5, p. 671-675, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500030>.

MOTA, M. do S. C. de S.; MESQUITA, A. L. M. **Biologia e aspectos morfológicos da mosca-branca-do-cajueiro *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846)**. Fortaleza: Embrapa, 2018. (Comunicado Técnico, n. 246).

MOURA, J. I. L.; PEREIRA, R. R. da C.; PEREIRA, C. E. Trunk injection as an alternative approach to insecticide spraying: an experience with cashew trees. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 18, n. 7, art. 070207, 2022.

NAUEN, R.; DENHOLM, I. Resistance of insect pests to neonicotinoid insecticides: current status and future prospects. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, [s. l.], v. 58, n. 4, p. 200-215, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/arch.20043>.

NAUEN, R.; JESCHKE, P.; VELTEN, R.; BECK, M. E.; EBBINGHAUS-KINTSCHER, U.; THIELERT, W.; WÖLFEL, K.; HAAS, M.; KUNZ, K.; RAUPACH, G. Flupyradifurone: a brief profile of a new butenolide insecticide. **Pest Management Science**, London, v. 71, n. 6, p. 850-862, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3932>.

NAVIA, D.; CASTILHO, R. C.; MORAES, G. J. Controle de artrópodes-praga com ácaros predadores. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (ed.). **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília-DF: Embrapa, 2020. p. 141-161.

- NOGUEIRA, L.; MELVILLE, C. C. Insects and mites: pesticides resistance and management strategies. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 1, p. 68-74, 2020.
- NUNES, E. M.; FRANÇA, A. R. M.; SILVA, M. R. F. da; SÁ, V. C. de; GURGEL, I. A. Arranjos produtivos em dinâmicas de desenvolvimento regional: a cadeia da cajucultura no Território Açu-Mossoró (RN). **Redes: Revista do Desenvolvimento Regional**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 187-209, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17058/redes.v23i2.11660>.
- OLIVEIRA, E.; SILVA, B. F.; BOTTOLI, C. B. G. Determination of abamectin in soybean roots by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, Campinas, v. 11, n. 44, p. 76-84, 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.AR-46-2023>.
- OLIVEIRA, N. N.; MOTHE, C. G.; MOTHE, M. G.; OLIVEIRA, L. G. de. Cashew nut and cashew apple: a scientific and technological monitoring worldwide review. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 12-21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04051-7>.
- PATIL, S.; ARUNKUMAR, B.; RAGHUNATHA, R.; MAHESHWARAPPA, H. P.; REDDY, R. B. A.; HIREKURUBAR, R. B.; MASTIHOLLI, A. B. Evaluation of efficacy of newer molecules against spiraling whitefly *Aleurodicus dispersus* (Russel) in guava, *Psidium guajava* L. **Biological Forum - An International Journal**, [s. l.], v. 15, n. 9, p. 311-314, 15 set. 2023.
- QUEIROGA, V. de P.; LIMA, J. M. P. de; GOMES, J. P.; MELO, B. A. de; MENDES, N. V. B.; LIMA, D. de C.; ALBUQUERQUE, E. M. B. de. **Cajueiro (*Anacardium occidentale* L. ano precoce, clone CCP 76): tecnologias de plantio para os produtores do Rio Grande do Norte**. 1. ed. Campina Grande: AREPB, 2025. 295 p.
- RAJNA, S.; PRAVEEN, K. V.; LANEESHA, M.; KELAGERI, S. S. Recent trends in insecticide resistance research on whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae): a bibliometric profile. **Current Science**, [s. l.], v. 120, n. 9, p. 1433-1440, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18520/cs/v120/i9/1433-1440>.
- REGE, A.; LEE, J. S. H. The socio-environmental impacts of tropical crop expansion on a global scale: a case study in cashew. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 280, p. 109961, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109961>.
- RICUPERO, M.; DESNEUX, N.; ZAPPALÀ, L.; BIONDI, A. Target and non-target impact of systemic insecticides on a polyphagous aphid pest and its parasitoid. **Chemosphere**, [s. l.], v. 247, p. 125728, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125728>.
- RODITAKIS, E.; STAVRAKAKI, M.; GRISPOU, M.; ACHIMASTOU, A.; VAN WAETERMEULEN, X.; NAUEN, R.; TSAGKARAKOU, A. Flupyradifurone effectively manages whitefly *Bemisia tabaci* MED (Hemiptera: Aleyrodidae) and tomato yellow leaf curl virus in tomato. **Pest Management Science**, London, v. 73, n. 8, p. 1574-1584, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4577>.
- RODRÍGUEZ MORELL, H.; MIRANDA, I.; RAMOS, M.; BADI, M. H. Functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Muma) (Acari: Phytoseiidae) on

Polyphagotarsonemus latus (Banks) (Acari: Tarsonemidae) in Cuba. **International Journal of Acarology**, London, v. 36, n. 5, p. 371-376, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/01647954.2010.483235>.

RODRÍGUEZ, H.; RAMOS, M.; MONTOYA, A.; RODRÍGUEZ, Y.; CHICO, R.; MIRANDA, I.; DEPESTRE, T. L. Development of *Amblyseius largoensis* as biological control agent of the broad mite (*Polyphagotarsonemus latus*). **Biotecnología Aplicada**, Havana, v. 28, n. 3, p. 171-175, 2011.

ROUBOS, C. R.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; ISAACS, R. Mitigating the effects of insecticides on arthropod biological control at field and landscape scales. **Biological Control**, [s. l.], v. 75, p. 28-38, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.01.006>.

SAHITO, H. A.; SHAH, Z. H.; RUK, M.; SHAH, M. Z.; MANGRIO, W. M. Toxicant efficacy of some insecticides against whitefly *Bemisia tabaci*, under cotton field conditions at Khairpur-Sindh. **Academic Journal of Entomology**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 193-200, 2015.

SALMAN, M.; ABBAS, R. Z.; MEHMOOD, K.; HUSSAIN, R.; SHAH, S.; FAHEEM, M.; ZAHEER, T.; ABBAS, A.; MORALES, B.; ANEVA, I.; MARTÍNEZ, J. L. Assessment of avermectins-induced toxicity in animals. **Pharmaceuticals**, Basel, v. 15, n. 3, p. 332, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph15030332>.

SÁNCHEZ-BAYO, F. Insecticides mode of action in relation to their toxicity to non-target organisms. **Journal of Environmental & Analytical Toxicology**, [s. l.], v. S4, n. 002, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4172/2161-0525.S4-002>.

SARAIVA, W. V. A.; SILVA, R. R. da; SILVA, L. M. A.; AMARAL, E. A. do; SOUSA NETO, E. P. de; MACIEL, G. P. de S.; MELO, J. W. da S.; DIAS-PINI, N. da S. **Acarofauna planticola associada ao cajueiro em São Luís, MA**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2023. 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 242). ISSN 1679-6543.

SEIFERT, J. Neonicotinoids. *In: Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)*. Amsterdam: Academic Press, 2014. p. 477-482. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00168-8>.

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. de. Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. *In: SERRANO, L. A. L. (org.). Sistema de produção do caju*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. p. 2-10.

SERRÃO, J. E.; PLATA-RUEDA, A.; MARTINEZ, L. C.; ZANUNCIO, J. C. Side-effects of pesticides on non-target insects in agriculture: a mini-review. **The Science of Nature**, Berlin, v. 109, n. 2, p. 17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00114-022-01788-8>.

SHARMA, V. G.; KUMAR, S. Bio-efficacy of different insecticides against whitefly (*Bemisia tabaci*) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Journal of Entomology and Zoology Studies**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 464-469, 2020. Disponível em: <http://www.entomoljournal.com>. Acesso em: 7 nov. 2025.

SHIELDS, M. W.; JOHNSON, A. C.; PANDEY, S.; CULLEN, R.; GONZÁLEZ-CHANG, M.; WRATTEN, S. D.; GURR, G. M. History, current situation and challenges for

conservation biological control. **Biological Control**, [s. l.], v. 131, p. 25-35, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.12.010>.

IDDIQUI, J. A.; FAN, R.; NAZ, H.; BAMISILE, B. S.; HAFEEZ, M.; GHANI, M. I.; WEI, Y.; XU, Y.; CHEN, X. Insights into insecticide-resistance mechanisms in invasive species: challenges and control strategies. **Frontiers in Physiology**, [s. l.], v. 13, p. 1112278, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1112278>.

SILVA, B. G. da; CORRÊA, F. R.; SILVA, N. F. da; CAVALCANTE, W. S. da S.; RIBEIRO, D. F.; RODRIGUES, E. Chemical control of whitefly (*Bemisia tabaci*) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) in cotton crop. **Brazilian Journal of Science**, Rio Verde, v. 2, n. 2, p. 86-97, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i2.273>.

SKOURAS, P. J.; GATSOUNIS, S.; PAPACHRISTOS, D. P.; MILKOU, E.; KALISTRA, A.; TSITSIPIS, J.; KOUTSOUKOU, K.; KOTSIFIS, P. Toxicity and sublethal effects of imidacloprid and deltamethrin on the predator *Ceratomegilla undecimnotata*. **Insects**, Basel, v. 12, n. 8, p. 696, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12080696>.

SMITH, H. A.; NAGLE, C. A.; MACVEAN, C. A.; MCKENZIE, C. L. Susceptibility of *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae) to imidacloprid, thiamethoxam, dinotefuran and flupyradifurone in South Florida. **Insects**, Basel, v. 7, n. 4, p. 57, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects7040057>.

SOBRINHO, R. B.; MESQUITA, A. L. M.; MOTA, M. S. C. S. Óleos essenciais no controle de pragas do cajueiro. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 4, p. 4383-4398, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n4-082>.

SOUSA, T. L. T. L.; SHINOHARA, N. K. S.; LIMA, G. S.; FURTADO, A. F. T. L.; MARQUES, M. F. F.; ANDRADE, S. A. C. Cashew nutritional aspects and economic overview of cashew cultivation. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 11, p. e229101119435, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19435>.

STEVENS, J.; BRECKENRIDGE, C. B.; WRIGHT, J. The role of P-glycoprotein in preventing developmental and neurotoxicity: avermectins – a case study. *In*: KRIEGER, R. (Ed.). **Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology**. 3. ed. Amsterdam; Boston: Elsevier, 2010. Cap. 97, p. 2093-2110.

THANY, S. H. Molecular mechanism of action of neonicotinoid insecticides. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 24, n. 6, p. 5484, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24065484>.

TICE, C. M. Selecting the right compounds for screening: does Lipinski's Rule of 5 for pharmaceuticals apply to agrochemicals? **Pest Management Science**, London, v. 57, n. 1, p. 3-16, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1002/1526-4998\(200101\)57:1%3C3::AID-PS269%3E3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1526-4998(200101)57:1%3C3::AID-PS269%3E3.0.CO;2-6).

TIRELLO, P.; POZZEBON, A.; DUSO, C. The effect of insecticides on the non-target predatory mite *Kampimodromus aberrans*: laboratory studies. **Chemosphere**, [s. l.], v. 93, p. 1139-1144, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.046>.

- TOMIZAWA, M.; CASIDA, J. E. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, [s. l], v. 45, p. 247-268, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.45.120403.095930>.
- TORRES, J. B.; BUENO, A. de F. Conservation biological control using selective insecticides – a valuable tool for IPM. **Biological Control**, [s. l], v. 126, p. 53-64, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012>.
- TORRES, L. Efeitos subletais dos pesticidas nos artrópodes auxiliares. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 2, p. 43-52, 2012. ISSN 0871-018X.
- WANG, B.; YI, M.; WANG, M.; WANG, H.; TANG, Z.; ZHAO, H.; WEI, P.; LIAO, X.; XUE, W.; PAN, L.; SHI, L. Cuticle thickening mediates insecticide penetration resistance in *Spodoptera litura*. **Journal of Advanced Research**, Cairo, v. 78, p. 163-178, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2025.02.027>.
- YAHOUÉDO, G. A.; CHANDRE, F.; ROSSIGNOL, M.; GINIBRE, C.; BALABANIDOU, V.; MÉNDEZ, N.; PIGEON, O.; VONTAS, J.; CORNELIE, S. Contributions of cuticle permeability and enzyme detoxification to pyrethroid resistance in the major malaria vector *Anopheles gambiae*. **Scientific Reports**, [s. l], n. 7, p. 11091, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11357-z>.
- ZHANG, Y.; LORSBACH, B. A.; CASTETTER, S.; LAMBERT, W. T.; KISTER, J.; WANG, N. X.; KLITTICH, C. J. R.; ROTH, J.; SPARKS, T. C.; LOSO, M. R. Physicochemical property guidelines for modern agrochemicals. **Pest Management Science**, London, v. 74, n. 9, p. 1979-1991, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5037>.