

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CÂMPUS SÃO MIGUEL DO OESTE  
AGRONOMIA

Camila Moresco  
Felipe Belegante

**TOXICIDADE E EFICÁCIA DE BIOPESTICIDAS À BASE DE  
AZADIRACTINA E OXIMATRINE PARA O MANEJO DO PULGÃO  
DO REPOLHO E SEUS IMPACTOS SOBRE INSETOS PREDADORES**

São Miguel do Oeste – SC 2024

Camila Moresco  
Felipe Belegante

**TOXICIDADE E EFICÁCIA DE BIOPESTICIDAS À BASE DE  
AZADIRACTINA E OXIMATRINE PARA O MANEJO DO PULGÃO  
DO REPOLHO E SEUS IMPACTOS SOBRE INSETOS PREDADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Bacharelado em Agronomia do  
Campus São Miguel do Oeste do Instituto  
Federal de Santa Catarina como requisito  
parcial à obtenção do título de **Engenheiro(a)**  
**Agrônomo(a)**

Orientador:

Prof. Dr. Odimar Zanuzo Zanardi

Coorientadora

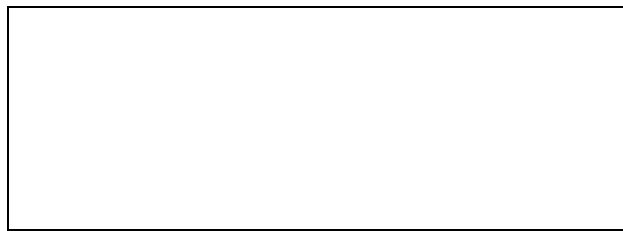
Prof. Dra. Aquidauana Miqueloto Zanardi

São Miguel do Oeste

Camila Moresco  
Felipe Belegante

**TOXICIDADE E EFICÁCIA DE BIOPESTICIDAS À BASE DE  
AZADIRACTINA E OXIMATRINE PARA O MANEJO DO PULGÃO  
DO REPOLHO E SEUS IMPACTOS SOBRE INSETOS PREDADORES**

Este trabalho foi aprovado pela Banca examinadora composta por (Odimar Zanuzo Zanardi, Francieli Lima Cardoso e Priscila Flôres Aguirre) na data (13/08/2024), cujas notas e assinaturas constam em Ata de Defesa. Por fim, as considerações propostas pela Banca foram incorporadas no trabalho, estando esse apto para arquivamento.



Prof. Dr. Odimar Zanuzo Zanardi

Instituto Federal Santa Catarina - Câmpus São Miguel do Oeste

## RESUMO

A incidência de pragas e doenças tem sido um dos principais fatores que limitam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Em Brassicaceae, uma das principais famílias de plantas olerícolas cultivadas e consumidas no Brasil, o pulgão da couve *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae) tem sido considerado praga chave da cultura devido aos danos diretos (sucção de seiva e injeção de toxinas) e indiretos (transmissão de vírus e redução na taxa fotossintética) causado às plantas. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar em condições de laboratório, semicampo ou campo a atividade afidicida e a eficácia dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrina sobre *B. brassicae* e seus impactos sobre os principais insetos predadores deste afídeo. Em laboratório, os resultados mostraram que os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrina proporcionaram alta toxicidade aguda para ninfas e fêmeas adultas de *B. brassicae*, de maneira dependente da concentração, do estágio de desenvolvimento e do tempo de exposição. Entre os estágios de desenvolvimento, as ninfas de *B. brassicae* foram mais suscetíveis aos biopesticidas do que as fêmeas adultas. Além da toxicidade aguda, os biopesticidas reduziram o número de descendentes e a quantidade de honeydew excretada pelas fêmeas de *B. brassicae*. Além disso, os biopesticidas induziram atividade repelente para fêmeas de *B. brassicae*. Apesar da alta toxicidade aguda e dos pronunciados efeitos subletais, em condição de semicampo, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrina proporcionaram baixa persistência biológica (mortalidade > 80% até 3 e 1 DAP, respectivamente) em comparação com o inseticida sintético flupiradifurone (mortalidade > 80% até 7 DAP) usado como controle positivo. No entanto, em campo, os biopesticidas proporcionaram alta eficácia no controle populacional de *B. brassicae* e nenhum impacto significativo nos níveis populacionais de crisopídeos, joaninhas e sirfídeos, que são considerados os principais insetos predadores de *B. brassicae* nos agroecossistemas. Portanto, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrina constituem uma importante ferramenta de manejo para *B. brassicae* em diferentes agroecossistemas, incluindo aqueles de base ecológica, onde medidas de manejo são escassas e ferramentas efetivas de controle precisam ser incorporadas.

**Palavras-chave:** *Brevicoryne brassicae* L., toxicidade aguda, efeitos subletais, eficácia de controle, impacto sobre predadores.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
2.1. Objetivo geral.....	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
4.1. Insetos .....	13
4.2. Caracterização dos biopesticidas .....	14
4.3. Toxicidade aguda dos biopesticidas sobre ninfas e fêmeas adultas de <i>B. brassicae</i> ..	14
4.4. Atividade subletal de biopesticidas no número de descendentes de <i>B. brassicae</i> .....	15
4.5. Efeito fagodeterrente (excreção de honeydew) dos biopesticidas sobre <i>B. brassicae</i>	16
4.6. Efeito repelente dos biopesticidas sobre fêmeas adultas de <i>B. brassicae</i> .....	17
4.7. Persistência biológica dos bioinseticidas sobre fêmeas adultas de <i>B. brassicae</i> .....	17
4.8. Eficácia de biopesticidas para o controle populacional de <i>B. brassicae</i> .....	18
4.9. Impacto dos biopesticidas sobre os principais insetos predadores de <i>B. brassicae</i> ....	19
4.10. Delineamento experimental e análise de dados .....	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A incidência de pragas e doenças tem sido um dos principais fatores que limitam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Em Brassicaceae, uma das principais famílias de plantas olerícolas cultivadas e consumidas no Brasil, o pulgão da couve *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) tem sido considerado praga chave da cultura devido aos danos diretos (sucção de seiva e injeção de toxinas) e indiretos (transmissão de vírus e redução na taxa fotossintética das plantas decorrente do estabelecimento e desenvolvimento de fungos saprofíticos do gênero *Capnodium* spp. que causam a fumagina) causados nas plantas (VAN EMDEN, 2013; AHMAD; AKHTAR, 2013; SAMPAIO et al., 2017; ZHAN et al., 2020; CANASSA et al., 2021; VERDIER et al., 2023). Os pulgões são insetos sugadores de tamanho pequeno e piriforme, pouco esclerotizado, com a presença de sifúnculos no final do abdômen, de comportamento gregários, sendo encontrado, preferencialmente, na face abaxial das folhas e nas hastes florais alimentando-se dos sistemas floemático e/ou xilemáticos das plantas hospedeiras (LIU; SPARKS-JR., 2001; LEITE et al., 2011; SHARMA et al., 2017). Esses insetos apresentam alto potencial biótico e, sob condições de clima tropical se reproduzem exclusivamente por partenogênese telítoca [óvulos não fertilizados originam descendentes fêmeas (RAZMJOU et al., 2019)], enquanto em regiões de clima temperado além de se reproduzirem por partenogênese, podem reproduzir-se sexuadamente dando origem a um pequeno percentual de indivíduos machos nas populações (LE TRIONNAIRE et al., 2008).

No Brasil, o manejo desse patossistema (vírus × pulgões) em cultivos de brassicáceas tem sido realizado por meio do plantio de mudas sadias (livres de vírus e dos pulgões), eliminação de plantas infectadas das áreas de cultivo para redução do inóculo, rotação de culturas com espécies olerícolas não hospedeiras, plantios em épocas favoráveis ao cultivo de brássicas e desfavoráveis ao desenvolvimento/reprodução dos insetos, eliminação dos restos culturais após a colheita (LIU; SPARKS-JR., 2001; MORALES, 2002), adubação nitrogenada equilibrada (BORTOLI et al., 2006), cultivo de brássicas em consórcio com outras culturas (RESENDE et al., 2007), utilização de casca de arroz sobre o solo, uso de armadilhas adesivas amarelas para captura de pulgões alados (BEN-YAKIR et al., 2012), utilização de inimigos naturais (LIU; SPARKS-JR., 2001; RESENDE et al., 2011), resistência de plantas (MELO et

al., 2013; CANASSA et al., 2021) e aplicação de pesticidas para o controle dos insetos (PEREIRA et al., 2019). Dentre as táticas de manejo, a aplicação de inseticidas sintéticos de amplo espectro têm sido a principal ferramenta de controle de pulgões utilizadas pelos olericultores em cultivos de brássicas (HOLTZ et al., 2015; AGROFIT, 2023). Embora eficaz, o uso desses inseticidas tem causado problemas de contaminação do ambiente, dos usuários e dos alimentos (SANTOS et al., 2007; STECCA et al., 2017; SARWAR, 2015; PEREIRA et al., 2017) e aceleração do processo de seleção de populações de pulgões resistentes aos principais ingredientes ativos usados para seu controle (RADJA et al., 2020), o que aumenta os custos de produção e reduz a eficácia da técnica e a sustentabilidade ambiental e social do sistema.

Diante desse cenário e da crescente demanda dos consumidores por produtos mais saudáveis e produzidos em ambientes mais sustentáveis, o uso de extratos brutos, frações e formulações comerciais de derivados botânicos (biopesticidas) tem demonstrado papel importante na regulação populacional de patógenos e pragas em diferentes agroecossistemas. Entre os compostos botânicos com propriedades bioativas contra artrópodes praga, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine demonstraram alta toxicidade aguda e efeitos subletais pronunciados contra pragas de diferentes hábitos alimentares (AYILARA et al., 2023; SHAHMOHAMMADI et al., 2023). A azadiractina é um terpenoide com ampla atividade contra pragas de importância agrícola (ISMAN, 2020). Este terpenoide possui alta toxicidade aguda (CHAUDHARY et al., 2017), e também atua como fagodeterrente, esterilizante e repelente em espécies de Coleoptera, Hymenoptera, Diptera, Orthoptera, Isoptera e Hemiptera (TOMÉ et al., 2013; CHAUDHARY et al., 2017; ALOUANI et al., 2018). Além disso, a azadiractina tem demonstrado notável seletividade para agentes de controle biológico (especialmente predadores e parasitoides) e mamíferos, além de apresentar baixo risco de seleção de populações resistentes (MORDUE et al., 2010; KILANI-MORAKCHI et al., 2021).

Além da azadiractina, oximatrine é outro composto botânico registrado, comercializado e utilizado para o controle de artrópodes praga em diferentes países (MEDO; MARČIĆ, 2013; MARČIĆ; MEDO, 2014; LEMUS-SORIANO et al., 2017; ABBAS et al., 2020; AL-TAMIMI et al., 2020; SUN et al., 2023), incluindo o Brasil (ANDRADE et al., 2019; ANDRADE et al., 2020; SAVI et al., 2021). O oximatrine é um alcaloide extraído de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabales: Fabaceae) com ampla atividade farmacológica (LI et al., 2020; ABD-ALLA et al., 2021; HUAN et al., 2023) e pesticida (ISMAN, 2023). Este alcaloide tem sido

utilizado isoladamente ou em misturas com outros extratos botânicos e pesticidas sintéticos para o controle de ácaros (ANDRADE et al., 2019; ANDRADE et al., 2020; SAVI et al., 2021), lagartas, tripes e mosca-branca em diversas culturas (HWANG et al., 2009). Além da toxicidade aguda, biopesticidas à base de oximatrine mostraram efeitos subletais sobre os parâmetros biológicos e comportamentais de várias espécies de artrópodes praga de importância agrícola (LV et al., 2021). Apesar da grande atividade acaricida/inseticida, poucos estudos foram realizados para avaliar a atividade afidicida e a eficácia desse alcaloide para o manejo de pulgões em sistemas agrícolas.

Considerando a grande importância da *B. brassicae* como praga-chave de olerícolas da família Brassicaceae e a baixa disponibilidade de ferramentas efetivas de manejo desse inseto praga, os níveis de toxicidade aguda, os efeitos subletais (redução no número de descendentes, fagodeterrência e atividade repelente), a persistência biológica e a eficácia dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre ninfas e/ou fêmeas adultas de *B. brassicae* e seus impactos sobre os níveis populacionais dos principais insetos predadores deste afídeo foram avaliados em condições laboratoriais, semicampo e/ou campo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a atividade inseticida e a efetividade dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre *B. brassicae* e seus impactos sobre os principais insetos predadores deste afídeo.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar, em condições laboratoriais, os níveis de toxicidade aguda (mortalidade) dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre ninfas e fêmeas adultas de *B. brassicae*;

- Avaliar, em condições laboratoriais, o efeito dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine no número de descendentes (progênie) produzido pelas fêmeas de *B. brassicae*;
- Determinar, em condições laboratoriais, a atividade fagoderrente dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre fêmeas adultas de *B. brassicae*;
- Determinar, em condições de semicampo, a persistência biológica dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre fêmeas adultas de *B. brassicae*;
- Avaliar, em condições de campo, a efetividade dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine no manejo populacional de *B. brassicae* em plantas de repolho;
- Avaliar, em condições de campo, o impacto dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre os principais insetos predadores de *B. brassicae* em plantas de repolho.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

A produção de hortaliças é uma das atividades agrícolas em constante expansão, devido a sua grande importância econômica proporcionada aos pequenos, médios e grandes olericultores e nutricional pelo fornecimento de fibras, minerais, antioxidantes e vitaminas essenciais para uma vida saudável dos consumidores (RODRIGUES, 2012). No Brasil, a produção de olerícolas é de aproximadamente 20 milhões de toneladas anuais, sendo quase todo volume produzido destinado ao consumo doméstico (NASCIMENTO, 2020). A olericultura brasileira é bastante diversificada e segmentada, com dezenas de espécies olerícolas sendo produzidas, processadas, comercializadas e consumidas nas diferentes regiões do país. Dentre as olerícolas produzidas, alface, tomate, cebola, batata, cenoura, melão, melancia e brássicas (especialmente, repolho, brócolis, couve-folha, couves-flores, rabanete e rúcula) possuem as maiores áreas de cultivo e volumes consumido pela população brasileira (BRANDÃO-FILHO et al., 2018; CEPEA, 2023). A concentração da produção/consumo em um pequeno número de espécies olerícolas está relacionada, entre outros fatores, aos aspectos econômicos (custo de produção, valor de mercado e poder de compra dos consumidores), sociais (facilidade de acesso aos produtos pelos consumidores nas unidades produtivas, feiras livres, quitandas, mercados etc.) e culturais (costumes, hábitos e formas de consumo das hortaliças) predominantes em cada região brasileira (NASCIMENTO, 2020).

Dentre as olerícolas mais cultivadas e consumidas no Brasil, as Brassicaceae constituem uma família de plantas olerícolas/oleaginosas de grande importância na alimentação humana/animal (BRUNELLI et al., 2011). Essa família botânica é composta por aproximadamente 338 gêneros, com destaque para o gênero *Brassica* spp. que teve no mundo, nas últimas safras, uma produção de aproximadamente 96 milhões de toneladas (FAO, 2020; CARLOS et al., 2022). No Brasil, em 2017 (último censo agropecuário divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE), a produção brasileira de repolhos, couves, brócolis e couves-flores foi de aproximadamente 920 mil toneladas (BELING, 2022), tendo o repolho como a quinta hortaliça mais produzida e consumida no país (SANTOS, 2019). No entanto, o consumo dessas espécies olerícolas vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, impulsionado pelo apelo saudável e a crescente oferta de híbridos e variedades adaptadas às condições edafoclimáticas predominantes das distintas regiões brasileiras (VIEIRA-NETO et al., 2020; CARLOS et al., 2022).

Apesar do aumento no volume de produção e consumo, a incidência de patógenos e pragas tem limitado o normal crescimento, desenvolvimento e produtividade das brassicáceas no Brasil (HOLTZ et al., 2015). Dentre as pragas, o pulgão da couve *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) é considerado praga chave em cultivos de repolhos, couves, brócolis e couves-flores (VAN EMDEN, 2013; AHMAD; AKHTAR, 2013; SAMPAIO et al., 2017; CANASSA et al., 2021; ZHAN et al., 2020; VERDIER et al., 2023). O pulgão da couve é um inseto pequeno (aproximadamente 2,0 mm de comprimento – forma alada), de formato piriforme, corpo pouco esclerotizado, de coloração variando do amarelo ao verde-escuro, cabeça e tórax mais escuros e abdômen verde com manchas escuras no escudo dorsal. As ninfas e os adultos apresentam sifúnculos mais curtos que a codícula (LIU; SPARKS-JR., 2001) e secretam uma substância serosa que recobre o corpo e os tecidos vegetais infestados (VAN EMDEN, 2013). *B. brassicae* apresenta comportamento gregário, sendo localizado preferencialmente na face abaxial das folhas e hastes florais, onde se alimentam do conteúdo floemático e/ou xilemáticos das plantas hospedeiras (LIU; SPARKS-JR., 2001; LEITE et al., 2011; SHARMA et al., 2017). Em condições climáticas temperadas pode haver reprodução sexuada para formação de machos, enquanto sob clima tropical são vivíparos e se reproduzem por partenogênese telítica [óvulos não fertilizados originam descendentes fêmeas (RAZMJOU et al., 2019)]. Essa espécie também apresenta desenvolvimento rápido e forma numerosas

colônias que, sob condições desfavoráveis, como baixa qualidade do alimento, alta densidade populacional, temperatura e fotoperíodo, há o surgimento de indivíduos alados (AHEER et al., 2008; VAN EMDEN, 2013; SOH et al., 2018) que se dispersam/migram em busca de novos hospedeiros/nichos ecológicos com características favoráveis ao desenvolvimento e reprodução do inseto.

Em plantas de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), *B. brassicae* passa por quatro fases ninfais antes de atingir a fase adulta (ABDEL-RAHMAN et al., 2011). A duração da fase ninfal varia de acordo com a temperatura, qualidade da planta hospedeira e comportamento do inseto. Em repolho, Cividanes (2003) verificou que a fase ninfal foi de 17,0 e 7,8 dias quando o inseto foi mantido sob temperaturas de 15 e 27 °C, respectivamente. A fecundidade média diária de *B. brassicae* reduz no período de inverno, contudo, sua longevidade tem sido maior (CIVIDANES, 2003). Isso justifica os valores de fecundidade média diária de 1,6; 1,4; 1,4 e 1,1 ninfas/fêmea/dia, na primavera, verão, outono e inverno, com a correspondente fecundidade total média das fêmeas de 24,0; 19,3; 27,8; e 35,8 ninfas/fêmea sobre folhas de couve, respectivamente (CIVIDANES, 2003).

Tanto as ninfas quanto os adultos de *B. brassicae* se alimentam dos tecidos xilemático e floemático causando danos diretos e indiretos às plantas. Diretamente, os pulgões são responsáveis pela sucção de seiva e injeção de toxinas, resultando no menor desenvolvimento, formação de clorose e enrugamento foliar, redução no potencial produtivo e no valor comercial dos produtos produzidos (MA et al., 2010; LEITE et al., 2011). Em situações de alta infestação, as injúrias ocasionadas pela alimentação dos insetos podem prejudicar o desenvolvimento das plântulas, podendo levar a morte (AHMAD; AKHTAR, 2013). Indiretamente, os pulgões podem reduzir a área fotossintética das plantas devido a excreção de uma substância açucarada e viscosa (*honeydew*) que favorece o estabelecimento e a proliferação de fungos saprófitos do gênero *Capnodium* spp. sobre a superfície foliar, cujos sintomas são conhecidos como fumagina (ASI et al., 2009). Além disso, os pulgões podem atuar como vetores de fitopatógenos, incluindo os vírus do mosaico-da-couve-flor (*Cauliflower mosaic virus*), mosaico-do-anel-do-repolho (*Cabbage ring spot virus*) (CAPINERA, 2001), mosaico-do-nabo (*Turnip mosaic virus* – TuMV) e vírus-latente-da-couve (*Cole latent virus* - CoLV) (OLIVEIRA, 2019).

No Brasil, o manejo desse patossistema (vírus × pulgões) em cultivos de brássicas tem sido realizado com o plantio de mudas sadias (livres de vírus e de pulgões), eliminação de

plantas infectadas das áreas de cultivo para redução do inóculo, rotação de culturas, plantios em épocas favoráveis para o cultivo de brássicas e desfavoráveis ao desenvolvimento e reprodução de pulgões, eliminação dos restos culturais após a colheita (LIU; SPARKS-JR., 2001; MORALES, 2002), adubação nitrogenada equilibrada (BORTOLI et al., 2006), cultivo de brássicas em consórcio com coentro (*Coriandrum sativum* L.) – planta altamente atrativa para joaninhas predadoras de pulgões (RESENDE et al., 2007), utilização de casca de arroz sobre o solo (atividade repelente para pulgões), uso de armadilhas adesivas amarelas para captura de pulgões alados dispersantes/migrantes (BEN-YAKIR et al., 2012), utilização de parasitoides, predadores e microrganismos entomopatogênicos (LIU; SPARKS-JR., 2001; RESENDE et al., 2011), resistência de plantas (MELO et al., 2013; CANASSA et al., 2021) e aplicações de pesticidas para o controle do pulgão (PEREIRA et al., 2019). Dentre as táticas de manejo, a aplicação de inseticidas piretroides, organofosforados, neonicotinoides e metilcarbamato de oxima têm sido a principal ferramenta de controle de pulgões adotadas pelos olericultores em cultivos de brássicas (HOLTZ et al., 2015; AGROFIT, 2023). Embora eficaz, o uso desses inseticidas tem causado mortalidade dos inimigos naturais (STECCA et al., 2017), problemas de contaminação do ambiente, aplicadores e dos alimentos (SANTOS et al., 2007; SARWAR, 2015; PEREIRA et al., 2017) e seleção de populações de pulgões resistentes aos ingredientes ativos (RADJA et al., 2020), o que aumenta os custos de produção e reduz a eficácia da técnica e a sustentabilidade ambiental e social do sistema.

Diante desse cenário e da crescente demanda dos consumidores por produtos mais saudáveis e produzidos em ambientes mais sustentáveis, a busca por táticas alternativas de manejo de pragas tem sido constante, especialmente nos sistemas de cultivo de oleráceas de base ecológica (ISMAN, 2006; MORENO et al., 2012; ISMAN; GRIENEISEN, 2023; ISMAN, 2020) onde a disponibilidade de ferramentas efetivas de controle é escassa e o uso de inseticidas sintéticos não é permitido (ZEHNDER et al., 2007; BERNARDI et al., 2013). Neste contexto, extratos brutos, frações e formulações comerciais de derivados botânicos (biopesticidas) tem desempenhado papel importante na regulação populacional de insetos e ácaros praga nos agroecossistemas. Dentre os derivados botânicos com propriedades bioativas contra artrópodes praga, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine tem demonstrado alta toxicidade aguda e pronunciados efeitos subletais contra artrópodes praga de diferentes hábitos alimentares (AYILARA et al., 2023; SHAHMOHAMMADI et al., 2023).

A azadiractina é um complexo tetranortriterpenoide com 16 centros de carbono quirais, derivado da via do ácido mevalônico de sementes de nim [*Azadiracta indica* A. Juss (Sapindales: Meliaceae)] (AARTHY et al., 2018). Entre os terpenoides, a azadiractina A (C<sub>35</sub>H<sub>44</sub>O<sub>16</sub>) constitui um dos principais componentes dos biopesticidas botânicos comercializados em todo o mundo e utilizados no controle de pragas de importância agrícola (ISMAN, 2020). Além da alta toxicidade aguda, a azadiractina também atua como desregulador de crescimento de insetos (CHAUDHARY et al., 2017), fagodeterrente, esterilizante e repelente contra várias espécies de Coleoptera, Hymenoptera, Diptera, Orthoptera, Isoptera e Hemiptera (TOMÉ et al., 2013; CHAUDHARY et al., 2017; ALOUANI et al., 2018). No entanto, os níveis de toxicidade da azadiractina variam de acordo com as ordens dos insetos, taxas de penetração do produto e atividade das enzimas de desintoxicação. Além disso, a azadiractina tem demonstrado notável seletividade para agentes de controle biológico (especialmente predadores e parasitoides) e mamíferos, além de apresentar baixo risco de seleção de populações resistentes (MORDUE et al., 2010; KILANI-MORAKCHI et al., 2021).

Além da azadiractina, oximatrine é outro composto botânico registrado, comercializado e utilizado para o controle de artrópodes praga em diferentes países (MEDO; MARČIĆ, 2013; MARČIĆ; MEDO, 2014; LEMUS-SORIANO et al., 2017; ABBAS et al., 2020; AL-TAMIMI et al., 2020; SUN et al., 2023), incluindo o Brasil (ANDRADE et al., 2019; ANDRADE et al., 2020; SAVI et al., 2021). O oximatrine é um alcaloide tetracicloquinolizidínico (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) extraído de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabales: Fabaceae) amplamente estudado e utilizados na medicina tradicional Chinesa para o tratamento de enfermidades em humanos e animais (ZHANG et al., 2016; YOU et al., 2020; ZHANG et al., 2020). Além da ação farmacológica, oximatrine também tem demonstrado alta atividade contra microrganismos fitopatogênicos e herbívoros de importância agrícola (MAO; HENDERSON, 2007; LIU et al., 2007; ZANARDI et al., 2015; ANDRADE et al., 2019; ANDRADE et al., 2020; SAVI et al., 2021; SUN et al., 2023). Este alcaloide tem sido utilizado isoladamente ou em mistura com outros extratos botânicos e pesticidas sintéticos para o manejo de fungos, bactérias, nematoides, cupins, pulgões, cigarrinhas, lagartas e ácaros em áreas de produção de hortaliças, frutas, flores, chás (YANG; ZHAO, 2006; MAO; HENDERSON, 2007; WANG et al., 2007; MARČIĆ et al., 2012; ZANARDI et al., 2015; ANDRADE et al., 2019; ANDRADE et al., 2020; SAVI et al., 2021; SUN et al., 2023) e de pragas de grãos armazenados (LIU et al., 2007; OSEKRE et al.,

2013). Além da toxicidade aguda, estudos prévios revelaram que biopesticidas à base de oximatrine também proporcionaram atividade repelente, esterilizante, deterrentes de alimentação e de oviposição sobre artrópodes com diferentes hábitos alimentares (MAO; HENDERSON, 2007; HUANG et al., 2009; BAKR et al., 2012; ZANARDI et al., 2015), o que aumenta o potencial de uso destes fitoquímico nos programas de manejo integrado de pragas. Apesar da grande atividade acaricida/inseticida, poucos estudos foram realizados para avaliar a atividade afidicida e a eficácia desse alcaloide para o manejo de pulgões em sistemas agrícolas.

Portanto, estudos que consideram os níveis de toxicidade aguda, os efeitos subletais, a persistência biológica e a eficácia dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre ninfas e/ou fêmeas adultas de *B. brassicae* e seus impactos sobre os níveis populacionais dos principais insetos predadores deste afídeo são importantes para verificar a atividade afidicida e o potencial desses fitoquímicos como tática de manejo do pulgão da couve nos diferentes sistemas de produção de Brassicaceae, em especial naqueles de base ecológica que, de modo geral, apresentam baixa disponibilidade de ferramentas de controle e táticas efetivas de manejo precisam ser incorporadas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Insetos

A colônia de *B. brassicae* foi estabelecida a partir de espécimes coletados em plantas de brássicas (*Brassica* spp.) cultivadas em uma área de produção de hortaliças sem aplicação de pesticidas nos últimos seis meses. A colônia foi mantida sobre plantas de repolho híbrido 'Fuyutokio' (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) cultivadas em vasos de 300 mL com substrato à base de vermiculita, casca de *Pinus*/eucalipto, fibra de coco e casca de arroz (SoilMax, Enderle Soluções Ambientais Ltda., Vargem Bonita, Santa Catarina, Brasil) colocados em de gaiolas (50 × 50 × 50 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente) cobertas com tela antiafídeos (200 mesh) em uma sala climatizada [temperatura 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar (UR) 50 ± 5% e fotoperíodo de 14L: 10E h]. As plantas de repolho híbrido 'Fuyutokio'

altamente infestadas por *B. brassicae* foram substituídas a cada 25 dias ou sempre que necessário. Para todos os bioensaios, foram usadas ninfas e/ou fêmeas adultas de *B. brassicae*.

#### 4.2. Caracterização dos biopesticidas

Para este estudo, foram utilizadas as formulações comerciais à base de azadiractina (Azamax<sup>®</sup>, UPL do Brasil Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A., Ituverava, São Paulo, Brasil) e oximatrine (Matrine<sup>®</sup>, Dinagro Agropecuária Ltda., Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil). O biopesticida à base de azadiractina está disponível na formulação concentrado emulsionável (CE) na concentração de 12,0 g L<sup>-1</sup>. Por sua vez, o biopesticida à base de oximatrine está disponível na formulação concentrado solúvel (SL) contendo 190,5 g L<sup>-1</sup> de extrato etanólico de *S. flavescens* com 2,0 g L<sup>-1</sup> equivalente em oximatrine. Ambos os biopesticidas estão registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o manejo de pragas em culturas hortícolas (AGROFIT, 2024). Além disso, ambas as formulações comerciais estão autorizadas para uso no manejo de pragas em sistemas orgânicos de cultivo (IBD CERTIFICAÇÕES, 2021).

#### 4.3. Toxicidade aguda dos biopesticidas sobre ninfas e fêmeas adultas de *B. brassicae*

A toxicidade aguda dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine foi avaliada sobre ninfas (~4 dias de idade) e fêmeas adultas (4 a 5 dias de idade) de *B. brassicae* em condições de laboratório. Para isso, mudas de repolho híbrido 'Fuyutokio' foram cultivadas em recipientes plásticos de 180 mL contendo substrato à base de vermiculita, casca de *Pinus*/eucalipto, fibra de coco e casca de arroz em casa de vegetação até atingirem cinco folhas desenvolvidas. Posteriormente, as mudas de repolho tiveram seu meristema apical removido para evitar a formação de novas folhas durante o período de avaliação do bioensaio. Três dias após a remoção do meristema apical, as mudas de repolho foram aleatoriamente selecionadas e pulverizadas com 2 mL de solução de uma das concentrações de biopesticidas à base de azadiractina (ninfas: 0,625, 1,25, 2,5, 5, 10, 20 e 40 mg L<sup>-1</sup> e fêmeas adultas: 0,78125; 1,5625; 3,125; 6,25; 12,5; 25 e 50 mg L<sup>-1</sup>) ou oximatrine (ninfas: 0,1562; 0,3125; 0,625; 1,25; 2,5; 5,0 e 10,0 mg L<sup>-1</sup> e fêmeas adultas: 0,225; 0,45; 0,9; 1,8; 3,6; 7,2 e 14,4 mg L<sup>-1</sup>) usando um

microatomizador pneumático estacionário com três pontas de pulverização (cone cheio) TG-2 (TeeJet Technologies Co., IL, EUA) fixados na parte superior e nas laterais de um cilindro de aço inoxidável (40 cm de diâmetro) com pressão ajustada de 3,0 kg cm<sup>2</sup> (1,0 kg cm<sup>-2</sup> por ponta de pulverização), resultando em uma deposição de  $1,8 \pm 0,2$  mg cm<sup>-2</sup> de resíduos frescos nas superfícies adaxial e abaxial das folhas das mudas. Água destilada (solvente usado para dissolução dos biopesticidas) foi usada como controle. Para cada estágio de desenvolvimento do pulgão e concentração dos biopesticidas, foram utilizadas 10 repetições (mudas de repolho). Após a pulverização, as mudas de repolho foram mantidas em sala climatizada para secagem dos resíduos por duas horas. Em seguida, as mudas de repolho foram colocadas em pequenas gaiolas construídas com recipientes de polietileno transparente de 1,5 L, com pequenas aberturas laterais (orifícios de aproximadamente 2 mm de diâmetro) para permitir a troca de gases e evitar o excesso de umidade dentro das unidades experimentais. No centro da tampa de cada gaiola, foi realizado um orifício (3,5 cm de diâmetro) para fixar o recipiente com a muda de repolho. As gaiolas foram colocadas com a tampa voltada para baixo sobre recipientes plásticos (500 mL) contendo 100 mL de água destilada, a qual foi usada para manutenção do turgor das mudas durante o período de avaliação. Após, 10 ninfas ou fêmeas adultas de *B. brassicae* foram transferidas para cada muda de repolho. A mortalidade das ninfas ou das fêmeas adultas de *B. brassicae* foi avaliada a cada 24 horas por quatro dias. As ninfas e as fêmeas adultas que não reagiram ao toque de um pincel de cerdas macias foram consideradas mortas. Com base nos dados de mortalidade, as concentrações letais necessárias para matar 50 e 90% (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>) da população teste com seus respectivos intervalos de confiança foram estimadas para cada estágio de desenvolvimento do inseto e biopesticida.

#### **4.4. Atividade subletal de biopesticidas no número de descendentes de *B. brassicae***

A atividade subletal dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine no número de descendentes produzidos pelas fêmeas de *B. brassicae* foi avaliada em condições de laboratório. Para isso, mudas de repolho híbrido 'Fuyutokio' com cinco folhas desenvolvidas foram pulverizadas com 2 mL de solução de uma das concentrações dos biopesticidas à base de azadiractina ou oximatrine ou água destilada (controle), usando o mesmo procedimento e critérios utilizados no bioensaio de toxicidade aguda. Para cada nível de tratamento

(concentração) e biopesticida, foram usadas 10 repetições (mudas de repolho). Após a pulverização, as mudas de repolho foram mantidas em sala climatizada para secagem dos resíduos por duas horas, colocadas em pequenas gaiolas e usadas como unidades experimentais, conforme descrito no bioensaio de toxicidade aguda. Em seguida, 10 fêmeas adultas de *B. brassicae* foram transferidas para cada muda de repolho. A mortalidade/sobrevivência das fêmeas e o número de ninfas produzidos pelas fêmeas vivas foram registrados a cada 24 horas por quatro dias. Com base no número de ninfas produzidas por fêmeas vivas nos diferentes níveis de tratamento, a concentração efetiva média (CE<sub>50</sub> concentração necessária para reduzir o número de ninfas produzidos pelas fêmeas em 50%) foi estimada para cada biopesticida.

#### **4.5. Efeito fagodeterrente (excreção de honeydew) dos biopesticidas sobre *B. brassicae***

Para avaliar o efeito fagodeterrente (excreção de honeydew) dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre fêmeas adultas de *B. brassicae*, mudas de repolho híbrido 'Fuyutokio' com cinco folhas desenvolvidas foram cultivadas em recipientes plásticos de 180 mL e pulverizadas com 2 mL de solução de uma das concentrações dos biopesticidas à base de azadiractina ou oximatrine ou água destilada (controle) usando o mesmo procedimento e critérios descritos no bioensaio de toxicidade aguda. Para cada nível de tratamento (concentração) e biopesticida, foram usadas 10 repetições (mudas de repolho). Após a pulverização, as unidades experimentais foram mantidas em sala climatizada para secagem dos resíduos por duas horas e colocadas em pequenas gaiolas conforme descrito no bioensaio de toxicidade aguda. Em seguida, 10 fêmeas adultas de *B. brassicae* foram transferidas para cada muda de repolho. Além disso, um disco de papel filtro (7,5 cm de diâmetro) foi fixado na base de cada muda de repolho para permitir a captura do honeydew excretado pelos insetos durante a alimentação. Os discos foram removidos 48 horas após a liberação das fêmeas nas unidades experimentais e imediatamente imersos em uma solução de ninhidrina: acetona a 1% (v/v) por três minutos. Em seguida, os discos de papel filtro foram colocados sobre folhas de papel de filtro para secagem em sala climatizada por 24 horas e individualmente fotografados (6000 × 4000 pixels) com fundo preto. As fotos foram individualmente analisadas quanto ao número de pixels de cor roxa para medir a área coberta com honeydew usando o software de imagem Quant version 1.0.1 (VALE et al., 2001). Com base nos dados de área de honeydew obtidos nos

diferentes níveis de tratamento (concentrações), a concentração efetiva média ( $CE_{50}$  concentração necessária para reduzir a alimentação do inseto em 50%) foi estimada para cada biopesticida.

#### **4.6. Efeito repelente dos biopesticidas sobre fêmeas adultas de *B. brassicae***

O efeito repelente dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre fêmeas adultas de *B. brassicae* foi avaliado de acordo com o método de zona preferencial de papel filtro descrito por Sayed et al. (2022) com algumas modificações. Para isso, os discos de papel filtro (7,5 cm de diâmetro) foram divididos em duas partes iguais. Uma das partes foi pulverizada com 2 mL de solução correspondente a  $1,0 \times LC_{90}$  dos biopesticidas estimados 96 horas após a exposição das fêmeas ao contato residual dos produtos (bioensaio de toxicidade aguda), enquanto a outra metade recebeu apenas água destilada. Após a pulverização, as duas metades dos discos foram mantidas em uma sala climatizada por duas horas para secagem dos resíduos. Em seguida, as duas metades dos discos foram ressoldadas com fita adesiva, colocadas em placas de Petri (9,0 cm de diâmetro  $\times$  1,5 cm de altura) e usadas como unidade experimental. Em seguida, 20 fêmeas adultas de *B. brassicae* foram liberadas no centro de cada disco de papel filtro. As placas de Petri foram revestidas com parafilme para evitar a fuga dos pulgões. Para cada tratamento, foram usadas 20 repetições. O número de insetos na metade tratada e na metade controle foi registrado 12 horas após a liberação dos insetos nas unidades experimentais. O efeito repelente dos biopesticidas foi determinado com base no número de pulgões encontrados na metade tratada e no número de pulgões encontrados na metade controle.

#### **4.7. Persistência biológica dos biopesticidas sobre fêmeas adultas de *B. brassicae***

A persistência biológica dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine foi avaliada usando mudas de repolho híbrido 'Fuyutokio' cultivadas em recipientes plásticos de 180 mL com cinco folhas desenvolvidas em casa de vegetação (condições de semicampo). Para isso, o meristema apical das mudas foi removido e pulverizado com  $1,0 \times LC_{90}$  dos biopesticidas estimados 96 horas após a exposição das fêmeas ao contato residual dos produtos (bioensaio de toxicidade aguda). Água destilada e o inseticida sintético flupiradifurone (Sivanto

Prime 200 SL, Bayer S.A., São Paulo, São Paulo, Brasil) na concentração de 500 mg L<sup>-1</sup> [inseticida registrado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e amplamente utilizado no manejo de pulgões em culturas hortícolas no Brasil (AGROFIT, 2024)] foram usados como controles negativo e positivo, respectivamente. Para cada tratamento e tempo residual (15, 10, 7, 3, 1 e 0 dias antes da liberação das fêmeas de *B. brassicae* nas unidades experimentais), foram usadas 10 unidades experimentais (mudas de repolho). As unidades experimentais foram pulverizadas seguindo o mesmo procedimento e critérios descritos no bioensaio de toxicidade aguda. Após a pulverização, as unidades experimentais foram mantidas em casa de vegetação para secagem dos resíduos por duas horas, colocadas em pequenas gaiolas e infestadas com 10 fêmeas adultas de *B. brassicae*, conforme descrito no bioensaio de toxicidade aguda. A mortalidade das fêmeas em cada tempo residual foi registrada 96 horas após a liberação dos insetos nas unidades experimentais, seguindo o mesmo procedimento e critérios usados no ensaio de toxicidade aguda.

#### **4.8. Eficácia de biopesticidas para o controle populacional de *B. brassicae***

A eficácia dos bioinseticidas à base de azadiractina e oximatrine foi avaliada em uma área de produção de repolho híbrido 'Fuyutokio' naturalmente infestada por *B. brassicae*. Antes da pulverização dos tratamentos, foi realizada uma pré-amostragem com a contagem de pulgões vivos nas plantas de repolho híbrido 'Fuyutokio' para caracterizar os níveis iniciais de infestação da praga nas unidades experimentais (parcelas de 3,0 × 3,0 m; 9,0 m<sup>2</sup>). Em seguida, as unidades experimentais foram pulverizadas até o ponto de escorrimento com 1,0 × CL<sub>90</sub> dos biopesticidas estimados 96 horas após a exposição das fêmeas ao contato residual dos produtos (bioensaio de toxicidade aguda), inseticida sintético flupiradifurone na concentração de 500 mg L<sup>-1</sup> (controle positivo) ou água destilada (controle negativo). Para cada tratamento foram utilizadas 10 unidades experimentais (repetições) com 10 plantas de repolho selecionadas aleatoriamente por repetição. O número de insetos vivos em cada unidade experimental foi registrado 96 horas após a aplicação dos tratamentos, seguindo o mesmo procedimento e critérios descritos no bioensaio de toxicidade aguda. Com base no número de pulgões vivos registrados na pré-amostragem e após 96 horas da pulverização dos tratamentos, a eficácia (*E*) dos tratamentos foi calculada usando a fórmula  $E_{(\%)} =$

$\left[ \left( \frac{C_i - T_f}{C_f \times T_i} \right) \times 100 \right]$  proposto por Henderson e Tilton (1955), onde:  $C_i$  e  $C_f$  representam os números médios de pulgões vivos no tratamento controle antes e após a pulverização e;  $T_i$  e  $T_f$  representam os números médios de pulgões vivos nos tratamentos com biopesticidas/inseticida sintético antes e após a pulverização, respectivamente. Além da eficácia dos tratamentos, a taxa instantânea de crescimento populacional do pulgão ( $ri$ ) foi calculada usando a fórmula  $ri = \ln \left( \frac{N_f}{N_i} \right) / \Delta_t$  conforme proposto por Stark e Banks (2003), onde:  $N_f$  é o número de pulgões vivos encontrados na avaliação realizada 96 horas após a aplicação dos tratamentos,  $N_i$  é o número de pulgões vivos encontrados na pré-amostragem, e  $\Delta_t$  é o tempo (dias) entre a avaliação realizada 96 horas após a aplicação dos tratamentos e a pré-amostragem. Os valores positivos e negativos de  $ri$  indicam um aumento ou diminuição na população de pulgões, respectivamente, enquanto os valores de  $ri = 0$  indicam que a população de pulgões permaneceu estável durante o período de avaliação.

#### **4.9. Impacto dos biopesticidas sobre os principais insetos predadores de *B. brassicae***

O impacto dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre os principais insetos predadores de *B. brassicae* foi avaliado em uma área de produção de repolho híbrido “Fuyutokio” sem pulverização de pesticidas 45 dias antes do início do bioensaio. As unidades experimentais foram constituídas por parcelas (7,0 m × 7,0 m) com 14 fileiras de repolho cultivados no espaçamento entre as fileiras de 50 cm. As duas fileiras laterais e as duas plantas de repolho localizadas nas extremidades de cada fileira foram consideradas como bordas. Em seguida, 10 plantas de repolho foram aleatoriamente selecionadas nas 10 fileiras centrais de cada unidade experimental e usadas como unidades de observação. Para cada tratamento, foram usadas 10 unidades experimentais (repetições). Antes da pulverização dos tratamentos, foi realizada uma pré- amostragem para verificar os níveis populacionais iniciais dos insetos predadores nas plantas de repolho de cada parcela. Os insetos predadores (larvas e adultos) encontrados em cada parcela foram coletados, colocados em caixas Gerbox<sup>®</sup> dentro de caixas de poliestireno com gelo seco (Gelox<sup>®</sup>) e transportados ao laboratório para contagem e identificação das espécies por meio de chaves dicotômicas (THOMPSON, 1999; FREITAS; PENNY, 2001; CELLI et al., 2021). Depois disso, as parcelas foram pulverizadas até o ponto

de escoamento com  $1,0 \times CL_{90}$  dos biopesticidas estimados 96 horas após a exposição das fêmeas adultas de *B. brassicae* ao contato residual dos produtos (bioensaio de toxicidade aguda), inseticida sintético flupiradifurone na concentração de  $500 \text{ mg L}^{-1}$  (controle positivo) ou água destilada (controle negativo). A avaliação foi realizada 96 horas após a pulverização usando o mesmo procedimento e critérios descritos na pré-amostragem. O impacto dos biopesticidas na população de insetos predadores foi determinado com base no número de predadores vivos registrados na pré-amostragem e após 96 horas da pulverização dos tratamentos usando a fórmula proposta por Henderson e Tilton (1955).

#### **4.10. Delineamento experimental e análise de dados**

Todos os bioensaios foram realizados usando o delineamento inteiramente aleatorizado. Para estimar as concentrações letais ( $CL_{50}$  e  $CL_{90}$ ), foi usado um modelo binomial com função de ligação de complemento log-log (modelo gompit) usando o procedimento de Probit do software SAS versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2011). Para estimar a concentração efetiva média ( $CE_{50}$  - concentração necessária para reduzir o número de descendentes produzidos pelas fêmeas e fagodeterrência em 50%), foi utilizado um modelo logístico não linear adaptado de Sims et al. (1996) com o procedimento Nlim do software SAS versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2011).

Os dados de persistência biológica foram submetidos à análise de medidas repetidas no tempo usando modelos lineares generalizados mistos (GLMM) do pacote “*lme4*” (BATES et al., 2015) com distribuição binomial. Para isso, os efeitos das variáveis explanatórias tratamentos e tempo (dias após a aplicação) foram considerados fatores fixos, enquanto as medidas repetidas em cada planta ao longo do tempo foram consideradas aleatórias. O efeito dos tratamentos e do tempo foram analisados por testes de razão de verossimilhança ( $P < 0,05$ ) entre um modelo completo e um modelo reduzido. O mesmo teste foi usado para verificar a significância da interação entre tratamento e tempo, comparando dois modelos: um com interação e outro sem interação. Além disso, um modelo linear generalizado (GLM) (NELDER; WEDDERBURN, 1972) com distribuição quase-binomial foi usado para analisar os dados de proporção (mortalidade de fêmeas adultas) em cada tempo residual. Da mesma

forma, GLM com distribuições quase-binomial, quase-Poisson e Gaussiana foi usado para analisar os dados de proporção (atividade repelente), contagem (eficácia e impacto dos biopesticidas sobre os principais insetos predadores) e taxa instantânea de crescimento populacional do pulgão, respectivamente. A qualidade do ajuste foi verificada por meio do gráfico meio normal com envelope de simulação usando o pacote “*hnp*” (DEMÉTRIO et al., 2014). No caso de diferenças significativas entre os tratamentos, comparações múltiplas foram realizadas com o teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) usando a função “*glht*” do pacote “*multcomp*” com ajustes nos valores de  $P$  (Hothorn et al., 2008). Todas essas análises foram realizadas usando o software estatístico “R”, versão 4.3.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2023).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine proporcionaram alta toxicidade aguda para ninfas e fêmeas adultas de *B. Brassicae*, de maneira dependente da concentração, do estágio de desenvolvimento e do tempo de exposição dos insetos ao contato residual dos biopesticidas (Tabela 1). Entre os estágios de desenvolvimento do inseto, as ninfas de *B. brassicae* foram 46,7 – 74,0% mais suscetíveis aos biopesticidas do que as fêmeas adultas (Tabela 1). Esses resultados estão em consonância com os obtidos por Ma et al. (2018), que constataram, de forma dependente da concentração, um aumento nos níveis de toxicidade aguda dos alcaloides aloperina, matrine, sofocarpina, soforidina, citisina, nicotina e oximatrine com o aumento da concentração de um extrato bruto de *Sophora alopecuroides* L. (Fabales: Fabaceae) aplicado topicamente em fêmeas de *Myzus persicae* Sulzer, *Aphis craccivora* Koch, *Macrosiphum avenae* Fabricius, *Aphis citricola* van der Goot, *Macrosiphum rosivorum* Zhang, *Aphis* sp, e *B. brassicae*. Pavela et al. (2004) e Almasi et al. (2016) observaram um aumento na mortalidade de *B. brassicae* e *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) com o aumento da concentração de azadiractina e do tempo de exposição. Pavela et al. (2004) também relataram que as ninfas de primeiro, segundo, terceiro e quarto ínstares de *B. brassicae* foram mais suscetíveis à azadiractina do que os adultos. Da mesma forma, ninfas de *A. craccivora*

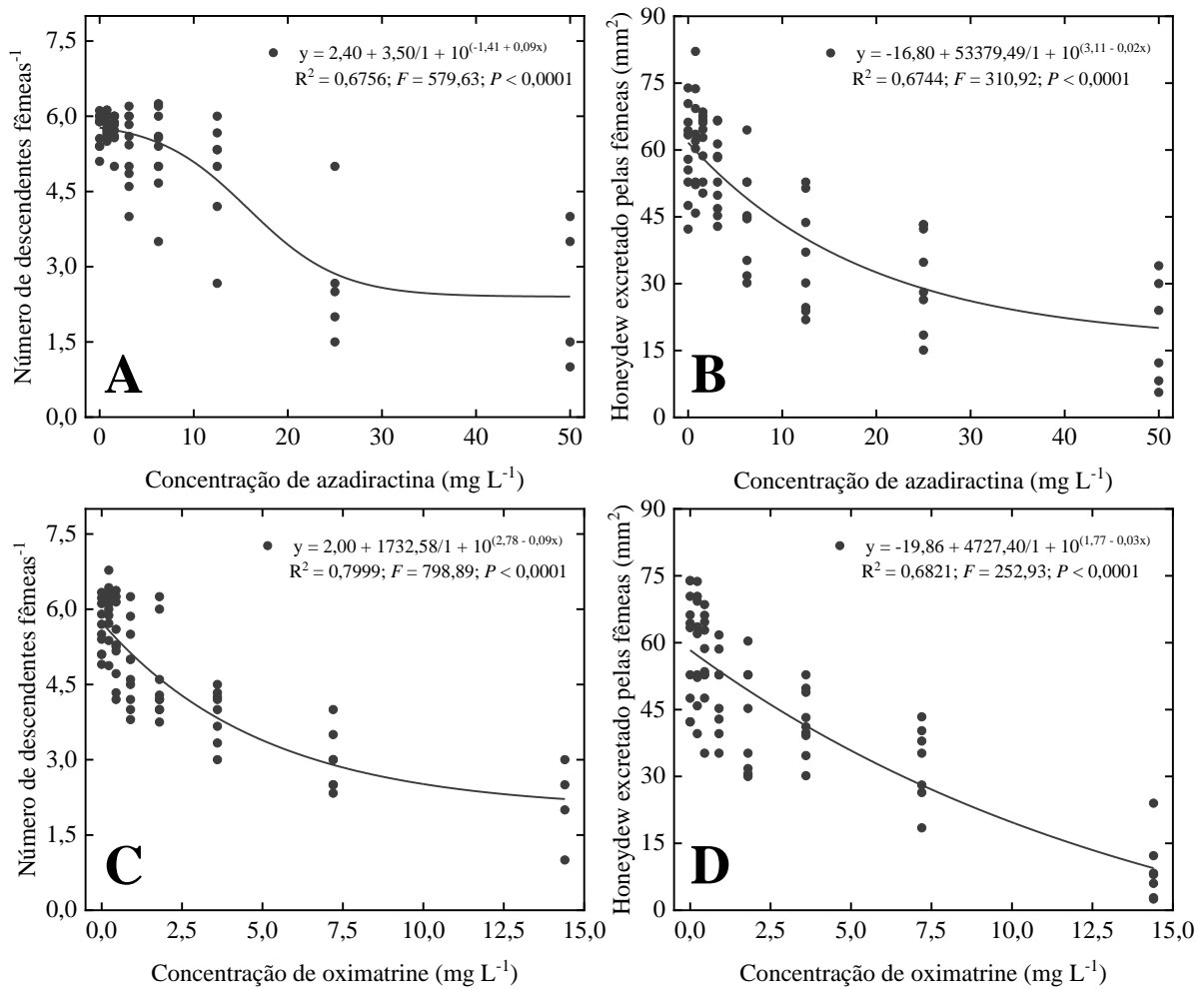
(DIMETRY; EL-HAWARY, 1995), *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (STARK; RANGUS, 1994), *Macrosiphoniella sanbornii* (Gillete) (KOUL, 1999), *Toxoptera citricida* Kirkaldy (TANG et al., 2002), *Aphis glycines* Matsumura (KRAISS; CULLEN, 2008) e *Macrosiphum rosae* L. (BARTELSMEIER et al., 2022) também demonstraram altos níveis de suscetibilidade aos biopesticidas à base de azadiractina em comparação aos adultos. Além da suscetibilidade diferencial dos pulgões aos biopesticidas à base de azadiractina, ninfas de *Aleuroclava jasmini* (Takahashi) (Hemiptera: Aleyrodidae) (ALAADIL et al., 2011), ninfas de *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) (GHOLAMI; SADEGHI, 2016) e larvas e pupas de *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae) (MOHAMED et al., 2023) também apresentaram maior suscetibilidade aos biopesticidas à base de oximatrine do que os adultos. A azadiractina atua como um potente desregulador da 20-hidroxiecdisona e do hormônio juvenil, que desempenha um papel importante na regulação da muda e do crescimento/desenvolvimento dos insetos (MORDUE et al., 2010; CHAUDHARY et al., 2017; KILANI-MORAKCHI et al., 2021). Além disso, a azadiractina também pode inibir a transmissão colinérgica excitatória e bloquear parcialmente os canais de cálcio (QIAO et al., 2014), causando várias alterações endocrinológicas e fisiológicas nos insetos (KILANI-MORAKCHI et al., 2021). Por sua vez, o oximatrine também induz uma interrupção no crescimento dos insetos ao bloquear a atividade das enzimas quitinases que degradam a quitina presente na cutícula e na membrana peritrófica dos insetos durante o processo da muda (ALI et al., 2017). Além disso, o oximatrine inibe as enzimas acetilcolinesterase, adenosina trifosfatase e fenol oxidase, resultando no acúmulo de acetilcolina nas sinapses colinérgicas, na redução das funções intracelulares responsáveis pela sensibilidade dos insetos aos agentes xenobióticos (RABEA et al., 2010), na paralisia, na insuficiência respiratória e na morte dos insetos alvos (EL-MAGEED; SHALABY, 2011).

Tabela 1. Estimativa das CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub> (em mg L<sup>-1</sup>) e intervalo de confiança dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre ninfas e fêmeas adultas de *Brevicoryne brassicae*.

Biopesticida	Estágio de desenvolvimento	Tempo de exposição (horas)	<sup>1</sup> N	Slope ± EP (Valor de P)	CL <sub>50</sub> ( <sup>2</sup> IC)	CL <sub>90</sub> ( <sup>2</sup> IC)	<sup>3</sup> χ <sup>2</sup> ( <sup>4</sup> g.l.)	<sup>5</sup> h	<sup>6</sup> SD (%)
Azadiractina (Azamax <sup>®</sup> 1,2 EC)	Ninfa	24	793	1,24 ± 0,12 (P<0,0001)	18,8 (14,1 – 23,5)	193,9 (116,9 – 195,1)	4,29 (5)	0,86	69,1
		48	790	1,31 ± 0,11 (P<0,0001)	10,6 (8,6 – 13,3)	100,8 (67,3 – 174,1)	6,34 (5)	1,27	65,0
		72	787	1,36 ± 0,17 (P<0,0001)	5,7 (3,6 – 8,0)	46,0 (25,3 – 97,6)	8,89 (5)	1,78	74,0
		96	783	1,50 ± 0,12 (P<0,0001)	2,8 (2,3 – 3,4)	20,1 (15,4 – 28,1)	6,91 (5)	1,38	66,7
	Fêmea adulta	24	799	1,14 ± 0,12 (P<0,0001)	27,2 (20,8 – 37,8)	356,5 (194,1 – 886,6)	3,50 (5)	0,70	-
		48	798	1,13 ± 0,10 (P<0,0001)	16,3 (12,9 – 21,3)	216,6 (129,9 – 442,7)	3,89 (5)	0,78	-
		72	796	1,20 ± 0,11 (P<0,0001)	7,7 (6,2 – 9,7)	91,1 (70,0 – 156,1)	5,97 (5)	1,19	-
		96	792	1,27 ± 0,12 (P<0,0001)	4,2 (3,3 – 5,2)	43,0 (30,9 – 65,8)	4,06 (5)	0,81	-
Oximatrine (Matrine <sup>®</sup> 0,2 SL)	Ninfa	24	795	1,09 ± 0,12 (P<0,0001)	5,5 (4,1 – 7,8)	81,0 (42,4 – 136,5)	4,72 (5)	0,94	70,5
		48	789	1,11 ± 0,15 (P<0,0001)	2,9 (1,8 – 5,1)	41,5 (17,3 – 95,6)	9,19 (5)	1,84	55,8
		72	785	1,08 ± 0,09 (P<0,0001)	1,4 (1,0 – 1,7)	20,8 (13,2 – 38,8)	3,86 (5)	0,77	63,6
		96	781	1,24 ± 0,10 (P<0,0001)	0,7 (0,5 – 0,9)	7,6 (5,4 – 11,7)	4,12 (5)	0,82	46,7
	Fêmea adulta	24	796	1,15 ± 0,13 (P<0,0001)	7,8 (6,0 – 10,9)	102,7 (55,9 – 165,3)	4,86 (5)	0,97	-
		48	794	1,17 ± 0,11 (P<0,0001)	5,2 (4,3 – 8,7)	78,9 (47,1 – 101,4)	4,86 (5)	0,97	-
		72	791	1,19 ± 0,10 (P<0,0001)	2,2 (1,8 – 2,8)	26,2 (17,6 – 44,9)	6,04 (5)	1,21	-
		96	788	1,27 ± 0,12 (P<0,0001)	1,5 (1,0 – 1,9)	12,4 (8,9 – 18,9)	8,08 (5)	1,62	-

<sup>1</sup>N: número de pulgões testados; <sup>2</sup>IC: intervalo de confiança a 95% de probabilidade de erro; <sup>3</sup>χ<sup>2</sup>: valor de qui-quadrado de Pearson; <sup>4</sup>g.l.: graus de liberdade; <sup>5</sup>h: fator de heterogeneidade; <sup>6</sup>DS: suscetibilidade diferencial = [ninfas CL<sub>50</sub> (+ suscetíveis)/fêmeas adultas CL<sub>50</sub> (- suscetíveis)] × 100

Além da toxicidade aguda, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine proporcionaram efeitos subletais para fêmeas adultas de *B. brassicae*. De maneira dependente da concentração, os biopesticidas causaram uma redução significativa no número de descendentes [azadiractina:  $CE_{50} = 17,69 \text{ mg L}^{-1}$  (95% IC: 15,24-19,61; Figura 1A), e oximatrine:  $CE_{50} = 2,72 \text{ mg L}^{-1}$  (95% IC: 2,14-3,45; Figura 1C)] e na alimentação (excreção de honeydew) [azadiractina:  $CE_{50} = 12,88 \text{ mg L}^{-1}$  (95% IC: 10,06-15,01; Figura 1B) e oximatrine:  $EC_{50} = 5,09 \text{ mg L}^{-1}$  (IC de 95%: 3,98-6,17; Figura 1D)] de fêmeas adultas de *B. brassicae*. Uma redução significativa no número de descendentes também foi observada em fêmeas de *M. persicae*, *N. ribisnigri* (LOWERY; ISMAN, 1996), *A. pisum* (STARK; RANGUS, 1994), *M. persicae*, *N. ribisnigri*, *Chaetosiphon fragaefolii* (Cockerell) (LOWERY; ISMAN, 1996), *T. citricida* (TANG et al., 2002), *A. gossypii* (SANTOS et al., 2004) e *B. brassicae* (PAVELA et al., 2004) tratadas com diferentes concentrações de azadiractina. No entanto, GAD et al. (2024) relataram uma redução significativa na capacidade reprodutiva de fêmeas de *Callosobruchus maculatus* (F.) e *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera: Chrysomelidae) expostas residualmente a sementes de feijão caupi tratadas com uma formulação comercial à base de oximatrine (Kingbo®). A azadiractina interfere na síntese de proteínas na gema e/ou na sua absorção pelos oócitos (BOULAHBEL et al., 2015). Ela também pode diminuir as reservas de vitelogenina, afetar negativamente a maturação dos oócitos e os processos de oviposição (AMARAL et al., 2018), reduzir o crescimento dos oócitos e desintegrar e destruir as células foliculares e mitocondriais dos insetos (KILANI-MORAKCHI et al., 2021). Além disso, a azadiractina pode induzir uma inibição da oviposição após a detecção do biopesticida na superfície tratada pelos insetos (CORDEIRO et al., 2010; TOMÉ et al., 2013; BEZZAR-BENDJAZIA et al., 2016). Por outro lado, a redução da progênie proporcionada pelo biopesticida à base de oximatrine é atribuída à capacidade desse composto em causar alta toxicidade aguda às fêmeas expostas aos resíduos, bem como possíveis efeitos subletais na oogênese (SAVI et al., 2021) e/ou inibição da biossíntese de quitina nos estágios iniciais de desenvolvimento dos insetos (GAD et al., 2024).



**Figura 1** – Redução na progênie (A e C) e na excreção de honeydew (B e D) pelas fêmeas adultas de *Brevicoryne brassicae* expostas por 48 horas ao contato residual de diferentes concentrações dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine em condições de laboratório.

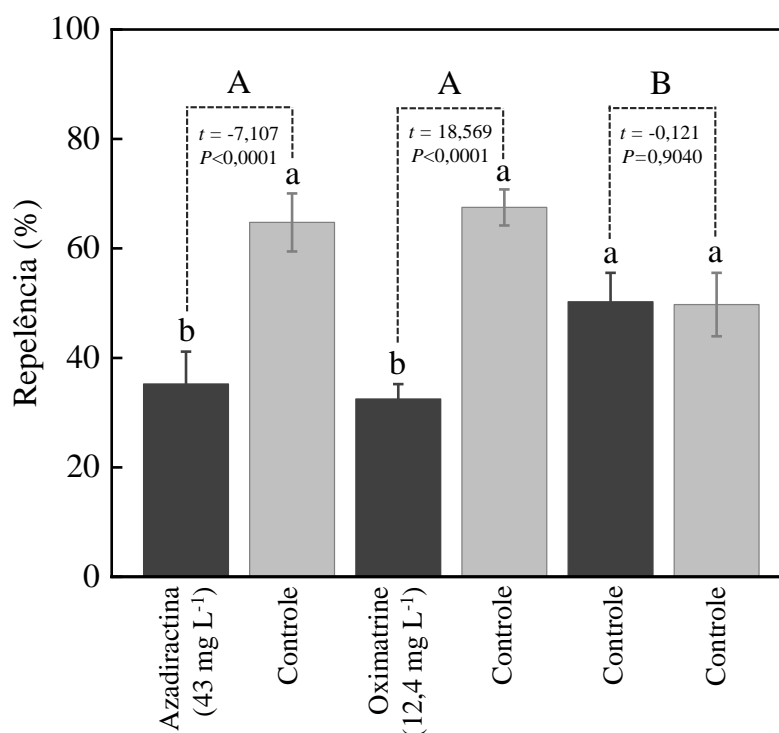
A azadiractina e/ou a oximatrine demonstraram atividade fagodeterrente contra várias espécies de insetos (LIU et al., 2007; MAO; HENDERSON, 2007; SHANNAG et al., 2015; KILANI-MORAKCHI et al., 2017; AL-KHAZRAJI et al., 2019). Os insetos usam quimiorreceptores olfativos e gustativos para procurar, localizar, selecionar e verificar a qualidade dos alimentos (LEE et al., 2010). Neste estudo, a menor quantidade de honeydew excretada pelas fêmeas de *B. brassicae* sugere uma menor ingestão de seiva pelos insetos quando as mudas de repolho híbrido 'Fuyutokio' foram tratadas com diferentes concentrações dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine. A menor ingestão de seiva observada neste estudo é atribuída à maior capacidade das quimiossensilas olfativas/gustativas de detectar

a presença dos biopesticidas nas plantas de repolho (MORDUE; NISBET, 2000). Além disso, os efeitos deletérios dos biopesticidas no comportamento alimentar também podem ter contribuído para a redução da ingestão de alimentos (MORDUE et al., 2010; SHANNAG et al., 2015) e da eficiência de conversão, da digestibilidade e da assimilação de alimentos pelos insetos (SHANNAG et al., 2015). Além disso, os biopesticidas também podem diminuir a ingestão de alimentos devido à ação desses fitoquímicos sobre as enzimas digestivas (BEZZAR-BENDJAZIA et al., 2017; KILANI-MORAKCHI et al., 2021) ou induzindo um efeito agonista nos neurônios dopaminérgicos que resultam na perda da memória gustativa e na redução da atividade alimentar dos insetos (YAN et al., 2017). Portanto, estudos fisiológicos e bioquímicos mais detalhados precisam ser realizados para entender melhor a ação dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine sobre a atividade alimentar dos pulgões.

Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine também proporcionaram atividade repelente para fêmeas adultas de *B. brassicae*, diferindo dos demais tratamentos [ $F = 7,668$ ;  $g.l. = 3, 76$ ;  $P = 0,0002$ ; Figura 2]. A repelência é um fenômeno fisiológico que ocorre em insetos como um mecanismo de defesa contra estímulos desfavoráveis ou que prejudicam seu desenvolvimento e sobrevivência. Este fenômeno é desencadeado pela alta capacidade das sensilas quimiossensoriais olfativas/gustativas presentes nas antenas dos insetos em detectar a presença de qualquer estímulo desfavorável (como, por exemplo, a presença de fitoquímicos) e induzir movimentos dos insetos para longe da fonte de odor (DETHIER et al., 1960). Uma atividade repelente considerável de formulações à base de azadiractina e oximatrine também foi relatada anteriormente para várias espécies de insetos (KIM et al., 2005; LIU et al., 2007; MAO; HENDERSON, 2007; YANG et al., 2010; BINA et al., 2017; BARTELSMEIER et al., 2022) tratados com esses fitoquímicos. Embora estudos laboratoriais mostrem a ação repelente desses fitoquímicos contra insetos, estudos detalhados em condições de campo precisam ser realizados para confirmar a eficácia e a duração da atividade repelente desses fitoquímicos.

Apesar da fagodeterrência e repelência proporcionadas pelos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine contra fêmeas adultas de *B. brassicae* serem consideradas uma vantagem desses fitoquímicos devido à redução dos danos diretos (sucção de seiva) e indiretos (transmissão de vírus) às plantas de brássicas, a exposição do inseto aos biopesticidas por um longo período pode reduzir sua sensibilidade na detecção dos xenobióticos (um processo

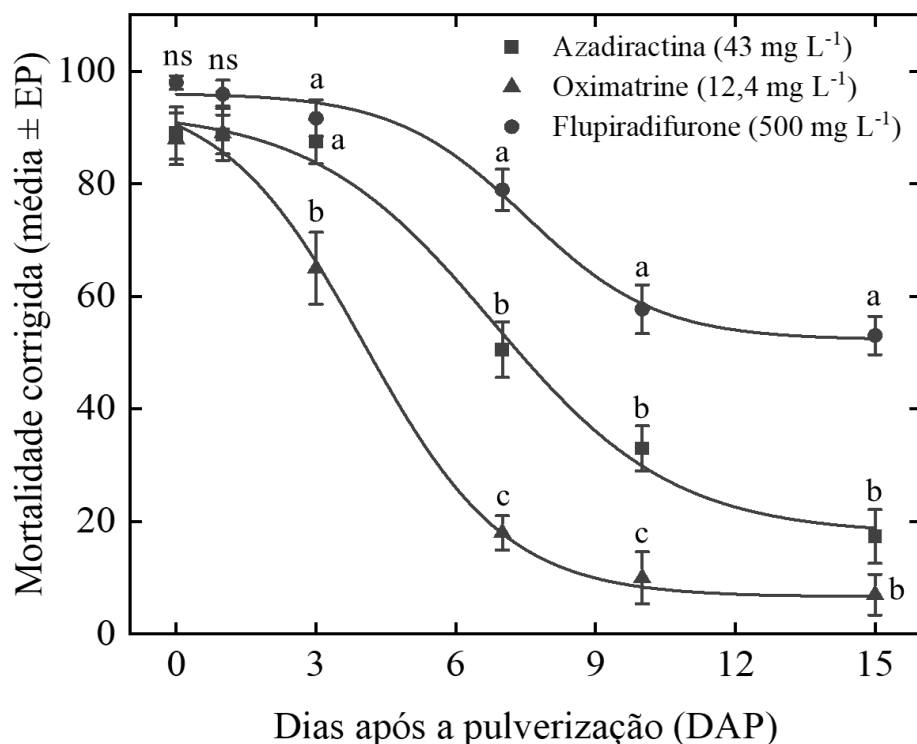
conhecido como habituação) e, conseqüentemente, reduzir eficácia desses compostos contra a praga. Essa hipótese é suportada por Bomford e Isman (1996), que demonstraram uma rápida habituação de *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae) exposta à azadiractina pura (mas não à formulação), reduzindo a fagodeterrência após três exposições do inseto em intervalos de 24 horas. Isso pode ter uma implicação importante para evitar a dessensibilização aos biopesticidas comerciais à base de azadiractina ou oximatrine, que têm compostos adicionais além da azadiractina ou oximatrine presentes na formulação (BOMFORD; ISMAN, 1996). A aplicação de uma formulação comercial rica em azadiractina (NeemAzal<sup>®</sup>) em adultos de *Drosophila melanogaster* (Meigen) (Diptera: Drosophilidae) reduziu o processo de seleção e a ingestão de alimentos das larvas das fêmeas sobreviventes (BEZZAR-BENDJAZIA et al., 2017). Além disso, as respostas habituadas a determinados deterrentes alimentares podem modular seu comportamento com base em experiências anteriores no início da vida e várias alterações mediadas por pesticidas na geração diretamente exposta podem persistir nas gerações subsequentes não expostas (COSTA et al., 2014; MÜLLER et al., 2017). Embora estudos anteriores e atuais tenham se concentrado nas respostas decrescentes de pragas aos produtos com propriedades fagodeterrentes e repelentes, as características de habituação geralmente não foram consideradas e investigadas. Além disso, o conhecimento dos processos que contribuem para a desabituação (processo inverso à habituação) tem sido fundamental para entender as mudanças comportamentais dos insetos, auxiliando na previsibilidade de ocorrência/reinfestação de pragas alvos e na tomada de decisão das táticas de manejo mais adequadas. Essa característica também contribui para o uso sinérgico de diferentes compostos fagodeterrentes e repelentes que reduzem a alimentação e a permanência dos insetos nas plantas tratadas.



**Figura 2** – Atividade repelente dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrixine sobre fêmeas adultas de *Brevicoryne brassicae* residualmente expostas ao contato residual por 12 horas. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (entre pares de tratamento) e maiúsculas (entre grupos de tratamento) não diferem estatisticamente (GLM com distribuição quase-binomial, seguida de *post hoc* do teste de Tukey,  $P < 0,05$ ). As barras verticais indicam o erro padrão da média.

Considerando a pronunciada atividade afidicida proporcionada pelos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrixine nos bioensaios laboratoriais, a persistência biológica dos biopesticidas foi avaliada sobre fêmeas adultas de *B. brassicae* usando mudas de repolho híbrido 'Fuyutokio' cultivadas em recipientes plásticos de 180 mL em casa de vegetação. Os resultados demonstraram uma interação significativa entre as características explanatórias tratamento e tempo ( $\chi^2 = 127,22$ ; *g.l.* = 1;  $P < 0,0001$ ), indicando que os níveis de toxicidade variam com os tempos residuais (Figura 3). Neste estudo, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrixine proporcionaram alta mortalidade (> 80%) de fêmeas adultas de *B. brassicae* até 3 e 1 dia após a pulverização (DAP), respectivamente (Figura 3). Em contraste, o inseticida sintético flupiradifurone causou mortalidade superior a 53% até 15 DAP. Entre os biopesticidas

testados, a formulação comercial à base de azadiractina (Azamax<sup>®</sup>) apresentou maior persistência biológica quando comparado com a formulação comercial à base de oximatrine (Matrine<sup>®</sup>), com nível de mortalidade superior a 32% até 10 DAP.



**Figura 3** – Mortalidade corrigida de fêmeas adultas de *Brevicoryne brassicae* expostas ao contato residual dos biopesticidas à base de azadiractina ( $y = 17,74 + 75,70/1 + 10^{(-1,50 + 0,22x)}$ ;  $R^2 = 0,9810$ ;  $F = 355,83$ ;  $P = 0,0028$ ) e oximatrine (12,4 mg L<sup>-1</sup>:  $y = 6,61 + 89,83/1 + 10^{(-1,13 + 0,28x)}$ ;  $R^2 = 0,9922$ ;  $F = 421,54$ ;  $P = 0,0024$ ) e o inseticida sintético flupiradifurone ( $y = 52,29 + 43,85/1 + 10^{(-2,33 + 0,31x)}$ ;  $R^2 = 0,9821$ ;  $F = 1.433,08$ ;  $P < 0,0001$ ) em diferentes tempos residuais (dias após a pulverização, DAP). As barras verticais indicam o erro padrão das médias. No controle negativo, a mortalidade de fêmeas adultas de *B. brassicae* foi inferior a 9,5% em todos os tempos residuais.

A baixa persistência biológica dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine é atribuída à alta degradação dessas formulações pelos fatores edafoclimáticos e biológicos presentes nos agroecossistemas (BARTELSMEIER et al., 2022). A azadiractina tem uma meia-vida de apenas 4 dias em água a pH 7 e temperatura de 30 °C, e a degradação se eleva com o aumento do pH e da temperatura (BARREK et al., 2004). Além disso, a azadiractina A e outros compostos de extratos de nim que foram pulverizados na folhagem de oliva e morango tiveram um tempo de meia-vida de menos de um dia devido à fotodegradação (CABONI et al., 2006).

Em folhas de mamona expostas à luz solar, o tempo de meia-vida calculado da azadiractina A foi de 2,5 dias (JOHNSON et al., 2003). Da mesma forma, em condições de solo seco, a meia-vida das formulações comerciais à base de matrine/oximatrine variou de 5,4 a 8,6 dias (KIM et al., 2015). Além disso, Raheem et al. (2019) e Andrade et al. (2019) reportaram uma rápida degradação da oximatrine pelos microrganismos de solo e fatores ambientais [temperatura, umidade, precipitação e radiação ultravioleta (UV) e visível (Vis)], respectivamente. Portanto, o desenvolvimento de nanoformulações [estruturas compostas de nanopartículas que ajudam não apenas a transportar ingredientes ativos de pesticidas e aumentar a solubilidade e a biodisponibilidade na água, mas também a proteger os agroquímicos contra a degradação ambiental (AYILARA et al., 2023)] com liberação controlada e/ou o uso de compostos em mistura pode ser uma solução para aumentar o período de proteção dessas formulações (YADAV et al., 2020).

Embora a baixa persistência biológica das formulações comerciais à base de azadiractina e oximatrine possa ser considerada uma desvantagem devido à necessidade de reaplicação mais frequente dos biopesticidas, essa característica permite seu uso na pré-colheita, quando é necessário utilizar produtos com intervalo de segurança reduzido. A baixa persistência biológica também reduz os riscos de seleção de populações de insetos resistentes aos ingredientes ativos desses fitoquímicos, devido à menor pressão de seleção exercida sobre as espécies alvos (SIEGWART et al., 2015). Além disso, reduz o impacto sobre os agentes de controle biológico presentes nas áreas de produção devido ao menor período de ação desses fitoquímicos sobre artrópodes não alvos, permitindo a rápida recolonização e o estabelecimento do equilíbrio ecológico nos agroecossistemas. A baixa persistência biológica também facilita a liberação de inimigos naturais para controle das pragas alvos logo após a aplicação desses produtos. Essa possibilidade é corroborada pelo estudo de Hwang et al. (2009), que avaliaram a toxicidade de um extrato vegetal contendo nim (azadiractina) e matrine (outro alcaloide quinolizidínico) em diferentes espécies de predadores e parasitoides e verificaram a baixa toxicidade da formulação para os agentes de controle biológico. Da mesma forma, Khan (2021) demonstrou alta compatibilidade da azadiractina com inimigos naturais usados no controle de *B. brassicae*. Mesmo assim, a seletividade das formulações comerciais à base de azadiractina e oximatrine para os agentes de controle biológico que atuam no controle natural de *B. brassicae* e de outros artrópodes praga nos sistemas de produção de hortaliças deverá ser o foco de futuros

estudos.

No bioensaio de campo com infestação natural de *B. brassicae*, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine proporcionaram uma redução significativa (> 83,6%) nos níveis populacionais de *B. brassicae* após 96 horas da pulverização dos produtos, com níveis de eficácia comparáveis (não superiores) ao inseticida sintético flupiradifurone (Tabela 2). Apesar da alta eficácia, os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine não afetaram significativamente os níveis populacionais dos principais insetos predadores que atuam no controle biológico de *B. brassicae* (Figura 4). Em contraste, o inseticida sintético flupiradifurone reduziu significativamente a população de insetos predadores na área de produção do repolho híbrido 'Fuyutokio'. Entre os insetos predadores de *B. brassicae*, os crisopídeos [*Chrysoperla externa* (Hagen), *Chrysoperla carnea* (Stephens) e *Ceraeochrysa caligata* (Banks)], as joaninhas [*Coccinella septempunctata* (L.), *Cycloneda sanguinea* (L.), *Eriopis connexa* (Germer) e *Harmonia axyridis* (Pallas)] e sirfídeos [*Allograpta exotica* (Wiedemann), *Pseudodorus clavatus* (Fabricius) e *Ocyptamus gastrostactus* (Wiedemann)] foram as espécies encontradas nas unidades experimentais durante o período de avaliação.

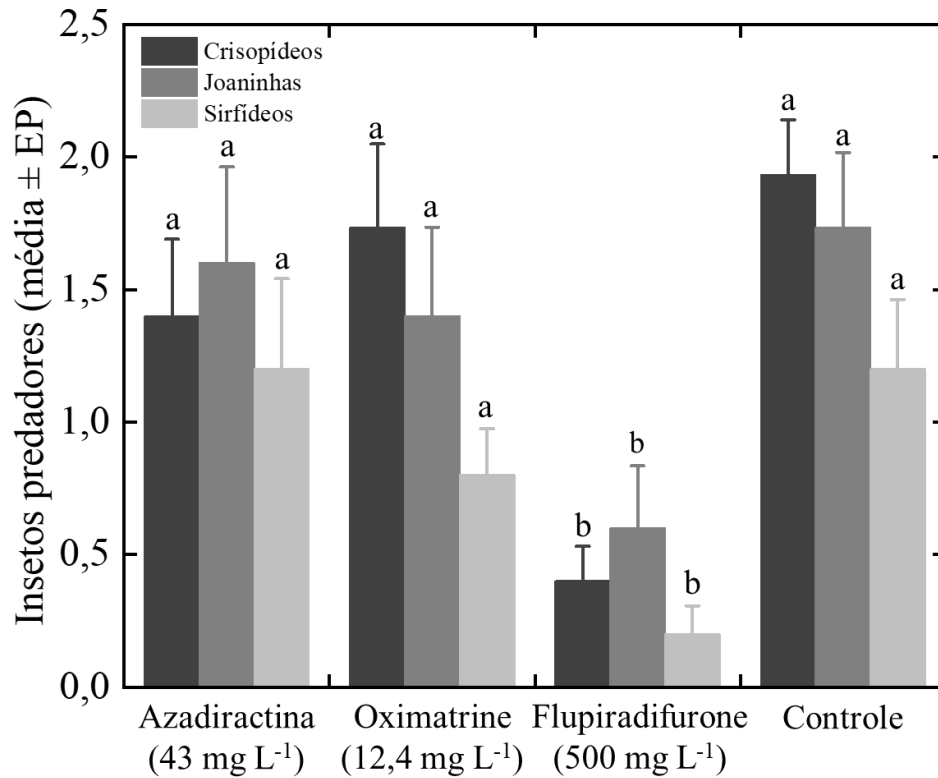
Shannag et al. (2014) também demonstraram que as formulações à base de azadiractina foram altamente eficazes na supressão populacional de *M. persicae* devido a sua alta toxicidade aguda, alta redução na reprodução e alimentação e atividade repelente proporcionada pela formulação. Portanto, esses compostos podem ser usados como substitutos ou como ferramentas adicionais em rotação com pesticidas sintéticos para o manejo de *B. brassicae* em sistemas de produção convencionais ou como medida eficaz de controle do pulgão do repolho em sistemas de produção de base ecológica. Além disso, esses compostos são facilmente degradáveis no ambiente, o que permite a colheita de hortaliças frescas em um curto período após a aplicação. Esses compostos também são eficazes em pequenas concentrações contra pragas alvos específicas e, portanto, causam pouco ou nenhum impacto sobre os inimigos naturais que regulam as populações de pragas nos agroecossistemas.

**Tabela 2** – Eficácia de biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine no controle populacional de *Brevicoryne brassicae* em área de produção de repolho híbrido ‘Fuyutokio’ naturalmente infestada pela praga.

Tratamento	Concentração usada (mg L <sup>-1</sup> )	Número de pulgões por amostra <sup>1</sup> (Área foliar 10 cm <sup>2</sup> )		Eficácia de controle (%)	Taxa instantânea de crescimento populacional ( <i>ri</i> ) <sup>2</sup>
		Pré-amostragem	Pós-tratamento (96 horas)		
Azadiractina (Azamax <sup>®</sup> 1.2 EC)	43	460,4 ± 60,34 a	51,8 ± 7,69 b	83,6	-0,543 ± 0,0495 b
Oximatrine (Matrine <sup>®</sup> 0.2 SL)	12,4	477,6 ± 45,90 a	47,8 ± 5,66 b	88,7	-0,579 ± 0,0326 b
Flupyradifurone (Sivanto Prime <sup>®</sup> 200 SL)	500	438,5 ± 44,75 a	9,7 ± 1,51 c	97,5	-0,977 ± 0,0529 a
Controle	-	501,6 ± 35,56 a	473,5 ± 18,13 a	-	-0,010 ± 0,0050 d
<i>F</i> <sub>3, 36</sub>		0,346	349,500		46,400
Valor de <i>P</i>		0,8820	<0,0001		<0,0001

<sup>1</sup>Dados (média ± EP) seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson, seguido por *post hoc* do teste de Tukey, *P* < 0,05).

<sup>2</sup>Dados (média ± SE) seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (GLM com distribuição Gaussiana, seguido por *post hoc* do teste de Tukey, *P* < 0,05)



**Figura 4** – Impacto dos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine nos níveis populacionais de crisopídeos [*Chrysoperla externa* (Hagen), *Chrysoperla carnea* (Stephens) e *Ceraeochrysa caligata* (Banks)], joaninhas [*Coccinella septempunctata* (L.), *Cycloneda sanguinea* (L.), *Eriopis connexa* (Germar) e *Harmonia axyridis* (Pallas)] e sirfídeos [*Allograpta exotica* (Wiedemann), *Pseudodorus clavatus* (Fabricius) e *Ocyptamus gastrostactus* (Wiedemann)] que atuam no controle biológico de *Brevicoryne brassicae* em uma área de produção de repolho híbrido 'Fuyutokio'. Médias seguidas pela mesma letra (entre grupos de insetos predadores) não diferem estatisticamente (GLM com distribuição quase-Poisson, seguida por *post hoc* do teste de Tukey,  $P < 0,05$ ). As barras verticais indicam o erro padrão da média.

## 6. CONCLUSÕES

- Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine apresentam alta toxicidade aguda para ninfas e fêmeas adultas de *B. brassicae*;

- As ninfas de *B. brassicae* apresentam maiores níveis de suscetibilidade aos biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine do que as fêmeas adultas;
- Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine reduzem o número de descendentes produzidos pelas fêmeas de *B. brassicae*
- Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine apresentam atividade repelente para fêmeas adultas de *B. brassicae*;
- Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine apresentam baixa persistência biológica para fêmeas adultas de *B. brassicae*;
- Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine apresentam eficácia comparável (não superior) ao inseticida sintético flupiradifurone (Sivanto Prime 200 SL) para o manejo populacional de *B. brassicae*;
- Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine não afetam os níveis populacionais dos principais insetos predadores de *B. brassicae*;
- Os biopesticidas à base de azadiractina e oximatrine constituem uma importante ferramenta de manejo de *B. brassicae* nos sistemas de produção de Brassicaceae, em especial naqueles de base ecológica onde ferramentas de controle são inexistentes ou escassas e medidas eficazes de controle precisam ser incorporadas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARTHY, T.; MULANI, F.A.; PANDREKA, A.; KUMAR, A.; NANDIKOL, S.S.; HALDAR, S.; THULASIRAM, H.V. Tracing the biosynthetic origin of limonoids and their functional groups through stable isotope labeling and inhibition in neem tree (*Azadirachta indica*) cell suspension. **BMC Plant Biology**, v. 18, p. 1–21, 2018.

ABBAS, S.S.; SUBAIH, A.J.; SALEH, Y.A. The effects of biological and chemical agents on the management of main pests in tomato plant. **Al-Qadisiyah Journal for Agriculture Sciences**, v. 10, p. 325–334, 2020.

ABD-ALLA, H.I.; SOUGUIR, D.; RADWAN, M.O. Genus *Sophora*: a comprehensive review on secondary chemical metabolites and their biological aspects from past achievements to future perspectives. **Archives of Pharmacal Research**, v. 44, p. 903–986, 2021.

ABDEL-RAHMAN, M.A.A.; AWAD, A.M.A.; OMAR, Y.M.; MAHMOUD, A.H. Development and life table parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Homoptera, Aphididae) in relation to constant temperatures. **Assiut University Journal of Zoology**, v. 40, p. 1-12, 2011.

AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2024, Brasil. Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 25 Abr. 2024.

AHEER, G.M.; AMJAD, A.; MANZOOR, A. Abiotic factors effect on population fluctuation of alate aphids in wheat. **Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 367-371, 2008.

AHMAD, M.; AKHTAR, S. Development of insecticide resistance in field populations of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) in Pakistan. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, p. 954–958, 2013.

AHMED, M.; PEIWEN, Q.; GU, Z.; LIU, Y.; SIKANDAR, A.; HUSSAIN, D.; JAVEED, A.; SHAFI, J.; IQBAL, M.F.; AN, R.; GUO, H.; DU, Y.; WANG, W.; ZHANG, Y.; JI, M. Insecticidal activity and biochemical composition of *Citrullus colocynthis*, *Cannabis indica* and *Artemisia argyi* extracts against cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). **Scientific Reports**, v. 10, p. 522, 2020.

ALAADIL, K.M.; HAMEED, A.A.; MOHAMED, H.A.; TARK, A.M. Influence of botanical insecticide “oxymatrine”. **Iraq Journal of Agricultural Research**, v. 16, p. 109–117, 2011.

ALI, S.; ZHANG, C.; WANG, Z.; WANG, X.M.; WU, J.H.; CUTHBERTSON, A.G.; SHAO, Z.; QIU, B.L. Toxicological and biochemical basis of synergism between the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* and the insecticide matrine against *Bemisia tabaci* (Gennadius). **Scientific Reports**, v. 7, p. 46558, 2017.

AL-KHAZRAJI, H.I.; GAYM, N.N.; RESAN, A.M. Effect of oxymatrine 2.4% in some biological aspects of *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). **ARID International Journal for Science and Technology**, v. 2, p. 1–9, 2019.

ALMASI, A.; SEYAHOOEI, M.A.; KHAJEHZADEH, Y. The toxicity of acetamiprid, dichlorvos and azadirachtin pesticides on melon aphid, *Aphis gossypii* Glover and *Lysiphlebus fabarum* Marshall. **Iranian Journal of Plant Protection Science**, v. 47, p. 151–162, 2016.

ALOUANI, A.; REHIMI, N.; SOLTANI, N. Ovicidal activity of azadirachtin and *Bacillus thuringiensis israelensis* against eggs of mosquito *Culex pipiens*. **Mintage Journal of Pharmaceutical and Medical Sciences**, v. 7, p. 8–12, 2018.

AL-TAMIMI, M.S.; BAKR, S.Z.; MOHAMMED, J.K. The effect biosynthesis of silver nanoparticles by Oxymatrine Botanical Insecticide against *Aphis gossypii* on cucumber and their predator *Chrysoperla carnea*. **Euphrates Journal of Agricultural Science**, v. 12, p. 586–597, 2020.

AMARAL, K.D.; MARTÍNEZ, L.C.; LIMA, M.A.P.; SERRÃO, J.E.; DELLA-LUCIA, T.M.C. Azadirachtin impairs egg production in *Atta sexdens* leaf-cutting ant queens. **Environmental Pollution**, v. 243, p. 809–814, 2018.

AMOABENG, B.W.; STEVENSON, P.C.; PANDEY, S.; MOCHIAH, M.B.; GURR, M.G. Insecticidal activity of a native Australian tobacco, *Nicotiana megalosiphon* Van Heurck & Muell. Arg. (Solanales: Solanaceae) against key insect pests of brassicas. **Crop Protection**, v. 106, p. 6–12, 2018.

ANDRADE, D.J.; RIBEIRO, E.B.; MORAIS, M.R.; ZANARDI, O.Z. Bioactivity of an oxymatrine-based commercial formulation against *Brevipalpus yothersi* Baker and its effects

on predatory mites in citrus groves. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 176, p. 339-345, 2019.

ANDRADE, D.J.; ROCHA, C.M.; MATOS, S.T.S.; ZANARDI, O.Z. Oxymatrine-based bioacaricide as a management tool against *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in coffee. **Crop protection**, v. 134, p. 105182, 2020.

ASI, M.R.; BASHIR, M.H.; MIRZA, J.H.; AFZALAND, M.; IMRAN, S. In vitro efficacy of entomopathogenic fungi against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. **Pakistan Entomologist**, v. 31, p. 43-47, 2009.

AYILARA, M.S.; ADELEKE, B.S.; AKINOLA, S.A.; FAYOSE, C.A.; ADEYEMI, U.T.; GBADEGESIN, L.A.; OMOLE, R.K.; JOHNSON, R.M.; UTHMAN, Q.O.; BABALOLA, O.O. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: a case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1040901, 2023.

AZIZ, M.A.; IRFAN, M.; BODLAH, I.; HANIF, M. Effect of different brassica vegetables on biology and demographic parameters of *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) under laboratory conditions. **Asian Journal of Agriculture and Biology**, v. 4, p. 17–24, 2016.

BARREK, S.; PAISSE, O.; GRENIER-LOUSTALOT, M.F. Analysis of neem oils by LC–MS and degradation kinetics of azadirachtin-A in a controlled environment: characterization of degradation products by HPLC–MS–MS. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 378, p. 753–763, 2004.

BARTELSMEIER, I.; KILIAN, M.; DICKE, M. Effects of NeemAzal-T/S on different developmental stages of rose aphid, *Macrosiphum rosae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 170, p. 245–259, 2022.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; AWALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using *lme4*. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1–48, 2015.

BELING, R.R. **Anuário Brasileiro de Horti Fruti**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2022. 100p. Disponível em: <<https://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-de-horti-fruti-2022/>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

BEN-YAKIR, D.; ANTIGNUS, Y.; OFFIR, Y.; SHAHAK, Y. Colored shading nets impede insect invasion and decrease the incidences of insect-transmitted viral diseases in vegetable crops. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 144, p. 249-257, 2012.

BERNARDI, D.; BOTTON, M.; CUNHA, U.S.; BERNARDI, O.; MALAUSA, T.; GARCIA, M.S.; NAVA, D.E. Effects of azadirachtin on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its compatibility with predatory mites (Acari: Phytoseiidae) on strawberry. **Pest Management Science**, v. 69, p. 75-80, 2013.

BEZZAR-BENDJAZIA, R.; KILANI-MORAKCHI, S.; ARIBI, N. Larval exposure to azadirachtin affects fitness and oviposition site preference of *Drosophila melanogaster*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 133, p. 85–90, 2016.

BEZZAR-BENDJAZIA, R.; KILANI-MORAKCHI, S.; MAROUA, F.; ARIBI, N. Azadirachtin induced larval avoidance and antifeeding by disruption of food intake and

digestive enzymes in *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 143, p. 135–140, 2017.

BINA, S.; JAVADI, I.; IRAVANI, O. Evaluation of the repellency effect of neem (*Melia azedarach*) plant extracts based on the Mittler & Dadd method. **Journal of Agricultural Chemistry and Environment**, v. 6, p. 165, 2017.

BOMFORD, M.K.; ISMAN, M.B. Desensitization of fifth instar *Spodoptera litura* to azadirachtin and neem. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 81, p. 307–313, 1996.

BORTOLI, S.A.; FERNANDES, M.C.; ALBERGARIA, N.M.M.S.; DÓRIA, H.O.S. Aspectos biológicos de *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae) em relação ao estado nutricional de *Brassica oleracea* L. var. *acephala*. **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, v. 32, p. 647–653, 2006.

BOULAHBEL, B.; ARIBI, N.; KILANI-MORAKCHI, S.; SOLTANI, N. Insecticidal activity of azadirachtin on *Drosophila melanogaster* and recovery of normal status by exogenous 20-hydroxyecdysone. **African Entomology**, v. 23, p. 224–233, 2015.

BRANDÃO-FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. (Eds.). **Hortaliças-fruto**. Maringá: **Universidade Estadual de Maringá-EDUEM**, 535p., 2018.

BRUCKNER, F.P.; BARBOSA, T.M.; EIRAS, M.; ZANARDO, L.G. Broccoli, cabbage and cauliflower. In: AWASTHI, L.P. (Ed.). **Viral diseases of field and horticultural crops**. Academic Press, 2024. p. 427-436.

BRUNELLI, K.R.; GIORIA, R.; KOBORI, R.F. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças das brássicas no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa, 2011. p. 145-160.

CABONI, P.; SARAIS, G.; ANGIANI, A.; GARCIA, A.J.; LAI, F.; DEDOLA, F.; CABRAS, P. Residues and persistence of neem formulations on strawberry after field treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 10026–10032, 2006.

CANASSA, V.F.; BALDIN, E.L.L.; LOURENÇÃO, A.L.; BARROS, D.R.P.; LOPES, N.P.; SARTORI, M.M.P. Feeding behavior of *Brevicoryne brassicae* in resistant and susceptible collard greens genotypes: interactions among morphological and chemical factors. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 168, p. 228–239, 2020.

CANASSA, V.F.; BALDIN, E.L.L.; SACILOTTO, M.G.; LOURENÇÃO, A.L.; FANELA, T.L.M. Assessing the resistance of collard greens genotypes to the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) (Hemiptera: Aphididae). **Phytoparasitica**, v. 49, p. 633–644, 2021.

CARLOS, L.; RODRIGUES, N.; RAMOS, A.C.; ALEGRIA, C.; ALVES, V.; ABREU, M.; GONÇALVES, E.M. Caracterização físico-química e fitoquímica de cinco brássicas e respectivos tecidos vegetais. **Vida Rural**, v. 4, p. 64-69, 2022.

CELLI, N.D.G.D.R.; ALMEIDA, L.M.; BASÍLIO, D.S.; CASTRO, C.F. The way to maturity: taxonomic study on immatures of Southern Brazilian Coccinellini (Coleoptera: Coccinellidae) species important in biological control. **Zoologia**, v. 38, p. e64154, 2021.

- CEPEA. Anuário HF Brasil: retrospectiva 2022 & perspectiva 2023. **Hortifruti Brasil**, n. 229, p.12, 2023.
- CHAUDHARY, S.; KANWAR, R.K.; SEHGAL, A.; CAHILL, D.M.; BARROW, C.J.; SEHGAL, R.; KANWAR, J.R. Progress on *Azadirachta indica* based biopesticides in replacing synthetic toxic pesticides. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 226969, 2017.
- CHENGALA, L.; SINGH, N. Botanical pesticides – a major alternative to chemical pesticides: a review. **International Journal of Life Sciences**, v. 5, p. 722–729, 2017.
- CIVIDANES, F.J. Exigências térmicas de *Brevicoryne brassicae* e previsão de picos de populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 561-566, 2003.
- CORDEIRO, E.M.G.; CORRÊA, A.S.; VENZON, M.; GUEDES, R.N.C. Insecticide survival and behavioral avoidance in the lacewings *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa cubana*. **Chemosphere**, v. 81, p. 1352–1357, 2010.
- COSTA, J. T.; FORIM, M.R.; COSTA, E.S.; SOUZA, J.R.; MONDEGO, J.M.; JUNIOR, A.L.B. Effects of different formulations of neem oil-based products on control *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (Coleoptera: Bruchidae) on beans. **Journal of Stored Products Research**, v. 56, p. 49-53, 2014.
- DEMÉTRIO, C.G.B.; HINDE, J.; MORAL, R.A. Models for overdispersed data in entomology. In: FERREIRA, C.P.; GODOY, W.A.C. (Eds.), **Ecological modeling applied to entomology**. Springer, Switzerland, 2014. p. 219– 259.
- DETHIER, V.G.; BROWNE, B.L.; SMITH, C.N. The designation of chemicals in terms of the responses they elicit from insects. **Journal of Economic Entomology**, v. 53, p. 134–136, 1960.
- DIMETRY, N.Z.; EL-HAWARY, F.M. Neem Azal-F as an inhibitor of growth and reproduction in the cowpea aphid *Aphis craccivora* Koch. **Journal of Applied Entomology**, v. 119, p. 67–71, 1995.
- DUTCHER, J.D. A review of resurgence and replacement causing pest outbreaks in IPM. In: CIANCIO, A.; MUKERJI, K.G. (Eds.). **General concepts in integrated pest and disease management**. Springer: Netherlands, 2007. p. 27–43.
- EL-MAGEED, A.A.; SHALABY, S.E. Toxicity and biochemical impacts of some new insecticide mixtures on cotton leaf worm *Spodoptera littoralis* (Boisd.). **Plant Protection Science**, v. 47, p. 166–175, 2011.
- EMBABY, E.E.; LOTFY, D.E. Controlling cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) using isolated mycoinsecticides. **Journal of Plant Protection and Pathology**, v. 7, p. 73–77, 2016.
- FAO. **Fruit and vegetables – your dietary essentials**, 2020. In: The International Year of Fruits and Vegetables, 2021, **Background Paper**. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/cb2395en>>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- FIDELIS, E.G.; SANTOS, A.A.; SOUSA, F.F.; SILVA, R.S.D.; DÂNGELO, R.A.C.; PICANÇO, M.C. Predation is the key mortality factor for *Brevicoryne brassicae* in cabbage crops. **Biocontrol Science and Technology**, v. 28, p. 1164–1177, 2018.
- FREITAS, S.; PENNY, N.D. The green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) of Brazilian agroecosystems. **Proceedings of the California Academic Science**, v. 52, p. 245–395, 2001.

- GAD, H.A.; AL-AYAT, A.A.; MOHAMED, H.A.; ABDELGALEIL, S.A. Long term efficacy of three chitin synthesis inhibitors and oxymatrine as ecofriendly seed protectants against *Callosobruchus maculatus* and *Callosobruchus chinensis*. **Journal of Stored Products Research**, v. 105, p. 102243, 2024.
- GHOLAMI, Z.; SADEGHI, A. Management strategies for western flower thrips in vegetable greenhouses in Iran: a review. **Plant Protection Science**, v. 52, p. 87–98, 2016.
- GOULART, L.S.; CARDOSO, F.K.; SOUZA, L.M.; STEIN, E.A.; FAITA, M.R.; POLTRONIERI, A.S. Biology and life table of *Brevicoryne brassicae* and *Lipaphis pseudobrassicae* (Hemiptera: Aphididae) on *Brassica oleracea* var. *acephala*. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 11, p. 172–177, 2023.
- HAO, Z.P.; ZHAN, H.X.; GAO, L.L.; HUANG, F.; ZHU, L.N.; HOU, S.M. Possible effects of leaf tissue characteristics of oilseed rape *Brassica napus* on probing and feeding behaviors of cabbage aphids *Brevicoryne brassicae*. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 14, p. 733–744, 2020.
- HAO, Z.P.; ZHAN, H.X.; WANG, Y.L.; HOU, S.M. How cabbage aphids *Brevicoryne brassicae* (L.) make a choice to feed on *Brassica napus* cultivars. **Insects**, v. 10, p. 75, 2019.
- HARITHA, M.D.; BALA, S.; CHOUDHURY, D. Eco-friendly plant based on botanical pesticides. **Plant Archives**, v. 21, p. 2197–2204, 2021.
- HENDERSON, C.F.; TILTON, E.W. Tests with acaricides against the brown wheat mite. **Journal of Economic Entomology**, v. 48, p. 157–161, 1955.
- HOLTZ, A.M.; RONDELLI, V.M.; CELESTINO, F.N.; BESTETE, L.R.; CARVALHO, J.R. (eds.). **Pragas das brássicas**. Colatina, ES: IFES, 2015. 230 p.
- HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. Simultaneous inference in general parametric models. **Biometrical Journal**, v. 50, p. 346–363, 2008.
- HUAN, D.Q.; HOP, N.Q.; SON, N.T. Oxymatrine: a current overview of its health benefits. **Fitoterapia**, v. 168, p. 105565, 2023.
- HWANG, I.C.; KIM, J.; KIM, H.M.; KIM, D.I.; KIM, S.G.; KIM, S.S.; JANG, C. Evaluation of toxicity of plant extract made by neem and matrine against main pests and natural enemies. **Korean Journal of Applied and Entomology**, v. 48, p. 87–94, 2009.
- IBD – **Instituto Biodinâmico** (2021). Declaração de conformidade. Disponível em: <<https://www.dinagro.com.br/wp-content/uploads/arquivos/matrine/certificacao-ibd.pdf>>. Acesso em: 20 Abr. 2024.
- IBRAHIM, S.A. Efficiency of colored sticky traps in capturing cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*, L., and its beneficial insects in cabbage fields at Fayoum governorate. **Journal of Plant Protection and Pathology**, v. 27, p. 1265–1276, 2002.
- ISMAN, M.B. Botanical insecticides in the twenty-first century – fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v. 65, p. 233–249, 2020.
- ISMAN, M.B. Commercialization and regulation of botanical biopesticides: a global perspective. In: KOUL, O. (Ed.). **Development and commercialization of biopesticides**. Academic Press, 2023. p. 25–36.

- JAVED, M.W.; HASAN, M.U.; SAGHEER, M.; SAHI, S.T.; MANKIN, R.W. Foliar and soil treatments of *Brassica napus* that elicit antibiosis in *Brevicoryne brassicae*. **Agronomy**, v. 12, p. 882, 2022.
- JOHNSON, S.; DUREJA, P.; DHINGRA, S. Photostabilizers for Azadirachtin-A (a neem-based pesticide). **Journal of Environmental Science and Health**, v. 38, p. 451-462, 2003.
- KHAN, A.A. Bio-efficacy of botanical pesticides against mealy cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) and bio-safety against its natural enemies in cruciferous vegetable ecosystem of Kashmir. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 9, p. 1332–1336, 2021.
- KHAN, I.A.; AHMAD, M.; AKBAR, R.; HUSSAIN, S.; SAEED, M.; FARID, A.; SHAH, R.A.; FAYAZ, W.; SHAH, B.; UD DIN, M.M. A study on Losses due to *Brevicoryne brassicae* in different *Brassica* genotypes under screen house conditions. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 3, p. 16–19, 2015.
- KHELIFA, M.; MASSÉ, D.; BLANC, S.; DRUCKER, M. Evaluation of the minimal replication time of *Cauliflower mosaic virus* in different hosts. **Virology**, v. 396, p. 238–45, 2010.
- KHOSHFARMAN-BORJI, H.; YALI, M.P.; BOZORG-AMIRKALAEI, M. Induction of resistance against *Brevicoryne brassicae* by *Pseudomonas putida* and salicylic acid in canola. **Bulletin of Entomological Research**, v. 110, p. 597–610, 2020.
- KHOSHFARMAN-BORJI, H.; YALI, M.P.; BOZORG-AMIRKALAEI, M. Induction of resistance against *Brevicoryne brassicae* by *Pseudomonas putida* and salicylic acid in canola. **Bulletin of Entomological Research**, v. 110, p. 597–610, 2020.
- KILANI-MORAKCHI, S.; MORAKCHI-GOUDJIL, H.; SIFI, K. Azadirachtin-based insecticide: overview, risk assessments, and future directions. **Frontiers in Agronomy**, v. 3, p. 676208, 2021.
- KIM, D.I.; PARK, J.D.; KIM, S.G.; KUK, H.; JANG, M.S.; KIM, S.S. Screening of some crude plant extracts for their acaricidal and insecticidal efficacies. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 8, p. 93-100, 2005.
- KIM, J.H.; CHOI, G.H.; LIM, S.J.; PARK, B.J. Stability of matrine and oxymatrine from the biopesticide from *Sophora flavescens* under aquatic and soil environment. **Korean Journal of Environmental Agriculture**, v. 34, p. 1–5, 2015.
- KOUL, O. Insect growth regulating and antifeedant effects of neem extracts and azadirachtin on two aphid species of ornamental plants. **Journal of Biosciences**, v. 24, p. 85–90, 1999.
- KRAISS, H.; CULLEN, E.M. Insect growth regulator effects of azadirachtin and neem oil on survivorship, development and fecundity of *Aphis glycines* (Homoptera: Aphididae) and its predator, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). **Pest Management Science**, v. 64, p. 660-668, 2008.
- KUMAR, J.; RAMLAL, A.; MALLICK, D.; MISHRA, V. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. **Plants**, v. 10, p. 1185, 2021.

- LAXMISHREE, C.; NANDITA, S. Botanical pesticides – a major alternative to chemical pesticides: a review. **International Journal of Life Sciences**, v. 5, p. 722–729, 2017.
- LE TRIONNAIRE, G.; HARDIE, J.; JAUBERT-POSSAMAI, S.; SIMON, J.C.; TAGU, D. Shifting from clonal to sexual reproduction in aphids: physiological and developmental aspects. **Biology of the Cell**, v. 100, p. 441-451, 2008.
- LEE, Y.; KIM, S. H.; MONTELL, C. Avoiding DEET through insect gustatory receptors. **Neuron**, v. 67, p. 555–561, 2010.
- LEITE, G.L.; PICANÇO, M.; ZANUNCIO, J.C.; MOREIRA, M.D.; JHAM, G. N. Hosting capacity of horticultural plants for insect pests in Brazil. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 71, p. 383, 2011.
- LEMUS-SORIANO, B.A.; GARCÍA-BARAJAS, J.; PÉREZ-AGUILAR, D.A.; ROMERO-GARCÍA, A. Control del ácaro de manchas *Tetranychus urticae* Koch (Prostigmata: Tetranychidae) con oximatrina en fresa. **Entomología Agrícola**, v. 4, p. 215–219, 2017.
- LENGAI, G.M.; MUTHOMI, J.W. Biopesticides and their role in sustainable agricultural production. **Journal of Biosciences and Medicines**, v. 6, p. 7–41, 2018.
- LI, J.J.; ZHANG, X.; SHEN, X.C.; XU, C.Y.; TAN, C.J.; LIN, Y. Phytochemistry and biological properties of isoprenoid flavonoids from *Sophora flavescens* Ait. **Fitoterapia**, v. 143, p. 104556, 2020.
- LIU, T.X.; SPARKS-JR. A.N. **Aphids on cruciferous crops identification and management**. 2001. Disponível em: <<https://counties.agrilife.org/liberty/files/2020/05/Aphids-on-Cruciferous-Crops-Publ.-B-6109.pdf>>. Acesso em: 30 Abr. 2023.
- LIU, Z. L.; GOH, S. H.; HO, S. H. Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 290-296, 2007.
- LIU, Z.L.; GOH, S.H.; HO, S.H. Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 290-296, 2007.
- LOWERY, D.T.; ISMAN, M.B.; BRARD, N.L. Laboratory and field evaluation of neem for the control of aphids (Homoptera: Aphididae). **Horticultural Entomology**, v. 86, p. 864–870, 1993.
- LOZOWICKA, B.; ABZEITOVA, E.; SAGITOV, A.; KACZYNSKI, P.; TOLEUBAYEV, K.; LI, A. Studies of pesticide residues in tomatoes and cucumbers from Kazakhstan and the associated health risks. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, p. 609, 2015.
- LU, C.; CHANG, C.-H.; PALMER, C.; ZHAO, M.; ZHANG, Q. Neonicotinoid residues in fruits and vegetables: an integrated dietary exposure assessment approach. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 3175–3184, 2018.
- LV, M.; MA, Q.; ZHANG, S.; XU, H. Agrochemical properties evaluation of some imines alkaloids of matrine/oxymatrine. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 48, p. 128246, 2021.

- MA, R.; CHEN, J.; CHENG, D.; SUN, J. Activation of defense mechanism in wheat by Polyphenol oxidase from aphid saliva. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 2410–2418, 2010.
- MA, T.; YAN, H.; SHI, X.; LIU, B.; MA, Z.; ZHANG, X. Comprehensive evaluation of effective constituents in total alkaloids from *Sophora alopecuroides* L. and their joint action against aphids by laboratory toxicity and field efficacy. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 149–157, 2018.
- MAHMOODI, L.; MEHRKHOUS, F.; GUZ, N.; FOROUZAN, M.; ATLIHAN, R. Sublethal effects of three insecticides on fitness parameters and population projection of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). **Journal of Economic Entomology**, v. 113, p. 2713–2722, 2020.
- MAO, L.; HENDERSON, G. Antifeedant activity and acute and residual toxicity of alkaloids from *Sophora flavescens* (Leguminosae) against *Formosan subterranean* termites (Isoptera: Rhinotermitidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 100, p. 866–870, 2007.
- MARČIĆ, D.; MEĐO, I. Acaricidal activity and sublethal effects of an oxymatrine-based biopesticide on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 64, p. 375–391, 2014.
- MAROOFOUR, N.; MOUSAVI, M.; HEJAZI, M.J.; IRANIPOUR, S.; HAMISHEHKAR, H.; DESNEUX, N.; BIONDI, A.; HADDI, K. Comparative selectivity of nano and commercial formulations of pirimicarb on a target pest, *Brevicoryne brassicae*, and its predator *Chrysoperla carnea*. **Ecotoxicology**, v. 30, p. 361–372, 2021.
- MEĐO, I.S.; MARČIĆ, D.S. The effects of Kingbo biopesticide on *Tetranychus urticae* Koch female adults. **Pesticides and Phytomedicine**, v. 28, p. 195–202, 2013.
- MELO, B.D.S.C.D.; BLEICHER, E.; BERTINI, C.H.C.D.M.; SILVA, J.F.D. Divergência genética entre cultivares comerciais de repolho quanto à preferência do pulgão-da-couve. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 459–465, 2013.
- MOHAMED, H.A.; GAD, H.A.; ORABY, H.K. Field larvicidal and pupicidal efficacy of the natural insecticide, oxymatrine against *Culex species* in Beni Suef Governorate, **Egypt Journal of Natural Pesticide Research**, v. 4, p. 100030, 2023.
- MORALES, H. Pest management in traditional tropical agroecosystems: lessons for pest prevention research and extension. **Integrated Pest Management Reviews**, v. 7, p. 145–163, 2002.
- MORDUE, A.J.; MORGAN, E.D.; NISBET, A.J. Azadirachtin, a natural product in insect control. In: GILBERT, L.I.; GILL, S.S. (Eds.). **Insect control: biological and synthetic agents**. Elsevier: Academic Press, 2010. p.185–203.
- MORDUE, A.J.; NISBET, A.J. Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against insects. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, p. 615–632, 2000.
- MORENO, S.C.; CARVALHO, G.A.; PICANÇO, M.C.; MORAIS, E.G.F.; PEREIRA, R.M. Bioactivity of compounds from *Acmella oleracea* against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and selectivity to two non-target species. **Pest Management Science**, v. 68, p. 386–393, 2012.

MÜLLER, T.; PROSCHE, A.; MÜLLER, C. Sublethal insecticide exposure affects reproduction, chemical phenotype as well as offspring development and antennae symmetry of a leaf beetle. **Environmental Pollution**, v. 230, p. 709–717, 2017.

NASCIMENTO, W.M. **Crise do coronavírus afeta exportações e importações brasileiras de hortaliças**, 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-noticias/-/noticia/51886734/artigo---crise-do-coronavirus-afeta-exportacoes-e-importacoes-brasileiras-de-hortalicas>>. Acesso em: 26 Abr. 2023.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, v. 135, p. 370–384, 1972.

NGEGBA, P.M.; CUI, G.; KHALID, M.Z.; ZHONG, G. Use of botanical pesticides in agriculture as an alternative to synthetic pesticides. **Agriculture**, v. 12, p. 600, 2022.

OLIVEIRA, A.M. **Identificação e caracterização de dois isolados de cole latent vírus que infectam brássicas**. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2019.

OSEKRE, E.A.; ABRAHAMANI, J.; ABUDU, D.T. Evaluation of the efficacy of Levo 2.4 SL against the cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) on stored cowpea grains. **Journal of the Ghana Science Association**, v. 15, p. 1-8, 2013.

PACHECO, J.C.; POLTRONIERI, A.S.; PORSANI, M.V.; ZAWADNEAK, M.A.C.; PIMENTEL, I.C. Entomopathogenic potential of fungi isolated from intertidal environments against the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 27, p. 496–509, 2017.

PAL, M.; SINGH, R. Biology and ecology of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linn.) (Homoptera: Aphididae): a review. **Journal of Aphidology**, v. 27, p. 59–78, 2013.

PALUKAITIS, P.; KIM, S. Resistance to turnip mosaic virus in the family Brassicaceae. **The Plant Pathology Journal**, v. 37, p. 1–23, 2021.

PAVELA, R.; BARNET, M.; KOCOUREK, F. Effect of azadirachtin applied systemically through roots of plants on the mortality, development and fecundity of the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*). **Phytoparasitica**, v. 32, p. 286–294, 2004.

PEREIRA, A.J.; CARDOSO, I.M.; ARAÚJO, H.D.; SANTANA, F.C.; CARNEIRO, A.P.; COELHO, S.P.; PEREIRA, F.J. Control of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) with extracts of *Agave americana* var. Marginata Trel. in *Brassica oleracea* crops. **Annals of Applied Biology**, v. 174, p. 14–19, 2019.

PONTI, L.; ALTIERI, M.A.; GUTIERREZ, A.P. Effects of crop diversification levels and fertilization regimes on abundance of *Brevicoryne brassicae* (L.) and its parasitization by *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) in broccoli. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 9, p. 209–214, 2007.

PRINCE, G.; CHANDLER, D. Susceptibility of *Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. **Insects**, v. 11, p. 55, 2020.

QIAO, J.; ZOU, X.; LAI, D.; YAN, Y.; WANG, Q.; LI, W.; DENG, S.; XU, H.; GU, H. Azadirachtin blocks the calcium channel and modulates the cholinergic miniature synaptic current in the central nervous system of *Drosophila*. **Pest Management Science**, v. 70, p. 1041–1047, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, **Vienna**, Austria, 2023.

RABEA, E.I.; NASR, H.M.; BADAWY, M.E. Toxic effect and biochemical study of chlorfluazuron, oxymatrine, and spinosad on honey bees (*Apis mellifera*). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 58, p. 722-732, 2010.

RADJA, K.H.; MIKANI, A.; MOSALLANEJAD, H. Biochemical resistance mechanisms to dimethoate in cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hom.: Aphididae). **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 22, p. 187–196, 2020.

RAHEEM, S.S.; AL-DOSSARY, M.A.; AL-SAAD, H.T. Laboratory study for biodegradation of oxymatrine insecticide by single and mixed cultures of fungi isolated from agriculture soils in Basrah Governorate. **Baghdad Science Journal**, v. 16, p. 10–17, 2019.

RAMANUJAM, B.; JAPUR, K.; POORNESHA, B. Field evaluation of entomopathogenic fungi against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) and their effect on coccinellid predator, *Coccinella septempunctata* (Linnaeus). **Journal of Biological Control**, v. 31, p. 168–171, 2017.

RAZAQ, M.; MEHMOOD, A.; ASLAM, M.; ISMAIL, M.; AFZAL, M.; ALI SHAD, S. Losses in yield and yield components caused by aphids to late sown *Brassica napus* L., *Brassica juncea* L. and *Brassica carinata* A. Braun at Multan, Punjab, Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, v. 43, p. 319–324, 2011.

RAZMJOU, J.; JAFARY, M.; BORZOU, E. Host plant preference and life table of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). **Journal of Crop Protection**, v. 8, p. 201-214, 2019.

RESENDE, A.L.S.; LIXA, A.T.; SANTOS, C.M.A.; SOUZA, S.A.S.; GUERRA, J.G.M.; AGUIAR-MENEZES, E.L. Comunidade de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) em consórcio de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) com coentro (*Coriandrum sativum*) sob manejo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, p. 81-89, 2011.

RESENDE, A.L.S.; SANTOS, C.M.A.; CAMPOS, J.M.; VIANA, A.J.S.; OLIVEIRA, R.J.; AGUIAR-MENEZES, E.L.; GUERRA, J.G.M. Efeito do consórcio couve e coentro, sob manejo orgânico, na população de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) predadoras de pulgões da couve. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 925-928, 2007.

RODRIGUES, P. A importância nutricional das hortaliças. **Hortaliças**, v. 2, p. 6-9, 2012.

SAMPAIO, M.V.; KORNDÖRFER, A.P.; PUJADE-VILLAR, J.; HUBAIDE, J.E.A.; FERREIRA, S.E.; ARANTES, S.O.; BORTOLETTO, D.M.; GUIMARÃES, C.M.; SÁNCHEZ-ESPIGARES, J.A.; CABALLERO-LÓPEZ, B. Brassica aphid (Hemiptera: Aphididae) populations are conditioned by climatic variables and parasitism level: a study case of Triângulo Mineiro, Brazil. **Bulletin of Entomological Research**, v. 107, p. 410-418, 2017.

- SAMY, M.S.; ALOTAIBI, S.S.; GABER, N.; ELARRNAOUTY, S.A. Evaluation of five medicinal plant extracts on *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) and its predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions. **Insects**, v. 11, p. 398, 2020.
- SÁNCHEZ-RAMOS, I.; PASCUAL, S.; MARCOTEGUI, A.; FERNÁNDEZ, C.E.; GONZÁLEZNÚÑEZ, M. Laboratory evaluation of alternative control methods against the false tiger, *Monosteira unicostata* (Hemiptera: Tingidae). **Pest Management Science**, v. 70, p. 454-461, 2014.
- SANTOS, J.A.P. **Análise da viabilidade econômica da produção de repolho no município Caetés-PE**. 42p. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns-PE, Brasil, 2019.
- SANTOS, M.A.T.; AREAS, M.A.; REYES, F.G.R. Piretróides – uma visão geral. **Alimentos e Nutrição**, v. 18, p. 339–349, 2007.
- SANTOS, T.M.D.; COSTA, N.P.; TORRES, A.L.; JUNIOR, A.L.B. Effect of neem extract on the cotton aphid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1071–1076, 2004.
- SARWAR, M. The killer chemicals as controller of agriculture insect pests: the conventional insecticides. **International Journal of Chemical and Biomolecular Science**, v. 1, p. 141–147, 2015.
- SAS INSTITUTE Statistical analysis system: getting started with the SAS learning. Version 9.2. **SAS Institute**, Cary, 2011.
- SAVI, P.J.; MARTINS, M.B.; MORAES, G.J.; HOUNTONDJI, F.C.C.; ANDRADE, D.J. Bioactivity of oxymatrine and azadirachtin against *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae) and their compatibility with the predator *Phytoseiulus longipes* (Acari: Phytoseiidae) on tomato. **Systematic and Applied Acarology**, v. 26, p. 1264–1279, 2021.
- SAYED, S.; SOLIMAN, M.M.; AL-OTAIBI, S.; HASSAN, M.M.; ELARRNAOUTY, S.A.; ABOZEID, S.M.; EL-SHEHAWI, A.M. Toxicity, deterrent and repellent activities of four essential oils on *Aphis punicae* (Hemiptera: Aphididae). **Plants**, v. 11, p. 463, 2022.
- SHAHMOHAMMADI, S.; LASHKARI, M.; ZOHDI, H.; MEMARIZADEH, N.; MEHRPARVAR, M. Sublethal effects of some biorational pesticides on population growth parameters of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*. **Journal of Crop Protection**, v. 12, p. 403–413, 2023.
- SHANNAG, H.K.; CAPINERA, J.L.; FREIHAT, N.M. Effects of neem-based insecticides on consumption and utilization of food in larvae of *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Insect Science**, v. 15, p. 152, 2015.
- SHANNAG, H.S.; CAPINERA, J.L.; FREIHAT, N.M. Efficacy of different neem-based biopesticides against green peach aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **International Journal of Agricultural Policy and Research**, v. 2, p. 61-68, 2014.
- SHARMA, S.S.; PAUL, B.; SAHA, P.; KUMAR, S.S.; MANDAL, K.; HATH, T.K.; MONDAL, H.A. Evaluation the potentiality of some parameters to probe the elevated levels of resistance in *Brassica* sp. at the early period of aphid infestation in open field condition. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 5, p. 1356–1364, 2017.

- SIEGWART, M.; GRAILLOT, B.; BLACHERE LOPEZ, C.; BESSE, S.; BARDIN, M.; NICOT, P.C.; LOPEZ-FERBER, M. Resistance to bio-insecticides or how to enhance their sustainability: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 138200, 2011.
- SIMS, S.R.; GREENPLATE, J.T.; STONE, B.; CAPRIO, M.A.; GOULD, F. Monitoring strategies for early detection of Lepidoptera resistance to *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins. In: BROWN, T.M. (Ed.) **Molecular genetics and evolution of pesticide resistance**. American Chemical Society: Washington, 1996. p. 229–242.
- SOH, B.S.B.; KEKEUNOU, S.; NANGA NANGA, S.; DONGMO, M.; RACHID, H. Effect of temperature on the biological parameters of the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae*. **Ecology and Evolution**, v. 8, p. 11819–11832, 2018.
- STARK, J.D.; BANKS, J.E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 48, p. 505–519, 2003.
- STARK, J.D.; RANGUS, T.M. Lethal and sublethal effects of the Neem insecticide formulation, ‘Margosan-O’, on the pea aphid. **Pesticide Science**, v. 41, p. 155–160, 1994.
- STECCA, C.S.; SILVA, D.M.; FREITAS-BUENO, A.; PASINI, A.; DENEZ, M.D.; ANDRADE, K. Selectivity of insecticides used in soybean crop to the predator *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, p. 3469–3480, 2017.
- SUN, H.; BAI, J.; SUN, Y.; ZHEN, D.; FU, D.; WANG, Y.; WEI, C. Oxymatrine attenuated isoproterenol-induced heart failure via the TLR4/NF- $\kappa$ B and MAPK pathways in vivo and in vitro. **European Journal of Pharmacology**, v. 941, p. 175500, 2023.
- TANG, Y.Q.; WEATHERSBEE, A.A.; MAYER, R.T. Effect of neem seed extract on the brown citrus aphid (Homoptera: Aphididae) and its parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Aphidiidae). **Environmental Entomology**, v. 31, p. 172–176, 2002.
- THOMPSON, F.C. A key to the genera of the flower flies (Diptera: Syrphidae) of the neotropical region including descriptions of new genera and species and a glossary of taxonomic terms. **Contributions on Entomology, International**, v. 3, p. 321–378, 1999.
- TOMÉ, H.V.V.; MARTINS, J.C.; CORRÊA, S.; GALDINO, T.V.S.; PICANÇO, M.C.; GUEDES, R.N.C. Azadirachtin avoidance by larvae and adult females of the tomato leafminer *Tuta absoluta*. **Crop Protection**, v. 46, p. 63–69, 2013.
- VALE, F.X.R.; FERNANDES-FILHO, E.; LIBERATO, J.R. **Quant – Quantificação de doenças: versão 1.0.1**. UFV: Viçosa, 2001.
- VAN EMDEN, H.F.; HARRINGTON, R. **Aphids as crop pests**. Wallingford: CAB International, 2007. 717p.
- VERDIER, M.; CHESNAIS, Q.; PIROLLES, E.; BLANC, S.; DRUCKER, M. The cauliflower mosaic virus transmission helper protein P2 modifies directly the probing behavior of the aphid vector *Myzus persicae* to facilitate transmission. **PLoS Pathogens**, v. 19, p. e1011161, 2023.
- VIEIRA-NETO, J.V.; SOUZA-GONÇALVES, P.A.; MENEZES-JÚNIOR, F.O.G.; ARAÚJO, E.R.; KURTZ, C. Desempenho de cultivares de couve-flor em diferentes manejos

fitossanitários em cultivos de verão/outono, sob plantio direto, em Santa Catarina. **Vértices**, v. 22, p. 82-91, 2020.

YADAV, N.; AGRAWAL, N. Seasonal abundance of *Brevicoryne brassicae* and their predators under different field of cabbage in relation to weather parameters. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 6, p. 1098–1101, 2018.

YADAV, R. Biopesticides: current status and future prospects. **Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences**, v. 12, p. 211, 2022.

YADAV, R.K.; SINGH, N.; SINGH, A.; YADAV, V.; BANO, C.; KHARE, S. Expanding the horizons of nanotechnology in agriculture: recent advances, challenges and future perspectives. **Vegetos**, v. 33, p. 203–221, 2020.

YAN, Y.; GU, H.; XU, H.; ZHANG, Z. Induction of aversive taste memory by azadirachtin and its effects on dopaminergic neurons of *Drosophila*. **Journal of South China Agricultural University**, v. 38, p. 12–18, 2017.

YANG, X.B.; ZHANG, Y.M.; HUA, L.; PENG, L.N.; MUNYANEZA, J.E.; TRUMBLE, J.T.; LIU, T.X. Repellency of selected biorational insecticides to potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae). **Crop Protection**, v. 29, p. 1320-1324, 2010.

YOUSAFI, Q.; SEEMAN AND SALEEM, S. Benefit-cost ratio evaluation for management of *Brevicoryne brassicae* L. in canola (*Brassica napus* L.) crop production. **Phytoparasitica**, v. 48, p. 673–683, 2020.

ZEHNDER, G.; GURR, G.M.; KÜHNE, S.; WADE, M. R.; WRATTEN, S.D.; WYSS, E. Arthropod management in organic crops. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 57-80, 2007.