



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
Agrária de Viseu

**Avaliação do Efeito Bioativo de Extratos Botânicos de *Ficus carica* L.
e *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. sobre *Phthorimaea absoluta* Meyrick
e *Macrolophus pygmaeus* (Rambur)**

Sérgio Miguel Alves dos Santos

Dissertação - Versão Final

Mestrado em Engenharia Agronómica

Viseu, 2025



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
Agrária de Viseu

**Avaliação do Efeito Bioativo de Extratos Botânicos de *Ficus carica* L.
e *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. sobre *Phthorimaea absoluta* Meyrick
e *Macrolophus pygmaeus* (Rambur)**

Sérgio Miguel Alves dos Santos

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professora Doutora Cristina Amaro da Costa
Professora Doutora Dulcineia Ferreira Wessel

Dissertação - Versão Final

Mestrado em Engenharia Agronómica

Viseu, 2025

As Orientadoras

Prof. Doutora Cristina Amaro da Costa

Prof. Doutora Dulcineia Ferreira Wessel

“As doutrinas expressas são da exclusiva responsabilidade do autor”

AGRADECIMENTOS

A realização e conclusão desta dissertação exigiu trabalho e dedicação, por isso, é com muita satisfação que reconhecidamente agradeço a todos aqueles que para isso contribuíram.

Às Professoras Doutoras Cristina Amaro da Costa e Dulcineia Wessel, orientadoras deste trabalho, pela confiança em mim depositada, pelo empenho, competência científica e espírito crítico que as caracterizam. Pela disponibilidade sempre demonstrada e pela viabilização de recursos imprescindíveis à concretização deste trabalho.

À Cláudia Neves e à Barbara Henriques pela sua pronta disponibilidade e apoio prestado no desenvolvimento do trabalho e discussão de resultados.

À Professora Doutora Elisabete Figueiredo (Instituto Superior de Agronomia) pelo seu imprescindível apoio e generosidade, nomeadamente, na cedência de material indispensável à realização deste trabalho.

À PepeAromas, Lda. e à Rosagro - Sociedade Agrícola, Lda., pela gentil cedência dos materiais vegetais indispensáveis à realização deste trabalho.

Ao Projeto INOVFARMER.MED, integrado no Programa PRIMA, apoiado pela União Europeia, Grant Agreement No.1733, FCT/PRIMA/0005/2021, pela possibilidade de nele poder colaborar e de poder realizar o meu trabalho no seu âmbito.

À Escola Superior Agrária de Viseu (ESAV) e ao corpo docente da 1ª edição do Mestrado em Engenharia Agrónómica, pelos relevantes conhecimentos e experiência transmitidos.

Por fim, à minha família, pelo apoio, ajuda, compreensão nos momentos de maior ausência e, sobretudo, pela paciência que demonstraram.

Grato a todos!

RESUMO

A procura por estratégias alternativas e métodos adequados à proteção das culturas agrícolas é essencial ao reforço dos objetivos de uma agricultura que se pretende gradativamente mais sustentável. Nas últimas décadas tem sido produzido um número considerável de estudos que corroboram o potencial inseticida de constituintes químicos derivados do metabolismo secundário das plantas, cuja utilização é sugerida como ferramenta alternativa aos pesticidas de síntese empregues frequentemente na gestão de pragas agrícolas.

O trabalho que se apresenta foi efetuado no âmbito do Projeto “InovFarmer.MED - Melhorar a cadeia de abastecimento do Mediterrâneo através de modelos de negócios agroalimentares inovadores para fortalecer a competitividade dos pequenos agricultores, com o figo-da-índia e figo como estudo de caso” e tem por finalidade a avaliação do potencial bioativo de extratos botânicos para o possível desenvolvimento de uma alternativa ecológica para a proteção das culturas.

Neste contexto, o presente estudo investigou o teor em compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante de extratos obtidos a partir de folhas e de cladódios, das espécies *Ficus carica* L. e *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., respetivamente. Foram realizadas extrações etanólicas a 70% e 96% para folhas, a 70% para cladódios e, adicionalmente, uma extração salina de cladódios com NaCl 0,15M. Os resultados demonstraram que o extrato etanólico a 70% (EF01) foi o mais rico em compostos fenólicos nas folhas de figueira ($7,2 \pm 0,6$ mg EAG/g), enquanto nos cladódios, o extrato salino (EC04) apresentou os maiores valores ($51,8 \pm 2,4$ mg EAG/g). A relação entre o teor fenólico e a atividade antioxidante não foi linear, com o extrato etanólico a 90% (EF02), a apresentar maior atividade antioxidante (ABTS $50,0 \pm 6,2$ g TE/g e DPPH $37,0 \pm 8,0$ g TE/g) em relação ao extrato EF01.

Os extratos foram posteriormente testados quanto ao seu potencial inseticida em lagartas de terceiro instar de *Phthorimaea absoluta* Meyrick por contacto e ingestão, pelo método de imersão de folhas. Os efeitos secundários dos mesmos extratos foram testados no mirídeo zoofitófago *Macrolophus pygmaeus* (Rambur), que pode desempenhar um papel importante no controlo biológico daquela praga. Para determinação de toxicidade sobre estes insetos, foi utilizada a metodologia de exposição à superfície contaminada. Os resultados obtidos sugerem que os extratos testados não exibiram o nível de toxicidade esperado em

lagartas de terceiro instar de *P. absoluta*, ainda que o tratamento efetuado com o extrato etanólico de folhas a 70% (v/v) tenha diferido significativamente do grupo de controlo ($p < 0,05$). Por sua vez, na avaliação ecotoxicológica dos extratos em *M. pygmaeus*, verificou-se que nenhuma das formulações botânicas diferiu significativamente do controlo negativo ($p > 0,05$).

PALAVRAS-CHAVE: extratos botânicos, *Ficus carica*, *Opuntia ficus-indica*, *Phthorimaea absoluta*, *Macrolophus pygmaeus*, potencial inseticida.

ABSTRACT

The search for alternative strategies and suitable methods for crop protection is essential to reinforce the objectives of sustainable agriculture. In recent decades, a considerable number of studies have been carried out confirming the insecticidal potential of chemical constituents derived from the secondary metabolism of plants, whose use is suggested as an alternative tool to pesticides of synthetic origin, frequently employed in agricultural pest management.

The following study is part of the project “InovFarmer.MED - Improving the Mediterranean supply chain through innovative agri-food business models to strengthen small-scale farmers competitiveness” and aims to evaluate the bioactive potential of botanical extracts for the possible development of an ecological alternative for crop protection.

In this context, the present study investigated the total phenolic compound content and antioxidant activity of extracts obtained from the leaves and cladodes of *Ficus carica* L. and *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, respectively. Ethanolic extractions at 70% and 96% were performed for the leaves, 70% for the cladodes, and additionally, a saline extraction of cladodes with 0,15M NaCl. The results showed that the 70% ethanolic extract (EF01) was the richest in phenolic compounds in fig leaves ($7,2 \pm 0,6$ mg GAE/g), while in cladodes, the saline extract (EC04) exhibited the highest values ($51,8 \pm 2,4$ mg GAE/g). The variation between phenolic content and antioxidant activity was not linear, with the 96% ethanolic extract (EF02) showing higher antioxidant activity (ABTS $50,0 \pm 6,2$ g TE/g and DPPH $37,0 \pm 8,0$ g TE/g) compared to the EF01 extract.

The extracts were subsequently tested for their insecticidal potential on third instar *Phthorimaea absoluta* Meyrick caterpillars through contact and ingestion, using the leaf dipping method. The extracts were also tested to evaluate potential side effects on the zoophytophagous mirid *Macrolophus pygmaeus* (Rambur), which may play an important role in the biological control of *P. absoluta*. To determine toxicity to these insects, a surface contamination exposure method was used. The results suggest that the tested extracts did not exhibit the expected level of toxicity in third instar *P. absoluta* caterpillars, although treatment with the 70% (v/v) ethanol leaf extract significantly differed from the control group ($p < 0.05$). In turn, in the ecotoxicological evaluation of the extracts on *M. pygmaeus*, it was found that none of the botanical formulations significantly differed from the negative control ($p > 0.05$).

KEYWORDS: botanical extracts, *Ficus carica*, *Opuntia ficus-indica*, *Phthorimaea absoluta*, *Macrolophus pygmaeus*, insecticidal potential.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	VI
ÍNDICE GERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE QUADROS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. COMPOSTOS BIOATIVOS DO METABOLISMO VEGETAL COM EFEITO INSETICIDA	4
2.1.1. Bioinseticidas: conceito e características	4
2.1.2. Mecanismos de ação que induzem toxicidade nos insetos	6
2.1.3. Inseticidas comerciais de origem botânica	13
2.2. BREVE CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES BOTÂNICAS OBJETO DE ESTUDO	16
2.2.1. <i>Ficus carica</i> L.	16
2.2.2. Principais compostos bioativos identificados em <i>Ficus carica</i> L.	17
2.2.2.2. Carotenoides	20
2.2.2.3. Terpenos	20
2.2.2.4. Fitoesteróis	20
2.2.2.5. Ácidos gordos	21
2.2.3. <i>Opuntia Ficus-indica</i> (L.) Mill.	23
2.2.4. Principais compostos bioativos identificados em <i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	24
2.2.4.1. Polifenóis	24
2.2.4.2. Betalaínas	25
2.2.4.3. Carotenoides	26
2.2.4.4. Fitosteróis	26
2.2.4.5. Saponinas	27
2.2.4.6. Proteínas / aminoácidos	27
2.3. <i>PTHORIMAEA ABSOLUTA</i> MEYRICK - TRAÇA-DO-TOMATEIRO	30
2.3.1. Origens e distribuição geográfica atual	30
2.3.2. Plantas hospedeiras de <i>T. absoluta</i>	31
2.3.3. Biologia	31
2.3.3.1. Ovos	32
2.3.3.2. Lagartas	33

2.3.3.3. Pupa	34
2.3.3.4. Adulto.....	35
2.3.5. Danos e perdas de rendimento em consequência de ataques de <i>T. absoluta</i>	35
2.4. <i>MACROLOPHUS PYGMAEUS</i> (RAMBUR).....	36
2.4.1. Biologia	37
2.4.2. Aspectos morfológicos.....	38
2.4.3. Regime alimentar.....	39
2.4.4. Ocorrência natural de <i>M. pygmaeus</i> em campos abertos e colonização de estufas.....	40
3. OBJETIVO DO TRABALHO.....	41
4. MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1. RECOLHA DO MATERIAL VEGETAL	42
4.2. PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS	43
4.3. ANÁLISE FITOQUÍMICA.....	45
4.3.1. Quantificação dos compostos fenólicos totais.....	45
4.3.2. Capacidade antioxidante.....	45
4.4. CRIAÇÃO DOS INSETOS.....	46
4.4.1. <i>P. absoluta</i> L.	46
4.4.2. <i>M. pygmaeus</i>	47
4.5. BIOENSAIOS	48
4.5.1. Avaliação da toxicidade dos extratos sobre <i>P. absoluta</i> em folíolos de tomateiro	48
4.6. AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO EFEITO DOS EXTRATOS EM ORGANISMOS NÃO ALVO	50
4.6.1. <i>M. pygmaeus</i> - Exposição à superfície contaminada	50
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSAO	53
5.1. RENDIMENTO DO EXTRATO E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS.....	53
5.2. CAPACIDADE ANTIOXIDANTE	54
5.3. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS EXTRATOS VEGETAIS DE <i>F. CARICA</i> E <i>O. FICUS-INDICA</i> EM <i>P. ABSOLUTA</i>	54
5.4. AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO EFEITO DOS EXTRATOS EM <i>M. PYGMAEUS</i>	64
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXO I	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ação neurotóxica de agentes botânicos após inibição de recetores específicos do inseto. Abreviaturas: GABA: ácido gama-aminobutírico; AChE: acetilcolinesterase.	7
Figura 2. Estruturas químicas da octopamina, acetilcolina e ácido γ -aminobutírico.....	9
Figura 3. Figueira-comum (<i>Ficus carica</i> L.).....	16
Figura 4. Estruturas químicas do psoraleno e bergapteno.	19
Figura 5. Estruturas químicas do psoraleno e bergapteno.	21
Figura 6. Figueira-da-índia (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	23
Figura 7. Estrutura química da isorametina.	25
Figura 8. Estrutura química das betacianinas e das betaxantinas.....	26
Figura 9. Estrutura básica das saponinas.	27
Figura 10. Estruturas químicas da glutamina, valina, lisina, arginina e leucina	28
Figura 11. Mapa da atual distribuição geográfica de <i>P. absoluta</i>	31
Figura 12. Ciclo de vida de <i>P. absoluta</i>	32
Figura 13. Ovos de <i>P. absoluta</i>	33
Figura 14. Lagarta de terceiro instar de <i>P. absoluta</i>	34
Figura 15. Pupa de <i>P. absoluta</i>	34
Figura 16. Adulto de <i>P. absoluta</i> (sexo indiferenciado).....	35
Figura 17. Estragos no tomateiro resultantes de forte infestação por <i>P. absoluta</i>	36
Figura 18. Ciclo de vida de <i>M. pygmaeus</i>	38
Figura 19. Mirídeo adulto (<i>M. pygmaeus</i>) de sexo indiferenciado.	39
Figura 20. Exploração de figos, localizada em A-do-Freire, Torres Novas (A); exploração de figos-da-índia, localizada em Vale do Pereiro, Évora (B).	42
Figura 21. Folhas de figueira (A); cladódios de figueira-da-índia (B).	43
Figura 22. Folhas de figueira liofilizadas (A); cladódios de figueira-da-índia liofilizados (B).....	43
Figura 23. Amostras dos extratos aplicados sobre os insetos objeto estudo.	45
Figura 24. Mudas de tomate cereja (<i>Solanum lycopersicum</i> cv. cerasiforme) em vasos individuais (A); os mesmos tomateiros algumas semanas depois (B); os tomateiros deslocados e colocados no interior de uma gaiola de criação (C).	46
Figura 25. Novas mudas de tomateiro em vasos de 1,5 L (A); plantas fortemente afetadas por <i>T. absoluta</i> , prontas para serem substituídas por novas mudas de tomateiros (B).....	47
Figura 26. Plantas da espécie <i>Nicotiana tabacum</i> colocadas no interior das gaiolas de criação (A); mistura de ovos de <i>Ephestia kuehniella</i> Zeller e cistos de <i>Artemia</i> depositados nas folhas das plantas (B).	48

Figura 27. Galerias formadas por lagartas da traça-do-tomateiro no parênquima foliar das plantas (A); lagarta forçada a mover-se da galeria para o seu exterior com auxílio de um pincel (B).	49
Figura 28. Imersão de folíolo em extrato (A); infestação de folíolo com lagartas de terceiro instar de <i>P. absoluta</i> (B); placas de Petri seladas e mantidas em condições de temperatura e humidade ambiente (C); lagartas consideradas mortas, sem resposta ao estímulo (D).	50
Figura 29. Mirídeos adultos (<i>M. pygmaeus</i>) capturados e colocados em placas de Petri.	51
Figura 30. Mortalidade (%) de lagartas de <i>P. absoluta</i> após 24, 48 e 72 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada).....	60
Figura 31. Lagartas de <i>P. absoluta</i> mortas sobre um folíolo de tomateiro, após 72 horas de exposição ao extrato EF01.	61
Figura 32. Exemplos das alterações ocorridas nos tecidos foliares, 24, 48 e 72 horas após imersão no extrato EF01.	64

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Estudos recentes que avaliam o efeito toxicológico de extratos vegetais ou óleos essenciais em insetos alvo.....	10
Quadro 2. Exemplos de produtos comercialmente disponíveis com origem botânica e atividade inseticida.	15
Quadro 3. Classes de compostos e compostos orgânicos identificados em diferentes partes da espécie <i>Ficus carica</i>	22
Quadro 4. Classes de compostos e compostos orgânicos identificados em diferentes partes da espécie <i>Opuntia ficus-indica</i>	29
Quadro 5. Tipo de extratos preparados com folhas de <i>Ficus carica</i> e cladódios de <i>O. ficus-indica</i>	44
Quadro 6. Compostos fenólicos totais (mg GAE /g de massa seca) para os 4 diferentes extratos (EF01, EF02, EC03, EC04).....	53
Quadro 7. Capacidade antioxidante dos quatro extratos analisados por ABTS e DPPH.	54
Quadro 8. Número de lagartas vivas (v) e mortas (m) de <i>Phthorimaea absoluta</i> , por repetição e por tratamento, após 24, 48 e 72 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada.	56
Quadro 9. Mortalidade (%) corrigida das lagartas de <i>Phthorimaea absoluta</i> , por repetição e por tratamento, ao fim de 24, 48 e 72 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada.....	59
Quadro 10. Número de adultos <i>Macrolophus pygmaeus</i> vivos e mortos, por repetição e por tratamento (EF01, EF02, EC03, EC04 e controlo), após 24, 48 e 72 horas de exposição.	65
Quadro 11. Taxa de sobrevivência (%) dos mirídeos adultos <i>Macrolophus pygmaeus</i> , por repetição e por tratamento (EF01, EF02, EC03, EC04 e controlo), após 24, 48 e 72 horas de exposição.....	67
Quadro 12. Percentagem média de adultos <i>Macrolophus Pygmaeus</i> vivos, após 24 e 48 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada.....	68

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem-se verificado, um pouco por todo o mundo, a crescente preocupação societal com a qualidade e segurança dos alimentos, a saúde humana e a sustentabilidade do ambiente (Velasques *et al.*, 2017), especialmente porque na agricultura convencional a proteção das culturas relativamente à ação de pragas e doenças se faz, recorrentemente, com a aplicação de pesticidas de síntese (Ngegba *et al.*, 2022). Ora, o recurso a estes produtos causa elevados impactos ambientais, desde a poluição dos solos, à contaminação de águas subterrâneas e a sérios desequilíbrios nos ecossistemas (Isman, 2017). Na saúde humana, os pesticidas provocam uma série de efeitos adversos, desde intoxicações agudas a doenças crónicas que incluem vários tipos de cancro, doença de Alzheimer, doença de Parkinson, neurotoxicidade, infertilidade, diabetes, doenças do foro respiratório (Ahmad *et al.*, 2024) e desregulação endócrina (Miranda *et al.*, 2022). Além disso, acrescentam-se os problemas de resistência adquirida por parte dos inimigos das culturas¹, fruto de uma utilização cada vez maior e indiscriminada de pesticidas (Visakh *et al.*, 2023). Também diversos serviços dos ecossistemas, como a polinização e a regulação natural de pragas por artrópodes auxiliares (insetos, ácaros e aranhas que, habitualmente, se agrupam em predadores, parasitóides e parasitas) são negativamente afetadas pelo uso de pesticidas sintéticos (Rundlöf *et al.*, 2015; Potts *et al.*, 2016).

As implicações práticas da regulamentação rigorosa em matéria de resíduos de pesticidas de síntese nos produtos agrícolas da União Europeia (UE) exigem a exploração de alternativas de proteção novas e sustentáveis na gestão de pragas agrícolas, em alinhamento com a estratégia “Do prado ao prato”, que visa reduzir a utilização de pesticidas em 50% até 2030 (Fragkouli *et al.*, 2023). Com efeito, surge a necessidade de se trilharem diferentes caminhos na proteção das culturas, para o que a investigação científica tem desempenhado um papel fundamental na procura por novas soluções eficazes na gestão de pragas e onde se incluem, em particular, as inúmeras substâncias resultantes do metabolismo secundário das plantas.

Neste sentido, no âmbito do Projeto InovFarmer.MED, cujo objetivo é a melhoria da cadeia de abastecimento do Mediterrâneo através de modelos de negócios agroalimentares

¹ Os inimigos das culturas são organismos que, pela sua atividade, podem contribuir para a redução quantitativa ou qualitativa da produção de uma cultura agrícola, com consequências prejudiciais à agricultura. Os inimigos das culturas podem ser agrupados em pragas, patógenos causadores de doenças e infestantes (Amaro, 2003)

inovadores para o fortalecimento da competitividade dos pequenos agricultores, a partir de casos de estudo centrados em espécies como a figueira (*Ficus carica* L.) e a figueira-da-índia (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), desenvolveu-se este trabalho com a perspectiva de avaliar o potencial de uma alternativa ecológica que minimize os prejuízos causados por populações de artrópodes em determinadas culturas agrícolas, com recurso à formulação e aplicação de extratos botânicos. Pretendeu-se explorar novos usos de *F. carica* e *O. ficus-indica*, cuja disponibilidade nos países da bacia mediterrânica é grande (Fragkouli *et al.*, 2023) e reduzir os subprodutos gerados por estas culturas, numa perspectiva de economia circular (Ayuso *et al.*, 2022; Rodrigues *et al.*, 2023).

Os extratos botânicos são compostos por matéria extraída obtida a partir de plantas inteiras ou partes específicas, como folhas, caules, cascas, raízes, flores e/ou frutos. Resultam da dissolução dos seus constituintes solúveis em solventes de extração e da sua separação dos materiais vegetais não dissolvidos (Monagas *et al.*, 2022). Podem conter centenas de compostos bioativos diferentes, têm um interesse relevante devido às suas potenciais funções biológicas, tais como efeitos antivirais, antimicrobianos, antioxidantes e anti-inflamatórios (Wani *et al.*, 2023) Neste trabalho, as formulações, obtidas a partir de folhas de *F. carica* e cladódios de *O. ficus-indica*, foram analisadas e testadas em duas espécies distintas de insetos para posterior avaliação das percentagens de mortalidade obtidas.

Alguns dos compostos bioativos presentes em extratos botânicos podem, porém, ser tóxicos para insetos benéficos e animais aquáticos (Potts *et al.*, 2016) e, além disso, podem causar fitotoxicidade. Com efeito, a aplicação de inseticidas naturais carece, em muitos casos, de estudos direcionados à sua aplicação prática em condições agroecológicas complexas, particularmente, na compreensão dos mecanismos de atuação inerentes aos extratos botânicos, quando aplicados em diferentes culturas sob diferentes condições de crescimento (Isman, 2017).

A presente dissertação inicia-se com um breve enquadramento teórico (capítulo 2) que se divide em três secções. Na primeira secção aborda-se a importância dos compostos bioativos no desenvolvimento de alternativas aos inseticidas de síntese, o modo como atuam e a sua presença no mercado. De seguida (secção 2), caracterizam-se, de forma geral, as espécies botânicas selecionadas para o estudo e apresentam-se alguns dos seus principais compostos químicos. Na secção 3 são apresentados e caracterizados os insetos sujeitos aos tratamentos com os extratos botânicos formulados. No terceiro capítulo desta dissertação

descreve-se o material e métodos utilizados, onde se inclui a descrição pormenorizada dos procedimentos e técnicas levadas a cabo, desde a colheita do material vegetal até à obtenção das formulações definitivas e execução dos ensaios de bioatividade. No capítulo quatro apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos. Por último (capítulo 5), apresentam-se as conclusões e propõem-se algumas linhas de trabalho futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. COMPOSTOS BIOATIVOS DO METABOLISMO VEGETAL COM EFEITO INSETICIDA

2.1.1. BIOINSETICIDAS: CONCEITO E CARACTERÍSTICAS

As políticas destinadas à regulação da utilização de inseticidas estão a tornar-se mais rigorosas um pouco por todo o mundo (Visakh *et al.*, 2023; Kim *et al.*, 2023) e motivaram um crescimento exponencial da investigação científica sobre abordagens ecológicas e de baixo risco (Chen *et al.*, 2021). Nas últimas duas décadas foram realizados esforços consideráveis no sentido de se estudarem as atividades biológicas de diversas espécies vegetais capazes de controlar eficazmente populações de artrópodes que causam elevados estragos e prejuízos em culturas agrícolas (Peng *et al.*, 2023).

Estudos recentes (Quadro 1) sugerem que determinados compostos bioativos com propriedades inseticidas, abundantemente encontrados em diversas famílias botânicas, como por exemplo, nas Apiaceae, Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Myrtaceae ou Zingiberaceae (Benelli *et al.*, 2019; Campos *et al.*, 2019; Cantó-Tejero *et al.*, 2022), podem ser explorados enquanto alternativas promissoras aos inseticidas de síntese (Maazoun *et al.*, 2019; Oyediji *et al.*, 2020; Ahmed *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2022), nomeadamente, aos piretróides e organofosforados (Fragkouli *et al.*, 2023).

O desenvolvimento de inseticidas botânicos (bioinseticidas²) baseia-se, sobretudo, no aproveitamento de substâncias resultantes do metabolismo secundário das plantas (Leng *et al.*, 2011) presentes em extratos e óleos essenciais (OEs) que apresentam atividade inseticida, repelência e toxicidade em insetos-alvo, para além de poderem possuir propriedades antifúngicas, antivirais e antibacterianas (Khater *et al.*, 2012).

Os extratos botânicos podem ser obtidos a partir de material desidratado, essencialmente através de um método de extração sólido/líquido em que são utilizados solventes aquosos ou orgânicos, como por exemplo, a acetona, etanol, metanol (menos recomendável), hexano ou acetato de etilo (Saravanan, 2022). Os extratos com ação inseticida geralmente contêm compostos, tais como alcaloides, saponinas ou esteróis reconhecidos

² De acordo com o regulamento da UE (baseado no Regulamento (EC) n.º 1107/2009 e na Base de Dados de Substâncias Ativas da CE), um biopesticida (onde se incluem bioinseticidas) são substâncias ativas presentes em organismos vivos (como bactérias, fungos, vírus) ou extraídas diretamente de plantas ou outros seres naturais, usadas contra inimigos das culturas agrícolas. Estas substâncias são autorizadas com base nos mesmos critérios aplicáveis aos produtos químicos, mas realçam-se pela sua origem biológica.

como metabolitos secundários das plantas (Wiwattanawanichakun *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2022).

Podem também ser preparados a partir de óleos essenciais, que são misturas complexas que contêm um grande número de compostos voláteis em diferentes concentrações (Chen *et al.*, 2021; Cantó-Tejero *et al.*, 2022), nos quais se incluem fenilpropanoides de baixo peso molecular, sesquiterpenos e monoterpenos como o α -terpineno, *p*-cimeno, cânfora, carvacrol, timol, linalol (Salazar *et al.*, 2022), entre outros (Quadro 1). Para obter OEs, a destilação por arraste de vapor é o método mais frequente (Pumnuan *et al.*, 2022), mas por fermentação ou extração com solventes (Salazar *et al.*, 2022).

Os perfis químicos das formulações botânicas e/ou dos seus componentes podem variar em função de fatores ambientais durante o desenvolvimento das plantas (por exemplo, altitude, níveis de nutrição e condições climáticas na área de cultivo) (Chen *et al.*, 2021; Zimmermann *et al.*, 2021), fatores biológicos (por exemplo, genótipos e interação das plantas com outros organismos) (Chen *et al.*, 2021), das fases do crescimento vegetativo e da época de colheita. Além disso, os métodos de armazenamento e extração também afetam a composição química dos OEs (Zimmermann *et al.*, 2021; Qi *et al.*, 2023).

Os compostos bioativos resultantes do metabolismo secundário das plantas são desejáveis (Li *et al.*, 2023) devido às suas propriedades ecotoxicológicas favoráveis (Ouarhach *et al.*, 2022), como por exemplo, a baixa persistência no solo devido à sua elevada volatilidade (Salazar *et al.*, 2022), fácil degradação (Wu *et al.*, 2020; Ouarhach *et al.*, 2021), baixa toxicidade para os organismos não visados (Ahmed *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023; Peng *et al.*, 2023), nomeadamente para o ser humano (Murugan *et al.*, 2023; Pimentel *et al.*, 2023), e boa relação custo-eficácia (Kumari *et al.*, 2022; Prasannakumar *et al.*, 2023). A ação destes compostos depende de moléculas sintetizadas pelas plantas que fazem parte dos seus mecanismos de defesa intrínsecos contra as populações de artrópodes inimigas das culturas agrícolas (Ouarhach *et al.*, 2021).

Considera-se que mais de 2000 espécies de plantas dispõem de potencial para inibir a atividade dos insetos mediante vários mecanismos, onde, entre outros, se incluem a toxicidade por contato, supressão do comportamento reprodutivo, inibição de crescimento ou redução da fecundidade e da fertilidade (Ghabbari *et al.*, 2018; Murugan *et al.*, 2023).

Os extratos e os OEs podem ser utilizados, por exemplo, como fumigantes, inseticidas de contacto ou repelentes (Zimmermann *et al.*, 2021). O modo de aplicação é o principal fator

associado à toxicidade dos compostos químicos, independentemente da espécie de inseto-praga (Almadiy, 2021; Nobsathian *et al.*, 2021). Por exemplo, o método da fumigação está relacionado com a alta volatilidade dos principais compostos presentes em OEs (Saravanan, 2021). Durante a fumigação, os OEs podem ser inalados ou penetrar na cutícula dos insetos e, como consequência, promover uma taxa de mortalidade elevada (Kumari *et al.*, 2022). Esses compostos afetam o processo respiratório dos insetos quando invadem o seu organismo através da traqueia (Almadiy *et al.*, 2021). Com efeito, são provocadas alterações bioquímicas e fisiológicas, bem como, distúrbios metabólicos que conduzem à sua asfixia e morte (Zimmermann *et al.*, 2021). A este respeito, o ponto seguinte aborda de forma mais desenvolvida mecanismos que interferem com a normal atividade dos insetos.

2.1.2. MECANISMOS DE AÇÃO QUE INDUZEM TOXICIDADE NOS INSETOS

Os mecanismos de ação que podem decorrer de compostos presentes em plantas, consistem, por exemplo, no bloqueio de enzimas protetoras ou na perturbação do sistema nervoso (Quadro 1).

Os insetos dispõem da capacidade inata de produzir enzimas que lhes conferem uma ação protetora e desintoxicante. Estas enzimas desempenham um papel fundamental na manutenção do metabolismo dos radicais livres e das suas funções fisiológicas (Zhang *et al.*, 2023). As enzimas de desintoxicação comuns nos insetos incluem a acetilcolinesterase (AChE), a carboxilesterase (CarE) e a glutathione-S-transferase (GST) (Pengsook, 2020; Qi *et al.*, 2023), que favorecem a degradação das moléculas presentes nos inseticidas e a maximização da resistência aos mesmos (Peng *et al.*, 2023). Contudo, vários compostos fitoquímicos têm a capacidade de bloquear a atividade dessas enzimas, pelo que são provocadas alterações nas condições biológicas e fisiológicas do inseto (Almadiy *et al.*, 2021).

A atividade inseticida de certos compostos vegetais pode também atuar sobre o sistema nervoso dos insetos (Visakh *et al.*, 2021). Por exemplo, os monoterpenos voláteis têm um potencial elevado, capaz de causar efeitos neurotóxicos (Li *et al.*, 2023). A neurotoxicidade está substancialmente relacionada com: a) a inibição da AChE e da enzima Na⁺/K⁺-ATPase, b) a redução da atividade da GST, c) a interferência com os canais de cloreto (Cl⁻) dependentes do ácido γ -aminobutírico (GABA) e d) o bloqueio dos recetores de octopamina e tiramina, entre outros mecanismos ou efeitos fisiológicos possíveis (Campos *et al.*, 2019; Almadiy *et al.*, 2021; Qi *et al.*, 2023).

A inibição da acetilcolinesterase desencadeada nos artrópodes tem sido um dos mecanismos de ação mais estudados pelos investigadores (Peng *et al.*, 2023; Qi *et al.*, 2023). Os monoterpenoides causam a morte dos insectos ao bloquearem a sua capacidade de produzir AChE (Figura 1) (Pengsook, 2020). De acordo com Benelli *et al.* (2020), o efeito de compostos extraídos da planta *Mentha arvensis* L. no sistema nervoso dos insectos resultou em hiperatividade, excitação e morte, o que, segundo os autores do estudo, pode indicar que os extratos com elevado teor de monoterpenos inibem a ação da AChE (Benelli *et al.*, 2020). A enzima alvo, a AChE, é uma enzima-chave no sistema nervoso dos insectos, que pode inibir a transmissão dos impulsos nervosos e, desse modo, catalisar a hidrólise do neurotransmissor acetilcolina (ACh) (Figura 2). Por consequência, é provocada a morte do insecto, devido a uma excitação excessiva (Ribeiro *et al.*, 2020; Nobsathian *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2023). Os sintomas incluem tremores, convulsões, hiperatividade e, eventualmente, paralisia (Al Dawsari Mona, 2019). Além disso, as mutações na AChE diminuem a sensibilidade do alvo e, por conseguinte, a resistência aos pesticidas (Nobsathian *et al.*, 2021).

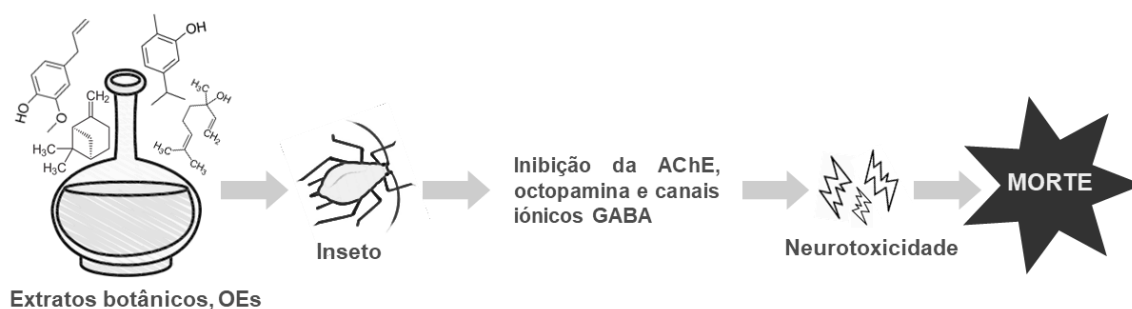


Figura 1. Ação neurotóxica de agentes botânicos após inibição de recetores específicos do insecto. Abreviaturas: GABA: ácido gama-aminobutírico; AChE: acetilcolinesterase.

Num estudo realizado por Murugan *et al.* (2023), o eugenol (um composto aromático pertencente ao grupo dos fenóis) atuou como um inibidor moderado da acetilcolinesterase. Os resultados sugeriram uma forte ligação do eugenol às proteínas alvo da AChE. Além disso, verificou-se que os terpenóides α -pineno, β -pineno, limoneno e β -felandreno, inibem a AChE em *Reticulitermes speratus* (Kolbe) (Che *et al.*, 2019). A inibição da atividade da AChE em *Callosobruchus maculatus* (Fab.) e *Sitophilus zeamais* Mots. pelo linalol, limoneno e L-carvona foi observada por Oyedeji *et al.* (2020) e por Visakh *et al.* (2023). Nos insectos, por exemplo, extratos de *Pimpinella anisum* L. cujo componente primário é o trans-anetol, podem afetar negativamente a atividade proteica e inibir enzimas-chave (Zhang *et al.*, 2023). O trans-anetol

pode atuar como inibidor da AChE com efeitos sistêmicos, pela neutralização dos mecanismos de defesa no intestino médio dos insetos (Zimmermann *et al.*, 2021). Além disso, Chen *et al.* (2021) observou que os extratos etanólicos das sementes de *Salvia hispanica* L. promoveram o bloqueio da AChE. O estudo demonstra que o óleo essencial de *S. hispanica* e o seu composto mais abundante (α -tujona) apresentaram uma forte atividade inseticida contra *Spodoptera exigua* (Hübner), devido à interação sinérgica entre os seus quatro compostos principais (α -tujona, (+)-cânfora, 1,8-cineol e α -cariofileno). Também o carvacrol, constituinte principal da espécie botânica *Origanum syriacum* L. subsp. *Syriacum*, foi descrito como inibidor da AChE, por lhe ter sido detetada a capacidade de afetar negativamente a transmissão sináptica nos insetos (Benelli *et al.*, 2019). Além disso, o carvacrol é capaz de interagir com os recetores GABA e octopamina (Figura 2) e, dessa forma, provocar toxicidade nos insetos-alvo (Al Dawsari Mona *et al.*, 2019).

A Na^+/K^+ -ATPase é outra das enzimas que desempenha um papel fundamental no sistema nervoso central dos insetos. A inibição da Na^+/K^+ -ATPase pode levar à perturbação do equilíbrio iónico e à disrupção da transmissão de impulsos nervosos nos insetos (Oyedegi *et al.*, 2020). Um estudo realizado por Pimentel *et al.* (2023) comprovou o efeito inibidor de um óleo essencial extraído de *Camellia sinensis* Kuntze e dos seus constituintes nas atividades da Na^+/K^+ -ATPase e da GST em adultos de *C. maculatus* e *S. zeamais*.

Foi ainda documentada uma redução significativa na atividade da GST em adultos *S. zeamais* e *C. maculatus*, desencadeada por compostos extraídos de *Acalypha wilkesiana* Müll.Arg. e de onde se destacam o geraniol, o linalol, o 3-careno e o citral (Paiva *et al.*, 2023).

Os monoterpenos interferem igualmente com a octopamina, que é um neurotransmissor excitativo presente no sistema nervoso central e periférico dos insetos, e com os canais de cloreto dependentes do GABA, pelo que provocam perturbação no sistema nervoso dos artrópodes (Almadiy *et al.*, 2021). O efeito tóxico pode ocorrer através do bloqueio desses canais nos insetos (Khursheed *et al.*, 2022). Por exemplo, a ativação dos recetores GABA pode ser o mecanismo, pelo qual, certos monoterpenos, como a tujona, exercem os seus efeitos neurotóxicos (Nia *et al.*, 2015; Khursheed *et al.*, 2022). Outro exemplo é o timol, que interfere com os canais de cloreto dependentes do GABA em *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae), ou mosca da fruta comum, como é conhecida (Visakh *et al.*, 2023).

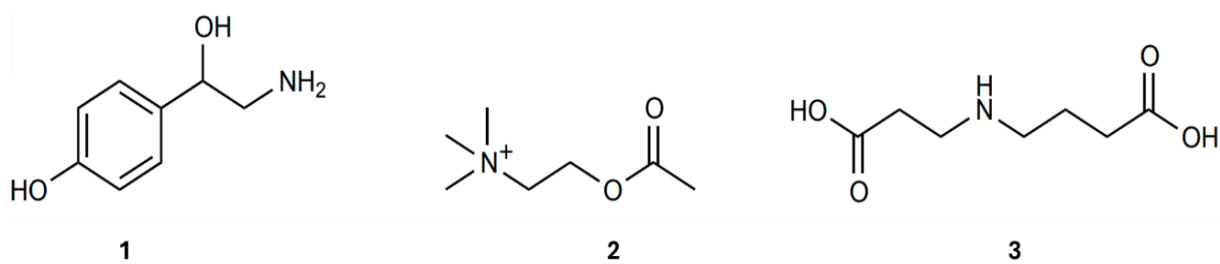


Figura 2. Estruturas químicas da octopamina (1), acetilcolina (2) e ácido γ-aminobutírico (3).

Quadro 1. Estudos recentes que avaliam o efeito toxicológico de extratos vegetais ou óleos essenciais em insetos alvo.

Família da planta	Espécie da planta	Origem	Principais compostos identificados	Inseto alvo	Resultados na aplicação em insetos	Referência
Acoraceae	<i>Acorus calamus</i> L.	Rizomas	Crisina (5,7-dihidroxi-flavona)	<i>Spodoptera litura</i> Fab.	A crisina demonstrou ótima eficiência e promoveu a redução das atividades da carboxilesterase, enzima que favorece a diminuição de efeitos tóxicos nas larvas.	(Wiwattanawan et al., 2022)
Amaranthaceae	<i>Atriplex halimus</i> L.	Folhas	Saponinas triterpenóides	<i>Dactylopius opuntiae</i> (Cockerell)	Um extrato aquoso desenvolvido pelos autores do estudo revelou boa atividade inseticida em <i>D. opuntiae</i> . As ninfas e as fêmeas adultas mostraram-se mais sensíveis ao extrato.	(Naboulsi et al., 2022)
Asteraceae	<i>Blumea balsamifera</i>	Partes aéreas da planta	Borneol, β -cariofileno e cânfora	<i>Tribolium castaneum</i> , <i>Lasioderma serricorne</i> e <i>Sitophilus oryzae</i>	O β -cariofileno e a cânfora apresentaram toxicidade significativa, por contacto, em <i>S. oryzae</i> e <i>L. serricorne</i> . O OE de <i>B. balsamifera</i> exibiu atividade repelente em <i>T. castaneum</i> .	(Qi et al., 2023)
Asteraceae; Lamiaceae	<i>Achillea biebersteinii</i>	Partes aéreas da planta	α -terpineno, p-cimeno e cânfora	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	Os compostos botânicos exibiram efeitos inseticidas consideráveis - promoveram a inibição da atividade da AChE.	(Almadiy et al., 2021)
	<i>Tagetes minuta</i> L. e <i>Mentha arvensis</i> L.	Ramos, folhas e flores	Diidrotagetona, (Z)-tagetona, (Z)- β -ocimeno e (E)-ocimenona (<i>T. minuta</i>); Mentol, mentona e neo-mentol (<i>M. arvensis</i>)	<i>Sitophilus oryzae</i> L. e <i>Sitoph zeamais</i> Motsch.	O ensaio demonstrou-se eficaz, especialmente pelo método de fumigação; observou-se o efeito do OE de <i>M. arvensis</i> no sistema nervoso dos insectos, indicando a inibição da AChE.	(Zimmermann et al., 2021)
	<i>Stevia rebaudiana</i>	Folhas	Sesquiterpenos (óxido de cariofileno, espatulenol e (E)-nerolidol), e diterpenos (fitol)	<i>Metopolophium dirhodum</i>	Observou-se neste estudo a elevada toxicidade do fitol em <i>M. dirhodum</i> . A sua principal contribuição para a atividade aficida poderá dever-se à capacidade de interação com o sistema GABAérgico. O extrato de sementes apresentou maior toxicidade (97,0% de mortalidade) em lagartas de <i>P. xylostella</i> . Contudo, também o extrato de flores apresentou resultados satisfatórios em termos de mortalidade das larvas de <i>P. xylostella</i> .	(Benelli et al., 2020)
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Sementes, flores, frutos, folhas e casca	Lapachol	<i>Plutella xylostella</i>	O extrato de sementes apresentou maior toxicidade (97,0% de mortalidade) em lagartas de <i>P. xylostella</i> . Contudo, também o extrato de flores apresentou resultados satisfatórios em termos de mortalidade das larvas de <i>P. xylostella</i> .	(Silva et al., 2023)
Euphorbiaceae	<i>Croton rudolphianus</i>	Folhas	Metil-chavicol, (E)-cariofileno, eugenol, bicicloelemeno, biciclogermacreno e espatulenol	<i>Sitophilus zeamais</i>	O óleo essencial de <i>C. rudolphianus</i> revelou-se tóxico para o inseto em estudo, quer por contacto, quer por ingestão. O processo de fumigação também foi eficaz.	(Ribeiro et al., 2020)

Quadro 1. Estudos recentes que avaliam o efeito toxicológico de extratos vegetais ou óleos essenciais em insetos alvo. (cont.)

Família da planta	Espécie da planta	Origem	Principais compostos identificados	Inseto alvo	Resultados na aplicação em insetos	Referência
	<i>Retama raetam</i>	Partes aéreas da planta	Eugenol, anagirina e esparteína	<i>Aphis gossypii</i> e <i>Amrasca biguttula</i>	O eugenol, a anagirina e a esparteína apresentaram inibição da AChE em <i>A. Gossypii</i>	(Kamel <i>et al.</i> , 2023)
Fabaceae	<i>Crotalaria stipularia</i>	Sementes	Lectinas, flavonas, flavonóis, xantonas e saponinas	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	Atividade dissuasora das saponinas; Interferência na reprodução e/ou crescimento dos insetos.	(de Lima <i>et al.</i> , 2023)
	<i>Marrubium astracanicum</i> Jacq. subsp. <i>Astracanicum</i> Jacq.	Partes aéreas da planta	Longipinano, (E)-, ácido palmítico, hexa-hidrofarnesil acetona e neofitadieno	<i>Callosobruchus chinensis</i> (L.) e <i>Callosobruchus maculatus</i>	Maior eficácia das aplicações tópicas em adultos de <i>C. chinensis</i> . Os extratos hexânicos apresentaram maior toxicidade para os adultos de <i>C. maculatus</i> .	(Aker <i>et al.</i> , 2023)
	<i>Lavandula coronopifolia</i>	Folhas	Carvacrol, E-cariofileno e óxido de cariofileno	<i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann	Verificou-se toxicidade do extrato em <i>C. capitata</i> ; as fêmeas demonstraram maior sensibilidade; o potencial de toxicidade por ingestão em adultos foi mais elevado e também dissuadiu significativamente a oviposição (cerca de 94%).	(Ouarhach <i>et al.</i> , 2022)
Lamiaceae	<i>Origanum syriacum</i> subsp. <i>syriacum</i>	Folhas	Carvacrol, γ -terpineno, p-cimeno, timol e α -terpineno	<i>Myzus persicae</i> , e <i>Spodoptera littoralis</i>	Toxicidade relevante para ambos os insetos; foi relatado que o carvacrol inibe a AChE e interage com os recetores GABA e octopamina.	(Benelli <i>et al.</i> , 2019)
	<i>Salvia hispanica</i> L.	Partes aéreas da planta	α -tujona, (+)-cânfora, 1,8-cineol e α -cariofileno	<i>Spodoptera exigua</i>	O óleo essencial de <i>S. hispanica</i> apresentou-se eficaz no controlo das larvas de <i>S. exigua</i> , A eficácia do OE variou em função da dose exata e da duração da exposição.	(Chen <i>et al.</i> , 2021)
Menispermaceae	<i>Cissampelos pareira</i> L.	Raízes; caules	Palmitato de etilo, oleato de etilo, linoleato de metilo e 8-octadecênico	<i>Aphis craccivora</i> Koch	O extrato de <i>C. pareira</i> e as suas frações exibiram efeitos inseticidas promissores sobre os afídeos em estudo.	(Kumari <i>et al.</i> , 2022)
Monimiaceae/ Atherospermataceae	<i>Laureliopsis philippiana</i>	Folhas	Linalool, safrole, 1,8- cineole e methyleugenol	<i>Tuta absoluta</i> Meyrick	Nanoemulsões do OE de <i>L. philippiana</i> , quando comparadas com OE puro, apresentaram maior estabilidade a baixas concentrações durante um período temporal mais alargado e maior eficiência em termos de toxicidade para o inseto.	(Salazar <i>et al.</i> , 2022)
Piperaceae	<i>Piper retrofractum</i> Vahl	Fruto	Pentadecane, γ -heptadecane, 1-heptadecene, 8-heptadecene, 1-tetradecanol, 1-tridecene, e tridecane	<i>Callosobruchus maculatus</i> Fabricius, <i>Callosobruchus chinensis</i> Linnaeus, e <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky	O extrato hexânico apresentou toxicidade extrema e uma boa resposta de repelência contra <i>C. maculatus</i> e <i>C. chinensis</i> . Por outro lado, demonstrou baixa atividade inseticida em <i>S. zeamais</i> .	(Pumnuan <i>et al.</i> , 2022)

Quadro 1. Estudos recentes que avaliam o efeito toxicológico de extratos vegetais ou óleos essenciais em insetos alvo. (cont.)

Família da planta	Espécie da planta	Origem	Principais compostos identificados	Inseto alvo	Resultados na aplicação em insetos	Referência
Ranunculaceae	<i>Consolida ajacis</i>	Sementes	Oleato de etilo, linoleato de etilo, palmitato de metilo, (9E)-9-octadecenoato de metilo e erucilamida	<i>Plutella xylostella</i>	A aplicação do extrato de <i>C. ajacis</i> promoveu alteração nas enzimas metabólicas e neurotóxicas de <i>P. xylostella</i> .	(Peng <i>et al.</i> , 2023)
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	Pele do fruto	Terpineol, 3-careno, citral, d-limoneno e linalol	<i>Callosobruchus maculatus</i> e <i>Sitophilus zeamais</i>	As atividades da AChE e da Na ⁺ /K ⁺ -ATPase foram inibidas de forma significativa em <i>C. maculatus</i> e em <i>S. zeamais</i> .	(Oyedeji <i>et al.</i> , 2020)
Solanaceae	<i>Solanum torvum</i> (Sw.)	Folhas	Alcalóides, saponinas, taninos, esteróis, flavonóides, fenóis e antraquinonas	<i>Callosobruchus maculatus</i> (F.)	O extrato obtido apresentou efeito repelente e elevados níveis de toxicidade; a mortalidade observada em <i>C. maculatus</i> foi superior a 98% durante 72 horas de tratamento.	(Murugesan <i>et al.</i> , 2021)
Taxaceae	<i>Cephalotaxus sinensis</i>	Folhas e ramos	β -gelandreno, óxido de cariofileno, β -cariofileno e α -pineno	<i>Megoura japonica</i> , <i>Plutella xylostella</i> e <i>Sitophilus zeamais</i>	O OE de <i>C. sinensis</i> revelou-se tóxico em <i>M. japonica</i> , <i>P. xylostella</i> e <i>S. zeamais</i> , quer por contacto, quer por fumigação.	(Ma <i>et al.</i> , 2020)
Zingiberaceae	<i>Curcuma longa</i> L.	Folhas	α -phellandrene, 2-careno, eucaliptol e terpinoleno	<i>Rhyzopertha dominica</i> ; <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	A aplicação do extrato apresentou bons níveis de toxicidade e repelência, quer por contacto, quer por fumigação.	(Kim <i>et al.</i> , 2023)
	<i>Etilingera elatior</i>	Inflorescências	Dodecanal, dodecanol, β -cariofileno, α -pineno, n-decanol e β -farneseno	<i>Sitophilus zeamais</i>	O dodecanal e o dodecanol promoveram forte ação dissuasora e capacidade de inibir, em pelo menos 67% a atividade da amilase no intestino do inseto.	(Pimentel <i>et al.</i> , 2023)
	<i>Alpinia galanga</i> (L.) Willd.	Rizomas	Fenilpropanóides (acetato de acetoxicavicol, diacetato de p-cumarilo)	<i>Spodoptera litura</i> Fab.	Diminuição da atividade da glutathione S-transferase e aumentaram a atividade da AChE. O diacetato de p-cumarilo também diminuiu a atividade da carboxilesterase.	(Pengsook <i>et al.</i> , 2020)
Zingiberaceae e Myrtaceae	<i>Elettaria cardamomum</i> e <i>Eugenia caryophyllus</i>	Sementes	Eugenol, linalol, 1,8-cineol, chavicol, mirtanol, 1-octadecanol, acetil eugenol, 3-alil eugenol	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	Os extratos de ambas as plantas resultaram em 100% de mortalidade após 72 horas.	(Al D. Mona <i>et al.</i> , 2022)

2.1.3. INSETICIDAS COMERCIAIS DE ORIGEM BOTÂNICA

A comercialização de inseticidas botânicos, pertencentes ao grupo dos bioinseticidas, é hoje uma realidade que beneficia o setor agrícola (De Oliveira *et al.*, 2018). No entanto, estes produtos são, por ora, produzidos numa escala relativamente pequena, quando comparados com os inseticidas de síntese convencionais (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

O desenvolvimento de novos inseticidas botânicos é um desafio, pois requer uma grande disponibilidade de recursos vegetais, a normalização do processamento dos substratos fitoquímicos e a realização de protocolos de garantia da qualidade (Acheuk *et al.*, 2022). A aprovação regulamentar é também muito relevante, deve assegurar um registo alargado de dados sobre o destino ambiental dos substratos bioativos e os seus possíveis efeitos tóxicos (Wu *et al.*, 2020).

Com efeito, tal como definido no Regulamento (CE) n.º 1107/2009, a adoção de novos bioinseticidas baseados em substâncias ativas (compostos puros com, neste caso, propriedades inseticidas) e outras substâncias de base registadas que possam ser úteis para a proteção das plantas, deve demonstrar e garantir que não são cancerígenos, corrosivos ou sensibilizantes da pele, desreguladores endócrinos, imunotóxicos, mutagénicos e não neurotóxicos, e que não devem ter qualquer efeito adverso no ambiente.

A implementação mais rápida e fácil dos resultados da investigação sobre bioinseticidas é imperativa, mas os requisitos regulamentares tendem a ser morosos e dispendiosos de tal forma, que só as grandes empresas de agroquímicos detêm recursos para o fazer, o que perpetua o uso generalizado dos inseticidas de síntese na agricultura (Isman, 2008; Pavela, 2016).

Além disso, a concorrência dos produtos disponíveis e o desconhecimento da existência de muitas outras espécies botânicas com potenciais propriedades inseticidas, são barreiras à comercialização destes produtos (Khan *et al.*, 2017).

Ainda assim, e em consequência do aumento do conhecimento, em particular, sobre os mecanismos de ação dos bioinseticidas, têm sido desenvolvidas e registadas várias formulações botânicas no mercado europeu (Wu *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2022). Exemplos destes produtos comercializáveis e de ampla utilização são o óleo de Neem, extraído de *Azadirachta indica*, e as piretrinas, extraídas de *Tanacetum cinerariifolium* (Nagegowda, 2022). O óleo de Neem, por exemplo, é amplamente utilizado na Índia para o controlo de

pragas agrícolas e, atualmente, um dos inseticidas botânicos mais comercializados em todo o mundo (Khater, 2012; Luiz de Oliveira *et al.*, 2018). Os princípios ativos presentes na maioria destes produtos dependem apenas de algumas substâncias ativas, nomeadamente, a azadiractina ou o piretro (Hamel *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2021).

A azadiractina é considerada um metabolito ambientalmente seguro e económico na regulação das populações de pragas (Gumiero *et al.*, 2008). A maioria dos estudos sobre a azadiractina estão voltados para a sua atividade inseticida frente a um enorme espectro de insetos, sem que interfiram na regular atividade dos predadores naturais desses mesmos organismos (Moreira *et al.*, 2011).

No quadro seguinte (Quadro 2) apresentam-se alguns exemplos de inseticidas botânicos comerciais, classificados de acordo com o princípio ativo, designação comercial e aplicação.

Quadro 2. Exemplos de produtos comercialmente disponíveis com origem botânica e atividade inseticida.

Designação botânica	Compostos bioativos	Efeito biológico	Produto comercial
<i>Allium sativum</i> L.	Compostos de enxofre	Inseticida	AjoNey® EcoA-Z® L'EcoMix® CapsiAlil®
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	Azadiractina	Inseticida	Margosom® AZA-Direct R® AzeraTM® Azamax® Molt-X® Neemix 4.5® Azatin XL® NeemAzal T/S® NeemOil®
<i>Capsicum annuum</i> L.	Capsaicina	Inseticida/repelente	Hot PepperWax® ChileNey®
<i>Tanacetum cinerariifolium</i> Schultz-Bip.	Piretrinas	Inseticida	Pyganic® Diatect®
<i>Choenocaulon officinale</i> (Schltdl. & Cham.)	Cevadina, veratridina	Inseticida	Veratran® Red Devil® Natural Guard®
<i>Citrus sinensis</i> L.	<i>d</i> -limoneno e linalol	Inseticida/repelente	Demize EC® Limocide®
<i>Derris elliptica</i> (Wall.) Benth.	Rotenona	Inseticida	5.% Rotenone ME® Rotenone Dust®
<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Nicotina	Inseticida	Nico Dust® Nico Neem® 10% Nicotine AS®
<i>Origanum vulgare</i> L.	Carvacrol	Inseticida	By-O-reg+®
<i>Ryania speciose</i> Vahl	Rianodina, riania e 9,21-didehidrorianodina	Inseticida	Natur-Gro R-50® Natur-Gro® Ryan 50® Triple Plus®
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Timol, carvacrol	Inseticida/repelente	EcoVia WD® Promax®

2.2. BREVE CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES BOTÂNICAS OBJETO DE ESTUDO

2.2.1. *FICUS CARICA* L.

Considerada uma das árvores de fruto mais antigas do mundo, *Ficus carica* L. (Figura 3), nativa do Médio Oriente, é vulgarmente denominada por figueira-comum e pertence à família botânica das Moraceae, que inclui mais de 800 espécies bem adaptadas a climas quentes e secos (Arvaniti *et al.*, 2019). Encontra-se em toda a região mediterrânica e em Portugal, com maior predominância nas regiões de Bragança, Torres Novas e Algarve (Palmeira *et al.*, 2019).



Figura 3. Figueira-comum (*Ficus carica* L.).

A domesticação e expansão pelo mundo influenciou fortemente a distribuição, morfologia (frutos) e diversidade genética da figueira-comum (Meziant *et al.*, 2023). Esta cultura representa para as economias locais um importante recurso pelo seu valor económico e contributo ativo na manutenção da biodiversidade (Mawa *et al.*, 2013; Rahmasita *et al.*, 2021). Dados recentes disponibilizados pela FAO destacam a Turquia como líder mundial da produção de figos (27,3% de uma produção que ultrapassa as 1300 toneladas e uma área estimada que representa 19,2% dos cerca de 300 000 hectares cultivados em todo o mundo), seguida por Egipto, Marrocos, Argélia e Irão. Estes cinco países são responsáveis pela produção

de mais de 65% dos figos a nível global. Já a Espanha é o maior produtor de figos da UE, com cerca de 3,0% da produção global e 5,2% da área total cultivada (FAO, 2025)

O fruto, o figo, é sazonal e pode ser colhido duas vezes por ano. A cor da casca varia entre o roxo-escuro e o verde, em função da cultivar a que pertence (Arvaniti *et al.*, 2019; Sandhu *et al.*, 2023). Os figos são um componente importante da equilibrada dieta mediterrânica devido ao seu elevado valor nutricional. São uma fonte rica em minerais, vitaminas (principalmente tiamina e riboflavina) e fibras alimentares. Tal como outros frutos, os figos são ricos em açúcares livres (Meziant *et al.*, 2023), principalmente glucose e frutose, e ácidos orgânicos, mas isentos de sódio e gordura (Palmeira *et al.*, 2019).

Os frutos e as folhas de *F. carica* são também considerados proveitosos pelo seu valor farmacológico (Cruz *et al.*, 2021). De forma tradicional, estes elementos têm sido aproveitados pelos benefícios medicinais que lhes são atribuídos, desde propriedades antipiréticas, purgativas e afrodisíacas, à prevenção e capacidade de se associarem ao tratamento de tumores e doenças de ordem inflamatória (Pereira *et al.*, 2020). Além disso, esta espécie apresenta níveis consideráveis de latex, que tem sido utilizado em várias preparações tradicionais, a maioria das quais, destinadas a tratar infeções cutâneas de natureza viral (Ladhari *et al.*, 2020).

O género *Ficus* contém uma grande diversidade de metabolitos especializados, tais como polifenóis, carotenóides, triterpenóides, fitoesteróis e ácidos gordos (Barolo *et al.*, 2014; Abdel-aty *et al.*, 2019) e proteínas, em concentrações que variam entre espécies, cultivares, partes de plantas e condições ambientais (Villard *et al.*, 2019; Kamiloglu *et al.*, 2023). Estas substâncias químicas conferem várias atividades biológicas, onde se incluem propriedades antioxidantes (Khadhraoui *et al.*, 2019), antimicrobianas, nematocidas (Alves *et al.*, 2020) e irritantes (Cruz *et al.*, 2022). O ponto seguinte aborda, de forma breve, a constituição de cada um destes grupos de compostos.

2.2.2. PRINCIPAIS COMPOSTOS BIOATIVOS IDENTIFICADOS EM *FICUS CARICA* L.

2.2.2.1. Polifenóis

De acordo com a literatura, a figueira comum é uma espécie rica em polifenóis. Os principais grupos de polifenóis presentes incluem flavonóides, ácidos fenólicos e cumarinas, que são apresentados nas alíneas seguintes:

a) Flavonóides

Os flavonóides são compostos por diferentes subclasses (Balasundram *et al.*, 2006). As subclasses encontradas em *F. carica*, com maior abundância, são as antocianinas, flavonóis, flavanóis e flavonas.

As antocianinas, enquanto pigmentos hidrossolúveis do grupo dos flavonóides, possuem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antiaterogénicas e anti-apoptóticas (Speer *et al.*, 2020). Nos figos de coloração escura, as concentrações de antocianinas são mais elevadas do que nos frutos de cor clara (Karantzi *et al.*, 2021). Esta observação encontra-se relacionada com o facto de as antocianinas presentes nos figos de cor escura se acumularem principalmente na pele ou epicarpo do fruto. A principal antocianina identificada em *F. carica* designa-se por cianidina, com diferentes moléculas de açúcar (Lama *et al.*, 2020), onde se destacam a cianidina 3-rutinosídeo e a cianidina 3-glucosídeo (Karantzi *et al.*, 2021). Já os flavonóis são o subgrupo mais comum dos flavonóides e possuem também atividades biológicas importantes, nomeadamente efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios, neuroprotetores, entre outros (Kamiloglu *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021).

A rutina (quercetina 3-rutinosídeo) é identificada na literatura como o principal flavonol presente nos frutos e folhas (Li *et al.*, 2021) de *F. carica*. Nos frutos, pode representar 55-80% do total de flavonóis identificados (Wojdyło *et al.*, 2016). Para além da rutina, a quercetina e o canferol estão identificados em figos. Em geral, são encontradas concentrações mais elevadas de flavonóis na pele do fruto do que na polpa (Palmeira *et al.*, 2019).

Por sua vez, a catequina e a epicatequina são os principais 3-flavanóis identificados em amostras de figo (Pereira *et al.*, 2017). Para além destas, também proantocianidinas foram encontradas em figos (Feng *et al.*, 2015). Em geral, o epicarpo (pele) apresenta concentrações mais elevadas de flavanóis, quando comparado com a polpa dos frutos (Vallejo *et al.*, 2012). As principais funções fisiológicas e mecanismos reguladores dos flavanóis consistem em atividades antioxidantes, anti-inflamatórias, antidiabéticas, cardioprotetoras e neuroprotetoras (Li *et al.*, 2019).

Por fim, a apigenina, a luteolina, e as suas formas C- e O-glicosídicas, são descritas como as principais flavonas encontradas, quer na pele e polpa dos frutos, quer nas folhas de

F. carica (Zhao *et al.*, 2021). Vallejo *et al.* (2012) descrevem a apigenina-rutinosídeo como a flavona mais abundante no epicarpo dos figos.

b) Ácidos fenólicos

O ácido 5-cafeoilquínico é descrito como o principal ácido fenólico identificado em frutos e folhas de *F. carica* (Vallejo *et al.*, 2012; Qin *et al.*, 2015; Wojdyło *et al.*, 2016). Para além deste, foram também detetados nos figos, o ácido gálico, ácido sirínico, ácido elágico, ácido *p*-cumárico e ácido protocatecuico (Kamiloglu *et al.*, 2023). Ammar *et al.* (2011) relataram a presença de 24 ácidos hidroxicinâmicos derivados dos ácidos cumárico, cafeco, ferúlico e sinápico. Em geral, são encontrados níveis consideráveis de ácidos fenólicos no epicarpo do fruto com elevada atividade antioxidante (Vallejo *et al.*, 2012).

c) Cumarinas

O psoraleno e o bergapteno (Figura 4) são as principais furanocumarinas identificadas em *F. carica*. Em particular, as folhas são a principal fonte destes compostos (Britto *et al.*, 2021). O nível de psoraleno e bergapteno é relativamente elevado em folhas de *F. carica* (aproximadamente 40-64% e 30-44% do total de compostos fenólicos, respetivamente) (Oliveira *et al.*, 2012). Para além das folhas, os frutos, a madeira e a casca do caule também contêm psoraleno e bergapteno (Kamiloglu *et al.*, 2023). O teor de psoraleno da polpa dos frutos tende a ser significativamente maior do que o teor verificado na pele. Para além do psoraleno e do bergapteno, também um ácido fenilpropanóide relacionado com o psoraleno foi identificado em *F. carica* (Li *et al.*, 2021). As cumarinas possuem atividade antioxidante, antibacteriana, anticolinesterase (Belguith-Hadriche *et al.*, 2017), entre outras.

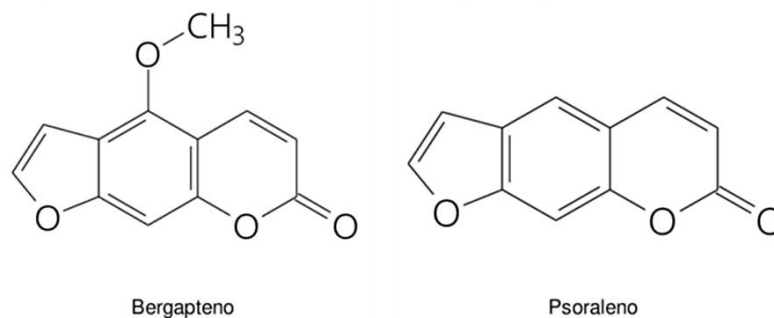


Figura 4. Estruturas químicas do psoraleno e bergapteno.

2.2.2.2. Carotenoides

Os carotenóides identificados em figos incluem a luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, β -caroteno, α -caroteno e licopeno (Nawade *et al.*, 2020). O teor destes carotenóides pode variar, em função da cultivar, isto é, enquanto que em algumas cultivares de *F. carica*, o licopeno é encontrado em maior abundância, noutras, são identificadas a luteína ou o β -caroteno como os principais carotenóides. Todavia, o teor total de carotenóides dos figos, quando comparado com outros frutos (por exemplo, laranja, melão, papaia ou figo-da-índia) é considerado menor (Kamiloglu *et al.*, 2023).

2.2.2.3. Terpenos

Os terpenos (também conhecidos como terpenóides) são compostos naturais, componentes primários dos óleos essenciais, que desempenham um papel importante na fragrância, sabor e pigmentos das plantas (Cox-Georgian *et al.*, 2019). As quantidades destes compostos voláteis podem variar consoante as cultivares de figo e entre figos frescos e secados. Os figos podem conter terpenos como o limoneno, linalol, β -cariofileno, α -pineno e germacreno (Zidi *et al.*, 2021; Kamiloglu *et al.*, 2023). O D-limoneno é o composto mais abundante (Pereira *et al.*, 20120).

2.2.2.4. Fitoesteróis

Os fitosteróis constituem um dos principais componentes das membranas das células vegetais e são precursores para a formação de diversos metabolitos secundários, tais como glicocalcóides, cardenólidos e saponinas (Oliveira *et al.*, 2012). As folhas, frutos, e látex de *F. carica* incluem na sua composição química campesterol, estigmasterol e, sobretudo, elevados teores de β -sitosterol (Kumari *et al.*, 2018) (Figura 5). Também nos ramos (casca, caule e medula) se podem encontrar estes fitoesteróis. Adicionalmente, os compostos β -amirina, ψ -taraxasterol, betulol, lupeol, lanosterol, acetato de lupeol, β -amirina, β -sisterol e α -amirina, foram identificados em *F. carica*, particularmente no látex (Oliveira *et al.*, 2012; Kamiloglu *et al.*, 2023).

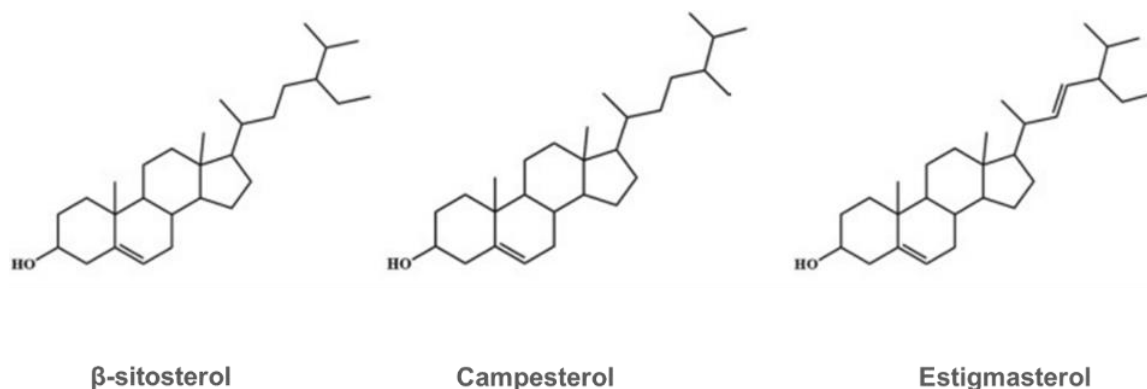


Figura 5. Estruturas químicas do psoraleno e bergapteno.

2.2.2.5. Ácidos gordos

Os ácidos linoleico, linolénico, oleico e palmítico encontram-se em níveis elevados, quer na polpa, quer na pele do figo (Guvenc *et al.*, 2009). Num estudo realizado por Palmeira *et al.* (2019), o ácido α -linolénico é referido como o ácido gordo mais abundante na pele e na polpa do figo, seguido dos ácidos linoleico, palmítico e oleico. Nas folhas, o ácido gordo predominante é o ácido α -linolénico seguido do ácido palmítico, ácido γ -linolénico, ácido linoleico, ácido esteárico e ácido oleico (Uysal *et al.*, 2015). Geralmente, ácidos gordos polinsaturados (ácido α -linolénico, o ácido γ -linolénico e o ácido linoleico), ácidos gordos monoinsaturados (ácido oleico) e ácidos gordos saturados (ácido palmítico), encontram-se em grande quantidade nos figos e subprodutos do figo (Kamiloglu *et al.*, 2023).

O quadro seguinte (Quadro 3) apresenta, de forma resumida, alguns dos compostos orgânicos identificados em *F. carica* com base em diversos estudos.

Quadro 3. Classes de compostos e compostos orgânicos identificados em diferentes partes da espécie *Ficus carica*.

Classes de compostos	Compostos orgânicos	Elementos da planta	Referências
Polifenóis			
Flavonoides			
Antocianinas	Antocianidinas (cianidina, cianidina 3-rutinósido e cianidina 3-glucósido)	Pele do fruto	(Pereira <i>et al.</i> , 2017; Zhang <i>et al.</i> , 2020; Karantzi <i>et al.</i> , 2021)
Flavonóis	Rutina, quercetina, 3-rutinosídeo de quercetina, isoquercetina, glicosídeo, quercetina, 7-glicosídeo de quercetagina, 7-glicosídeo de canferol, 3-glicosídeo de canferol, deoxi-hexosil-hexosídeo de canferol e hexosídeo de taxifolina	Fruto (polpa e pele), folhas e latex	(Wojdyto <i>et al.</i> , 2016; Gaaliche <i>et al.</i> , 2019; Ladhari <i>et al.</i> , 2020)
Flavanóis	Epicatequina, catequina	Fruto	(Viuda-Martos <i>et al.</i> , 2015; Francini <i>et al.</i> , 2021)
Flavonas	Apigenina, luteolina	Fruto (polpa e pele), folhas	(Soltana <i>et al.</i> , 2018; Mustafa <i>et al.</i> , 2021)
Ácidos fenólicos			
Ácidos hidroxicinâmicos e hidroxibenzóicos	Ácido p-cumárico, ácido clorogénico, ácido elágico, ácido p-cumárico, ácido gálico, ácido siríngico e ácido protocatecuico	Folhas, fruto	(Kamiloglu <i>et al.</i> , 2015; Wojdyto <i>et al.</i> , 2016)
Cumarinas			
Furanocumarinas	Psoraleno, bergapteno, angelicina, bergaptol, calepina, marmesina, PAG, pimpinelina, rutamarina, rutaretina, xantotoxina, xantotoxol	Fruto, folhas, latex	(Takahashi <i>et al.</i> , 2017; Wang <i>et al.</i> , 2017; Britto <i>et al.</i> , 2021)
Carotenoides			
Xantofilas	Luteína, α - e β -criptoxantina, zeaxantina	Fruto	(Yemiş <i>et al.</i> , 2012; Petkova <i>et al.</i> , 2019)
Carotenos	α -caroteno, β -caroteno, licopeno e tocoferóis	Fruto	(Nawade <i>et al.</i> , 2020)
Terpenos			
Monoterpenos e Sesqui	Linalol, D-limoneno, α -pineno, 3-careno, β -cariofileno, limoneno, mentol, copaeno, germacreno D, aloaromadendreno, mirceno, estireno, α -copaeno, β -cariofileno e δ -cadineno	Fruto, folhas	(Russo <i>et al.</i> , 2010; Pereira <i>et al.</i> , 2020; Zidi <i>et al.</i> , 2021)
Ácidos orgânicos			
	Ácido palmítico, ácido linoleico, ácido esteárico, linoleato de etilo, hexadecanoato de etilo, éster metílico do ácido linolénico	Folhas	(Oliveira <i>et al.</i> , 2009; Pande <i>et al.</i> , 2010) (Mawa <i>et al.</i> , 2013; Kumari <i>et al.</i> , 2018)
Fitosteróis			
	Campesterol, estigmasterol e sitosterol; β -Amirina e psitaraxasterol; betulol, lupeol, lanosterol, acetato de lupeol, β -sisterol e α -amirina (látex de <i>F. carica</i>)	Folhas	(Mawa <i>et al.</i> , 2013; Kumari <i>et al.</i> , 2018)

2.2.3. *OPUNTIA FICUS-INDICA* (L.) MILL

A espécie *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., vulgarmente designada por figueira-da-índia, piteira ou palma forrageira (Figura 6), nativa do México (Manzur-Valdespino *et al.*, 2022), é a espécie de cato domesticada e difundida há mais tempo (vários séculos) em todo o mundo (Slimen *et al.*, 2020). Encontra-se fundamentalmente disseminada por regiões áridas e semiáridas da América Central e do Sul, Austrália, África do Sul e pela bacia do Mediterrâneo (Giraldo-Silva *et al.*, 2017) e pensa-se que tenha sido introduzida na Península Ibérica no final do século XV (Arba *et al.*, 2017). Os principais produtores e consumidores de figo-da-índia são o México e a Itália. Dos cerca de 590.000 hectares cultivados a nível mundial, 70% encontram-se no México que é, naturalmente, o país onde esta espécie tem maior grau de diversidade genética (Martins *et al.*, 2023). A Itália é o mais importante produtor da região mediterrânica, com 3,3% da área de produção mundial.



Figura 6. Figueira-da-índia (*Opuntia ficus-indica*).

A figueira-da-índia é uma planta xerófita pertencente à ordem *Caryophyllales*, família das cactáceas, género *Opuntia*. Esta família (cactaceae) inclui cerca de 2000 espécies pertencentes a 130 géneros (Rodrigues *et al.*, 2023). A sua adaptação a condições climáticas hostis, nomeadamente altas temperaturas e baixa disponibilidade de água (Giraldo-Silva *et al.*, 2023), resulta da particular capacidade de desenvolvimento de um metabolismo fotossintético

específico, designado por Metabolismo Ácido das Crassuláceas (*Crassulacean acid metabolism-CAM*) (Slimen *et al.*, 2020). Frutos, cladódios (caules carnudos em forma circular, elíptica, oboval ou rômbrica), flores e sementes podem destinar-se a múltiplas aplicações. Os seus aproveitamentos, tanto para nutrição humana e animal, como para o desenvolvimento de produtos cosméticos ou medicinais, são alguns dos exemplos mais descritos na literatura (Melgar *et al.*, 2017; Martins *et al.*, 2023). A secção seguinte descreve de forma resumida a constituição de alguns dos principais metabolitos integrantes da planta (primários e sobretudo, secundários).

2.2.4. PRINCIPAIS COMPOSTOS BIOATIVOS IDENTIFICADOS EM *OPUNTIA FICUS-INDICA* (L.) MILL

A figueira-da-índia é uma fonte considerável de compostos bioativos. Com efeito, esta espécie apresenta atividades biológicas relevantes (p.e., propriedades anti-inflamatórias, hipoglicémicas, antimicrobianas, etc.) devido ao elevado teor de antioxidantes (flavonoides, ascorbato), pigmentos (carotenoides, betalaínas) e ácidos fenólicos (ácidos benzóicos, fenilacéticos, cinâmicos) (Al-Naqeb *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021). Para além destes, outros componentes fitoquímicos (fitosteróis, saponinas e aminoácidos) estão presentes na planta e reforçam as suas propriedades biológicas e farmacológicas (Rasoulpour *et al.*, 2017).

2.2.4.1. Polifenóis

A figueira-da-índia é uma espécie rica em polifenóis, nomeadamente, flavonóides e ácidos fenólicos, que podem ser encontrados em maior quantidade (Pinto *et al.*, 2021). A fonte mais significativa de flavonóides nesta espécie é a flor. Assumem maior relevo neste grupo os glicosídeos de isorametina (Figura 7), quercetina e glicosídeos de canferol (Ouerghemmi *et al.*, 2017). Para além destes, as flores contêm outros compostos orgânicos, nomeadamente ácidos fenólicos, onde se destacam o ácido ferúlico, ácido *p*-cumárico, ácido rosmarínico e, sobretudo, ácido gálico (Shoukat *et al.*, 2023). Nos frutos em geral, predominam o canferol, a quercetina e a isorametina, cujas propriedades antioxidantes, antibacterianas e anti-inflamatórias lhes são reconhecidas (Tahir *et al.*, 2019). Na polpa em particular, o glicosídeo isorametina é encontrado numa quantidade significativa, quando comparado com outros flavonóides. A pele ou epicarpo do fruto apresenta igualmente concentrações substanciais de isorametina, à qual se juntam a quercetina e o canferol (Shoukat *et al.*, 2023). Nas sementes,

os taninos e derivados de feruloil prevalecem sobre todos os outros fenólicos presentes (Chougui *et al.*, 2013). Nos cladódios “jovens” e “médios” predominam o ácido *p*-hidroxibenzóico, ácido *p*-cumárico, ácido ferúlico, rutina e nicotiflorina. Estes metabolitos alteram o seu perfil à medida que aumenta o estado de maturação da planta (Figuroa-Pérez *et al.*, 2018).

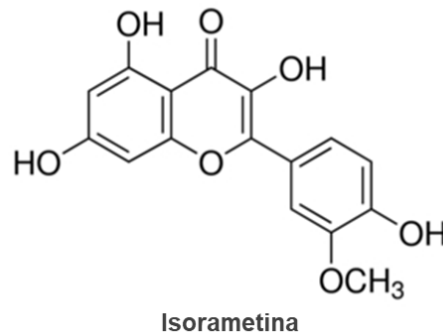


Figura 7. Estrutura química da isorametina.

2.2.4.2. Betalaínas

Os figos-da-índia são ricos em betalaínas, geralmente classificadas em dois grupos, as betacianinas e as betaxantinas (Figura 8), com base nas suas características estruturais e propriedades de absorção da luz (García-Cayuela *et al.*, 2019). As variações deste alcalóide nos frutos acabam por influenciar a cor dos mesmos (Daniloski *et al.*, 2022). Deste modo, as betacianinas são responsáveis pela coloração vermelho-púrpura e as betaxantinas pela coloração amarelo-alaranjada (García-Cayuela *et al.*, 2019). Nestes dois grupos são mais conhecidas a betanina e a indicaxantina, respetivamente (Azeredo, 2020). São uma fonte valiosa de corantes “naturais” e não sintéticos, (Khan *et al.*, 2020). Além disso, as betalaínas possuem estabilidade química e vários estudos mencionam também a sua potente atividade antioxidante que tem sido associada à proteção contra doenças degenerativas (Moussa-Ayoub *et al.*, 2016). Em termos gerais, as betalaínas são identificadas em quantidades mais elevadas na polpa e no pericarpo de *O. ficus-indica*. As betaxantinas são abundantes na polpa, enquanto as betacianinas, em particular a betanina, estão altamente disponíveis no pericarpo (Slimen *et al.*, 2020).

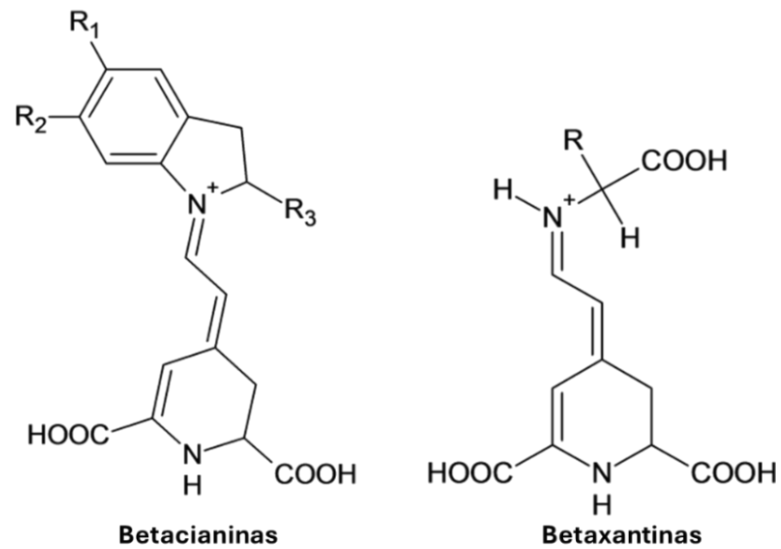


Figura 8. Estrutura química das betacianinas e das betaxantinas.

2.2.4.3. Carotenóides

Os figos-da-índia contêm quantidades substanciais de carotenóides, sobretudo, o pericarpo. No entanto, é nos cladódios que é encontrado o maior conteúdo de caroteno, independentemente da cultivar (de Wit *et al.*, 2019). A luteína, β -caroteno e β -criptoxantina são os carotenóides mais abundantes nos cladódios, especialmente quando estes se apresentam em estado fresco (Leopoldo *et al.*, 2012). Convém, por isso, realçar que o estágio de maturação dos cladódios tem um impacto profundo no teor de carotenóides (Slimen *et al.*, 2020). Em termos gerais, são vários os fatores que podem afetar a concentração de carotenóides na planta, tais como a localização geográfica, condições climáticas, época de colheita e cultivar (Kumar *et al.*, 2020).

2.2.4.4. Fitosteróis

Os fitosteróis são constituintes bioativos que estão presentes na figueira-da-índia e onde se incluem esteróis e estanois vegetais, como o campesterol, o sitosterol e o estigmasterol (Daniloski *et al.*, 2022). O β -sitosterol é descrito como o esteroide em maior abundância na polpa, pele e sementes (Slimen *et al.*, 2020). O campesterol é encontrado com maior predomínio no fruto (especialmente na pele) e sementes (Tahir *et al.*, 2019).

2.2.4.5. Saponinas

As saponinas (Figura 9) são glicosídeos que, segundo a literatura, apresentam um vasto espectro de atividades biológicas, onde se incluem as atividades antibacteriana, antifúngica, antiviral, anti-inflamatória, citotóxica e inseticida (Slimen *et al.*, 2020). Em *O. ficus-indica*, as saponinas são encontradas em quantidades mais elevadas nos cladódios (Figueroa-Pérez *et al.*, 2018), onde apresentam um perfil definido pela presença de sitosteril 3 β -D-glucopiranosídeo, estigmasteril 3 β -D-glucopiranosídeo e campesteril 3 β -D-glucopiranosídeo. Os cladódios mais jovens registam um teor mais elevado de saponinas. Apesar de se encontrarem em menor quantidade, as saponinas também se encontram na pele do fruto e sementes (Abdel *et al.*, 2020).

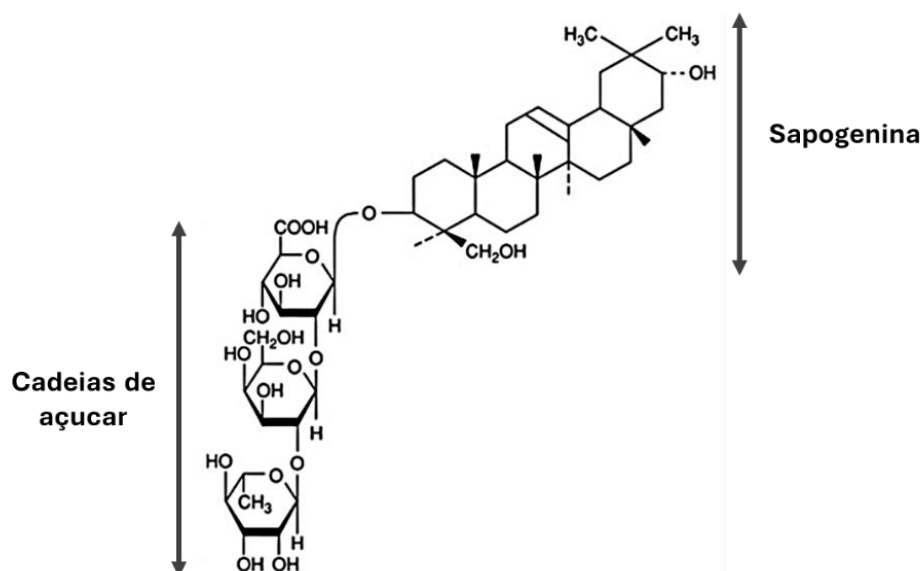


Figura 9. Estrutura básica das saponinas [adaptado de Slimen *et al.* (2020)].

2.2.4.6. Proteínas / aminoácidos

O teor de proteínas encontrado nas diferentes partes que compõem a figueira-da-índia apresenta valores variáveis e depende, entre outros, do grau de desenvolvimento da planta e da sua localização geográfica (Slimen *et al.*, 2016). As sementes e a polpa dos frutos são consideradas fontes vegetais sustentáveis de aminoácidos e proteínas. Em *O. ficus-indica*, a prolina é o aminoácido predominante e representa cerca de 46% do seu conteúdo. Nas sementes, o principal aminoácido encontrado é o ácido glutâmico, seguido pela arginina (Barba *et al.*, 2020). Os principais aminoácidos encontrados nos cladódios são a glutamina,

seguida da valina, lisina, arginina e leucina (Figura 10) (Figueroa-Pérez *et al.*, 2018). Os cladódios produzem também proteínas que se ligam a hidratos de carbono e que se designam por lectinas.

Um dos papéis destas proteínas é a defesa contra agentes patogênicos e insetos fitófagos (de Santana Souza *et al.*, 2018). Vários estudos (Paiva *et al.*, 2013; Macedo *et al.*, 2015; Camaroti *et al.*, 2017) relatam os efeitos entomotóxicos destas proteínas e o seu potencial na proteção das culturas. Na realidade, a ingestão de lectinas vegetais pode exercer efeitos deletérios sobre os insetos em todas as fases de desenvolvimento, o que interfere com a sobrevivência, alimentação, morfologia e desenvolvimento. Muitas das lectinas com efeito inseticida têm uma capacidade de ligação à quitina, o que lhes permite interagir com estruturas importantes do corpo do inseto (Macedo *et al.*, 2015). Além disso, as lectinas podem interferir com a fisiologia e com o comportamento do inseto (Moreira *et al.*, 2022).

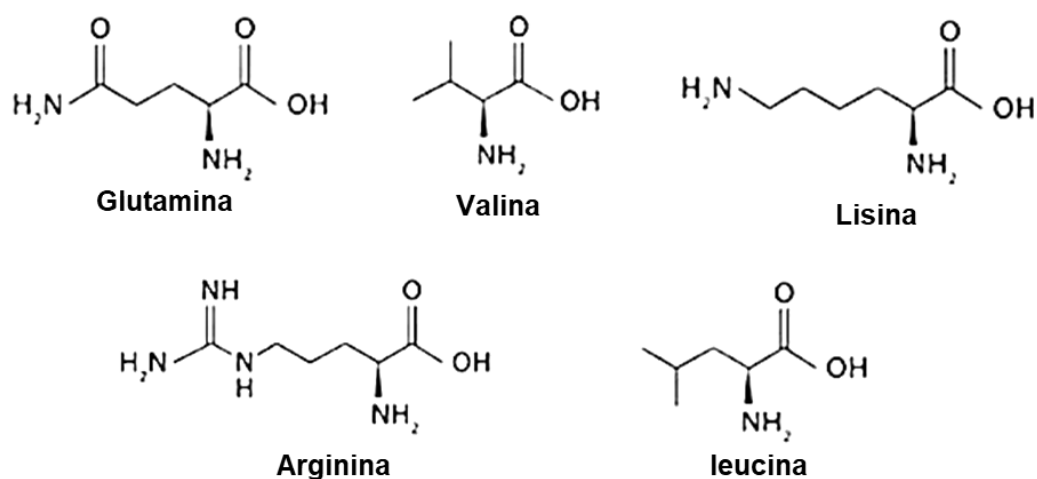


Figura 10. Estruturas químicas da glutamina, valina, lisina, arginina e leucina [adaptado de Moreira *et al.* (2022)].

No Quadro 4 são apresentados, de forma resumida, alguns dos compostos orgânicos identificados em *O. ficus-indica* com base em diversos estudos.

Quadro 4. Classes de compostos e compostos orgânicos identificados em diferentes partes da espécie *Opuntia ficus-indica*.

Classes de compostos	Compostos orgânicos	Elementos da planta	Referências
Fenólicos			
Flavonoides (flavonas, flavonóis, flavononas, bengalenósidos, antocianidinas)	Quercetina, canferol, canferol 3-O-glucósido, canferol 3-O-rutinosido, Isoquercetina, Isorhamnetina, Isorhamnetina-3-O-glucósido, Isorhamnetina 3-O-neohesperidosido, nicotiflorina, rutina, narcisina, nicotiflorina, catequina	Flor; pele e polpa do fruto; cladódios	(Amaya-Cruz <i>et al.</i> , 2019; Silva <i>et al.</i> , 2021; Bellumori <i>et al.</i> , 2023; Shoukat <i>et al.</i> , 2023)
Ácidos fenólicos	Ácido cumárico, ácido gálico, 3,4-dihidroxibenzóico, ácido ferúlico, antraquinonas, ácido salicílico	Cladódios; pele e polpa do fruto	(Silva <i>et al.</i> , 2021; Nova <i>et al.</i> , 2022; Bellumori <i>et al.</i> , 2023)
Cumarinas	Cumarina		
Terpenoides			
Triterpenóides e triterpenos pentacíclicos	Saponinas	Cladódios	(Nova <i>et al.</i> , 2022)
Carotenoides			
	Luteína, β -caroteno, β -criptoxantina e licopeno	Cladódios; pele do fruto	(Jaramillo-Flores <i>et al.</i> , 2003; Cano <i>et al.</i> , 2017)
Betalainas			
	Betaxantinas e betacianinas; Indicaxantina	Pele e polpa do fruto	(Cano <i>et al.</i> , 2017; Melgar <i>et al.</i> , 2017; García-Cayuela <i>et al.</i> , 2019)
Ácidos gordos			
	Ácido palmítico, ácido oleico, ácido linoleico, ácido linolénico e ácidos esteáricos	Sementes; cladódios	(Silva <i>et al.</i> , 2021; Guedes <i>et al.</i> , 2023)
Aminoácidos			
	Serina e prolina, ácido gama-aminobutírico, taurina, glutamina, arginina, leucina e tirosina	Fruto (polpa); cladódios; sementes	(Kolniak-Ostek <i>et al.</i> , 2020; Guedes <i>et al.</i> , 2023; Shoukat <i>et al.</i> , 2023)
Esteróis			
	β -sitosterol, campesterol; lanosterol; ergosterol	Sementes; pele e polpa do fruto; cladódios	(Ramadan <i>et al.</i> , 2003; Nova <i>et al.</i> , 2022; Shoukat <i>et al.</i> , 2023)

2.3. PHTHORIMAEA ABSOLUTA MEYRICK - TRAÇA-DO-TOMATEIRO

Phthorimaea absoluta Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) é um microlepidóptero da família Gelechiidae, vulgarmente conhecido por traça-do-tomateiro que, como a própria designação indica, origina enormes prejuízos na cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) em diferentes geografias do globo (Tarusikirwa *et al.*, 2020; Pandey *et al.*, 2023). Atualmente, a *P. absoluta* é considerada a principal restrição biótica na produção de tomate, quer em ambiente protegido (estufa), quer em campo aberto (Gözel *et al.*, 2020). Os níveis de perda de produção agrícola são elevados, especialmente quando não são implementadas estratégias de proteção (Colmenárez *et al.*, 2022). A introdução, estabelecimento e disseminação desta praga em novas latitudes tem sido facilitada pelo comércio internacional e pela capacidade de adaptação e desenvolvimento da espécie em diferentes agroecossistemas (Dervisoglou *et al.*, 2023).

2.3.1. ORIGENS E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA ATUAL

Originária da região dos Andes, no Peru, a *P. absoluta* foi descoberta pela primeira vez na região de Huancayo em 1917 (Araújo Soares *et al.*, 2022), antes de se propagar para os países da América Latina durante a década de 1960 (Campos *et al.*, 2017). Embora se trate de um inseto-praga endémico neotropical, cuja distribuição inicial se restringia à sua área de distribuição nativa, a sua área geográfica alargou com sucesso após introdução não intencional na bacia do Mediterrâneo (Marchioro *et al.*, 2016). Julga-se que terá sido introduzida a partir do Chile central (Rwomushana *et al.*, 2019). Foi detetada pela primeira vez em Espanha em 2006, na Comunidade Valenciana. Posteriormente, disseminou-se de forma rápida por toda a Europa (Desneux *et al.*, 2011).

Em Portugal, os primeiros registos desta espécie foram no Algarve e em estufas da região Oeste (Figueiredo *et al.*, 2010). Desde então, tem-se propagado para leste e sul, ao longo de ambientes biofísicos favoráveis. Acredita-se que, numa década, esta praga tenha aumentado, de 3% para 60%, os níveis de infestação das áreas cultivadas de tomate em todo o mundo (Tarusikirwa *et al.*, 2020) (Figura 11).

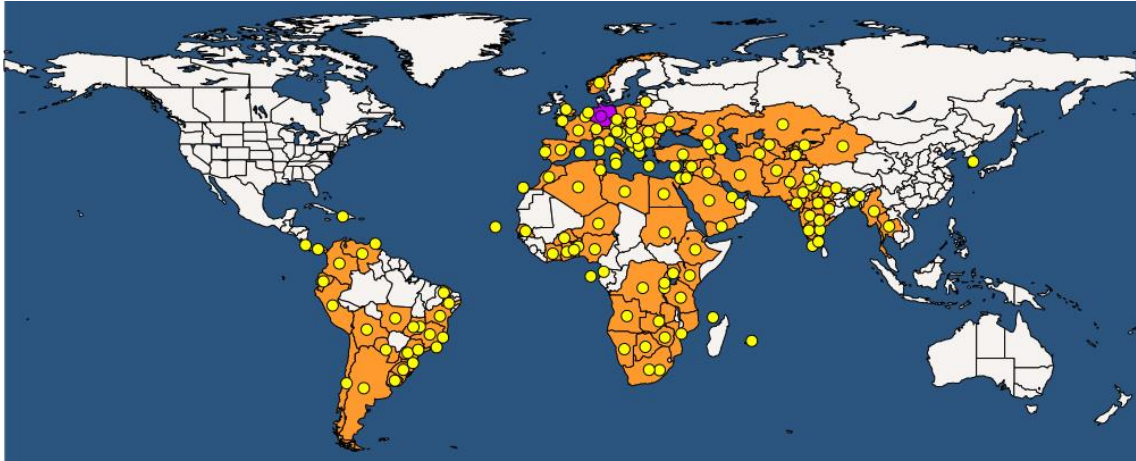


Figura 11. Mapa da atual distribuição geográfica de *P. absoluta* Fonte: EPPO Global Database (<https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB/distribution>) (acedido em novembro de 2024).

2.3.2. PLANTAS HOSPEDEIRAS DE *P. ABSOLUTA*

Apesar de o tomateiro ser o principal hospedeiro de *P. absoluta*, outras solanáceas podem servir de abrigo e alimento a este inseto, como é o caso das culturas da batata (*Solanum tuberosum* L.), beringela (*Solanum melongena* L.), pimento (*Capsicum annuum* L.) ou pepino doce (*Solanum muricatum* Aiton) (Matos *et al.*, 2011). Também a planta do tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) (Rwomushana *et al.*, 2019), bem como algumas ervas espontâneas, onde se incluem as espécies *Solanum nigrum* L. (erva-moura) e *Datura stramonium* L. (figueira-do-inferno) (Matos, 2020; Colmenárez *et al.*, 2022) foram identificadas como hospedeiras de *P. absoluta*.

A existência de diferentes hospedeiros permite que o inseto continue o seu ciclo de vida mesmo nas estações em que o tomate não é cultivado (Mohamed *et al.*, 2015). A adequação do inseto a estas plantas depende principalmente da sua preferência para oviposição e das necessidades nutricionais fornecidas pelas folhas durante a fase larvar (Cherif *et al.*, 2019). Estudos realizados por Smith *et al.* (2018) sugerem que a gestão de espécies de plantas espontâneas pode ser uma opção viável no controlo desta praga devastadora.

2.3.3. BIOLOGIA

P. absoluta é um inseto holometabólico (apresenta metamorfose completa) (Pandey *et al.*, 2023), cujo ciclo-de-vida decorre em quatro fases: ovo, larva, pupa e adulto (Figura 12). Cada fase está diretamente relacionada com a espécie da planta hospedeira e com fatores ambientais, nomeadamente a temperatura (Colmenárez *et al.*, 2022). Em função dessas

mesmas condições, o ciclo de vida deste inseto poderá completar-se num período que varia entre 29 e 38 dias, ainda que, em condições ótimas, seja plausível que o ciclo se complete em pouco mais que 20 dias (Matos, 2020). Estes ciclos traduzir-se-ão em 8 a 13 gerações por ano, mediante a sua localização geográfica. De realçar a grande capacidade de adaptação desta praga a um largo espectro de temperaturas (Mohamed *et al.*, 2015).

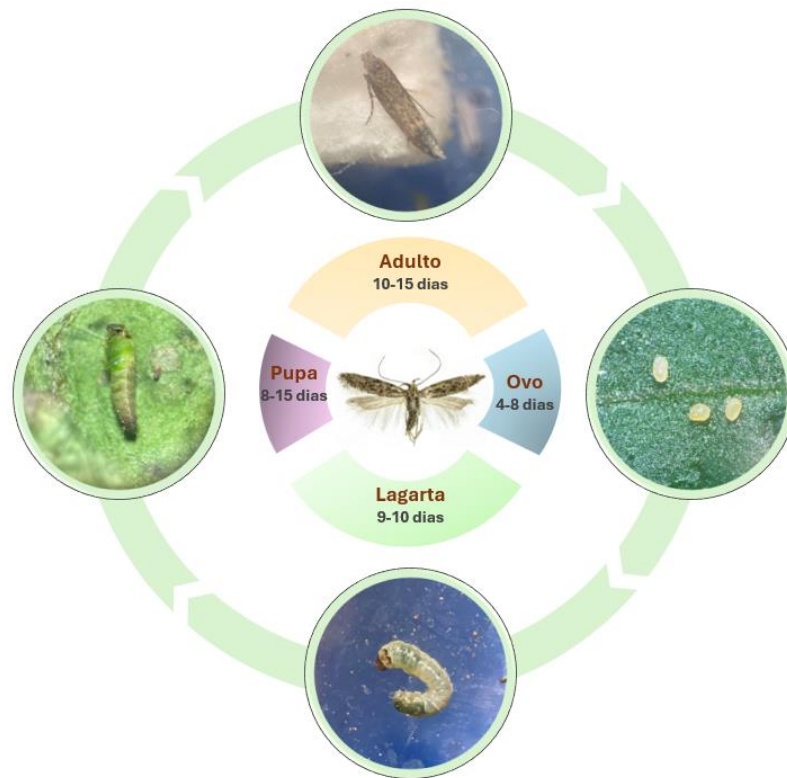


Figura 12. Ciclo de vida de *P. absoluta* [adaptado de Pandey *et al.* (2023)].

2.3.3.1. Ovos

Os ovos, de cor branca a amarela brilhante (Figura 13), têm forma elíptica e medem aproximadamente 0,35 mm de comprimento (Pandey *et al.*, 2023). São depositados individualmente na face inferior das folhas/folíolos do tomateiro, embora possam ser encontrados em qualquer outra secção da planta (El-Shafie *et al.*, 2017). Têm um tempo médio de incubação de quatro a oito dias, sempre dependente das variações climáticas, entre outros fatores. A fêmea deposita normalmente 250 a 300 ovos durante o seu ciclo (Colmenárez *et al.*, 2022).



Figura 13. Ovos de *P. absoluta*. Imagem obtida através de lupa estereoscópica.

2.3.3.2. Lagartas

Durante o seu desenvolvimento, as lagartas de *P. absoluta* passam por quatro instares larvares com tempo médio que varia entre 9 e 10 dias, a temperatura constante (25°C) e alternada (30/20°C), respetivamente (Silva *et al.*, 2015). No primeiro instar, a lagarta apresenta cor branca e cabeça castanho-escura, forma cilíndrica a ligeiramente achatada na região dorsiventral, e cinco pares de patas (Pandey *et al.*, 2023). Nesta fase, penetra na epiderme da folha para se alimentar do mesófilo, ação que resulta na produção de minas inter-laminares. À medida que as lagartas se alimentam, as minas irregulares unem-se gradualmente e formam galerias (Moussa *et al.*, 2013). Estas galerias encontram-se habitualmente ocupadas por lagartas e depósitos de excrementos perto da abertura externa (Son *et al.*, 2019). Após fortes infestações, as lesões visíveis nos folíolos da planta assemelham-se a queimaduras (Pandey *et al.*, 2023) - necrose foliar - que causam desfolha precoce e, conseqüentemente, redução da produção fotossintética.

As lagartas apresentam uma armadura bucal trituradora que lhes confere a capacidade de se alimentarem também de gomos, flores ou frutos. No entanto, a sua preferência incide sobre as folhas recém-emergentes. As lagartas de segundo instar têm uma forma semelhante à das lagartas de primeiro instar e atingem um comprimento de cerca de 3 mm. As lagartas de terceiro instar (Figura 14) são inicialmente cinzentas-esbranquiçadas, passam depois a verdes e, finalmente, brancas, ao atingirem cerca de 5 mm de comprimento (Colmenárez *et al.*, 2022).



Figura 14. Lagarta de terceiro instar de *P. absoluta*. Imagem obtida através de lupa estereoscópica.

Durante o quarto instar, as lagartas medem cerca de 8 mm de comprimento e apresentam uma mancha vermelha dorsal que se estende dos ocelos até à margem posterior (Vivekanandhan *et al.*, 2024). Estas lagartas penetram preferencialmente nos frutos, na extremidade do pedicelo, e desenvolvem túneis que resultam em deformações nos frutos e facilitam a entrada de agentes patogénicos que podem causar podridões e retirar todo o valor comercial aos frutos (Cocco *et al.*, 2015).

2.3.3.3. Pupa

A pupação ocorre sobretudo no solo, mas ocasionalmente em caules, folhas secas ou, muitas vezes, no interior das minas ou galerias formadas (Figura 15) (Batalla-Carrera *et al.*, 2010). Tipicamente obtusas (as pernas e as asas podem ser diferenciadas) e cilíndricas, com cerca de 5 mm de comprimento e 1,1 mm de diâmetro, as pupas são inicialmente verdes, após o que passam gradualmente a castanho-escuras. Encontram-se, na sua maioria, cobertas por casulos brancos e sedosos. A fase de pupa tem uma duração que habitualmente varia entre 8 e 15 dias (Colmenárez *et al.*, 2022).



Figura 15. Pupa de *P. absoluta*. Imagem obtida através de lupa estereoscópica.

2.3.3.4. Adulto

O adulto de *P. absoluta* (Figura 16) mede cerca de 5-7 mm de comprimento e apresenta uma cor acinzentada. Apresenta uma envergadura (com as asas abertas) de 8-10 mm, com manchas escuras nas asas anteriores. De hábito noturno, os adultos normalmente permanecem escondidos durante o dia. Distribuem-se entre as culturas através do voo. As fêmeas vivem de 10 a 15 dias, enquanto os machos vivem de 6 a 7 dias (Pandey *et al.*, 2023). A espécie pode atingir as 10-12 gerações por ano em virtude do seu elevado potencial reprodutivo (Garzia *et al.*, 2012).



Figura 16. Adulto de *P. absoluta* (sexo indiferenciado). Imagem obtida através de lupa estereoscópica.

2.3.5. DANOS E PERDAS DE RENDIMENTO EM CONSEQUÊNCIA DE ATAQUES DE *P. ABSOLUTA*

O hábito alimentar (endofágico) e o comportamento críptico da traça-do-tomateiro torna difícil a sua detecção no início do período de infestação (Colmenárez *et al.*, 2022). Os estragos causados por *P. absoluta* (Figura 17) atribuem-se à alimentação direta de partes da planta, como folhas, flores (cálice e corola), caules e frutos (imaturos e maduros), acompanhada de infecção secundária ocasionada pela invasão de agentes patogênicos a partir de feridas deixadas pelas lagartas (Shashank *et al.*, 2015). Todas as partes da planta são comestíveis para larvas de terceiro e quarto instar (Rwomushana *et al.*, 2019). Marcas de perfuração, forma irregular, orifícios de saída, apodrecimento, são todos sinais e sintomas comuns de danos causados por *P. absoluta*. Estes estragos afetam diretamente os agricultores, devido à redução da produção comercializável e, indiretamente, através de custos de produção elevados após ataque desta praga (Pandey *et al.*, 2023). Os danos nas folhas, por exemplo,

afetam negativamente a taxa fotossintética e resultam em perdas de produção que podem chegar aos 100% (Shiberu *et al.*, 2017).



Figura 17. Estragos no tomateiro resultantes de forte infestação por *P. absoluta*.

2.4. MACROLOPHUS PYGMAEUS (RAMBUR)

Na tentativa de verificar a existência de efeitos secundários (toxicidade) resultantes da aplicação dos extratos de *F. carica* e *O. ficus-indica* em insetos auxiliares, em particular, aqueles que contribuem para a limitação natural da *P. absoluta*, alargou-se o presente estudo a um heteróptero predador da família Miridae, *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Heteroptera: Miridae), altamente polífago, nativo da bacia mediterrânica (Sylla *et al.*, 2016) e considerado um dos principais inimigos naturais das pragas que afetam a cultura do tomateiro (Perdikis *et al.*, 2011), nomeadamente da *P. absoluta*.

Estes inimigos naturais, considerados organismos auxiliares, desempenham um papel fundamental na regulação natural de populações de insetos que causam prejuízos em determinadas culturas agrícolas (Backer *et al.*, 2014). O recurso a estes organismos, nomeadamente de diferentes espécies de mirídeos, tem crescido de forma significativa, em parte, devido à sua comercialização (Castañé *et al.*, 2012).

Os Miridae (Hemiptera: Heteroptera: Cimicomorpha) constituem uma das famílias de insetos com maior diversidade de espécies e estão presentes nas principais regiões biogeográficas do planeta, especialmente em ecossistemas tropicais e mediterrânicos (Santos, 2022). Estima-se que na Península Ibérica existam cerca de 500 espécies de mirídeos (Duarte, 2016), muitos deles omnívoros e predadores-chave em culturas hortícolas protegidas e de ar livre (Figueiredo *et al.*, 2012; Sanchez e Cassis 2018). Em Portugal, na região Oeste, tem-se verificado um aumento da sua utilização enquanto auxiliares nas culturas hortícolas protegidas para limitar populações de mosca branca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), larvas mineiras *Liriomyza* spp (Diptera: Agromyzidae) e, sobretudo, traça-do-tomateiro, *P. absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Duarte, 2016).

2.4.1. BIOLOGIA

Os mirídeos são insetos hemimetabólicos (apresentam metamorfose incompleta), cujo ciclo de vida compreende três fases distintas: ovo, ninfa e adulto. O ciclo de vida de *M. pygmaeus* (Figura 18) inicia-se com a postura do ovo, inserido parcialmente no tecido vegetal, seguido de cinco instares ninfais, cuja morfologia se aproxima progressivamente à do estado adulto - o estado alado (Duarte, 2016). As fêmeas depositam os ovos na região interna dos tecidos vegetais, apenas com o opérculo exposto, o que permite ao embrião desenvolver-se num ambiente de menor vulnerabilidade e, por conseguinte, que a eclosão da ninfa de primeiro instar ocorra com maior facilidade (Margaritopoulos *et al.*, 2016). A fertilidade dos mirídeos varia segundo a temperatura (que é muito reduzida a menos de 15°C e a mais de 40°C), hospedeiro e disponibilidade de alimento (Duarte, 2016).

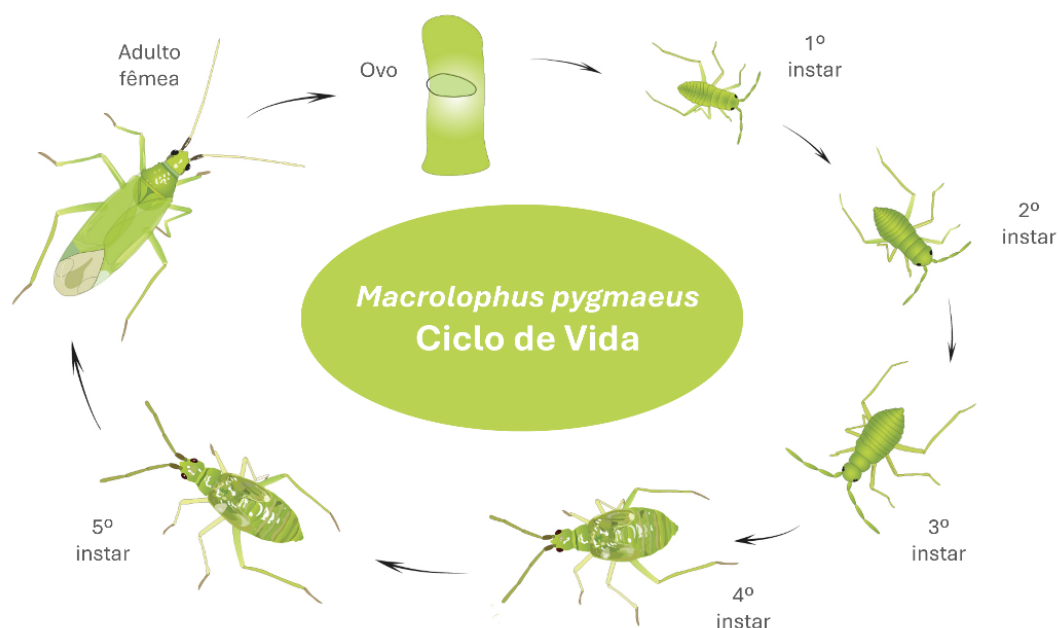


Figura 18. Ciclo de vida de *M. pygmaeus*. Fonte: BioBee.
(<https://www.biobee.com/solutions/biomacrolophus/#cdimportant>)

2.4.2. ASPETOS MORFOLÓGICOS

Em termos morfológicos, apesar das diferenças na dimensão, cor, ou pontuação no tegumento, as espécies da família Miridae apresentam características comuns: não possuem ocelos na cabeça e, quer o rostro, quer as antenas, possuem quatro artículos (Duarte, 2016). A sua dimensão pode variar entre 1 e 15 mm (Sanchez e Cassis, 2018). Os ovos possuem uma forma elipsóide, com uma ligeira curvatura e aspeto translúcido. As ninfas desenvolvem-se por cinco instares. Nos últimos instares são já observadas muitas semelhanças com o estado adulto, como por exemplo, os esboços alares, asas que não estão completamente formadas, que lhes impossibilita o voo (Cassis e Schuh, 2012). Os mirídeos adultos (Figura 19) possuem uma forma alongada, relativamente oval. A cabeça caracteriza-se por ter uma forma triangular com olhos de dimensão destacada. A armadura bucal, tanto das ninfas, como dos adultos, é picadora-sugadora (Perdikis et al., 2008) e as asas apresentam-se totalmente desenvolvidas (Duarte, 2016).



Figura 19. Mirídeo adulto (*M. pygmaeus*) de sexo indiferenciado. Imagem obtida através de lupa estereoscópica.

2.4.3. REGIME ALIMENTAR

M. pygmaeus possui um regime alimentar zoofitófago, um tipo especial de omnivoria, em que os indivíduos têm a capacidade de se alimentar quer de tecido vegetal, quer de um amplo espectro de artrópodes, tais como, ácaros, moscas brancas, pulgões, tripes e lepidópteros (principalmente ovos e larvas jovens) (Castañé *et al.*, 2011; Sanchez *et al.*, 2018). Esta espécie tem maior propensão para a zoofagia (quando se alimenta de insetos), embora exiba facultativamente a fitofagia (quando se alimenta de plantas) (Yiacoumi *et al.*, 2024) que assume um papel substancial na manutenção da sua sobrevivência nos períodos de maior escassez de insetos (presas) (Abraços-Duarte *et al.*, 2021). Isto origina alguma controvérsia quanto ao estatuto da espécie.

Enquanto insetos fitófagos, alimentam-se do mesófilo das folhas e dos tecidos dos caules, inflorescências e frutos, que são mais equilibrados em nutrientes do que o floema ou o xilema (Sanchez *et al.*, 2018). Nestas fases, os estragos que produzem são considerados irrelevantes em comparação com os benefícios que proporcionam em termos de controlo de pragas (Castañé *et al.*, 2011). No entanto, em alguns casos foram registados danos económicos em culturas de tomate (Moerkens *et al.*, 2016). Neste sentido, deverá agir-se de maneira diferenciada perante ambas as situações, isto é, devem os mirídeos ser protegidos quando se alimentam de pragas e intervêm favoravelmente relativamente à planta hospedeira e, em contrapartida, gerir as suas populações para que minimizem os aspetos negativos do seu carácter fitófago (Duarte *et al.*, 2016; Moerkens *et al.*, 2016).

2.4.4. OCORRÊNCIA NATURAL DE *M. PYGMAEUS* EM CAMPOS ABERTOS E COLONIZAÇÃO DE ESTUFAS

Durante os meses de inverno, *M. pygmaeus* pode colonizar diversas plantas, das quais se destacam as espécies *Amaranthus blitum* L., *Artemisia vulgaris* L., *Cistus creticus* L., *Datura stramonium* L., *Dimorphotheca aurantiaca* DC., *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter ou *Parietaria officinalis* L. (Backer *et al.*, 2014). É, ainda, abundante em *Solanum nigrum* L., uma das suas principais hospedeiras nesta fase (Ingegno *et al.*, 2011). Na primavera, o inseto abandona estas espécies para colonizar culturas hortícolas (Backer *et al.*, 2014). Assim, para além do tomateiro, ocorre espontaneamente nas culturas da beringela, batata, pimento e feijão (Urbaneja *et al.*, 2009).

M. pygmaeus tem sido predominantemente utilizado, nas últimas três décadas (Moerkens *et al.*, 2016), em programas de proteção biológica complementar de *P. absoluta* (Meyrick) (Urbaneja *et al.*, 2009) e outras pragas importantes, onde se incluem: moscas brancas, por exemplo, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) e *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae); tripes, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae); afídeos, *Myzus persicae* (Sulzer); e ácaros, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (Sylla *et al.*, 2016).

3. OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho insere-se no âmbito do curso de Mestrado em Engenharia Agricultura, da Escola Superior Agrária de Viseu, e tem por objetivo a avaliação do potencial bioativo de extratos botânicos de figueira e figueira-da-índia, com foco no seu efeito inseticida, para o possível desenvolvimento de uma alternativa ecológica aos métodos tradicionais de proteção das culturas, que visam minimizar os prejuízos causados por populações de artrópodes em determinadas culturas agrícolas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A experimentação efetuada no âmbito desta dissertação decorreu nas instalações da ESAV, georreferenciada pelas coordenadas de Lat. 40°38'20.3"N e Long. 7°54'38.5"W, no período compreendido entre os meses de abril e julho de 2024.

4.1. RECOLHA DO MATERIAL VEGETAL

A colheita de amostras, quer de folhas de figueira (cultivar “Pingo de Mel”), quer de cladódios de figueira-da-índia, ocorreu em junho e agosto de 2023, respetivamente. As folhas de figueira foram colhidas aleatoriamente numa exploração dedicada à produção e comercialização de figos (Rosagro Lda.), localizada em A-do-Freire (Lat. 39°31'52.6"N; Long. 8°34'23.0"W), Torres Novas (Figura 20A). Os cladódios de figueira-da-índia foram recolhidos numa parcela da “Pepe Aromas”, exploração que produz e comercializa figo-da-índia e se encontra sedada em Vale do Pereiro (Lat. 38°44'19.9"N; Long. 7°48'52.2"W), distrito de Évora (Figura 20B).

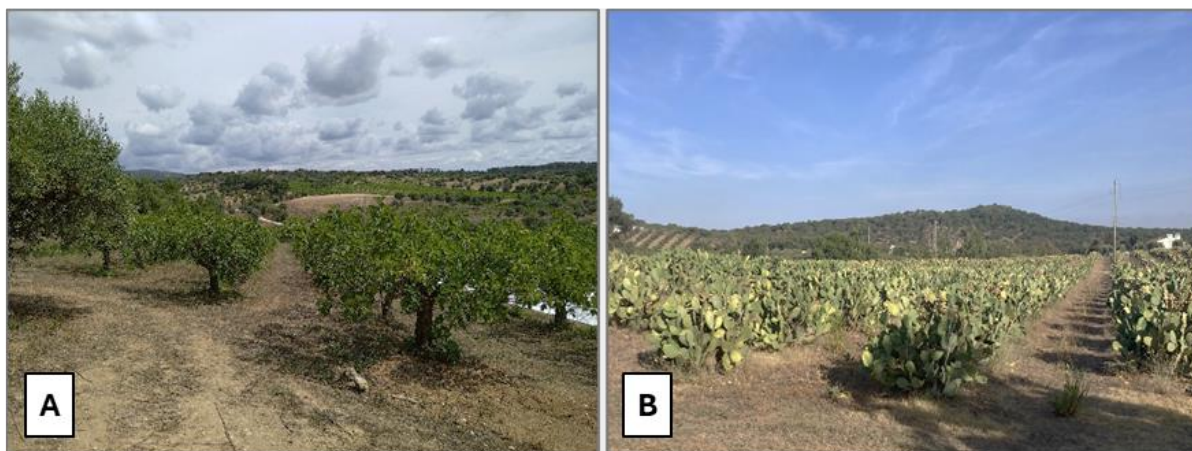


Figura 20. Exploração de figos, localizada em A-do-Freire, Torres Novas (A); exploração de figos-da-índia, localizada em Vale do Pereiro, Évora (B).

O material vegetal foi devidamente acondicionado e encaminhado para o Laboratório de Química da ESAV, no dia da colheita de campo, efetuada nos meses de junho e agosto de 2023. As folhas (Figura 21A) foram sujeitas a triagem visual, para eliminar aquelas que, eventualmente, apresentassem algum registo de contaminação por fungos, degradação causada por insetos, entre outros. O mesmo processo foi seguido para os cladódios (Figura 21B) que, além disso, foram posteriormente fracionados em pedaços de menor dimensão.



Figura 21. Folhas de figueira (A); cladódios de figueira-da-índia (B).

Após pesagem, (Figura 22) o material foi liofilizado, com o intuito de se preservar a sua composição química.



Figura 22. Folhas de figueira liofilizadas (A); cladódios de figueira-da-índia liofilizados (B).

4.2. PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS

Após liofilização, as folhas de *F. carica* foram pulverizadas num moinho e submetidas ao processo de extração à temperatura ambiente. O solvente utilizado foi o etanol (EtOH), por ser considerado seguro, do ponto de vista toxicológico, e por evitar a deterioração de vários compostos bioativos (Geow *et al.*, 2021; Bitwell *et al.*, 2023).

Foram preparados dois extratos etanólicos pela adição de 100 mL de EtOH 70% ou 100 mL de EtOH 96% a 10 g de folhas convertidas em pó (extratos EF01 e EF02, respectivamente). Estes elementos foram subsequentemente agitados a 300 rpm durante 1 hora à temperatura ambiente. O extrato resultante foi duas vezes filtrado, em primeiro lugar, com um filtro Whatman nº1 para remover as partículas de maior dimensão e, em seguida, com um filtro G4, para maximizar a capacidade de retenção de partículas menores. O passo seguinte consistiu na completa remoção do solvente orgânico a uma temperatura de 40 °C, sob pressão reduzida (evaporador de vácuo rotativo), para ser depois ressuspensionado em água. O extrato foi colocado no frigorífico a -20°C.

Os cladódios liofilizados foram, de igual forma, triturados e submetidos a dois métodos de extração. O primeiro método, do qual resultou o extrato EC03, foi desenvolvido de acordo com o mesmo procedimento seguido para o extrato EF01. O extrato EC04 foi preparado de acordo com a metodologia seguida por Santana *et al.* (2009), em que se adicionaram 50 mL de NaCl 0,15M a 10 g de cladódios convertidos em pó e agitados a 300 rpm durante 16 horas à temperatura ambiente. O extrato resultante foi centrifugado a 4000 rpm e o sobrenadante foi recolhido. Os passos seguintes foram os mesmos que os aplicados aos extratos anteriores. O Quadro 5 apresenta, de forma resumida, o tipo de extratos desenvolvidos (Figura 23).

Quadro 5. Tipo de extratos preparados com folhas de *Ficus carica* e cladódios de *O. ficus-indica*.

Extrato (ID)	Material vegetal	Solvente
EF01	10 g de folhas em pó	70% EtOH 100 mL
EF02	10 g de folhas em pó	96% EtOH 100 mL
EC03	10 g de cladódios em pó	70% EtOH 100 mL
EC04	10 g de cladódios em pó	NaCl 0,15M 50 mL



Figura 23. Amostras dos extratos aplicados sobre os insetos objeto estudo.

4.3. ANÁLISE FITOQUÍMICA

4.3.1. QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Os compostos fenólicos totais (CFT) das amostras foram determinados por ensaio espectrofotométrico, de acordo com o método de Folin-Ciocalteu e de acordo com o procedimento previamente estabelecido (Ferreira *et al.*, 2002). Foi estabelecida uma linha de calibração com ácido gálico (AG), com concentrações que variaram de 0,025 mg/mL a 0,250 mg/mL. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por g de amostra (mg EAG/g).

4.3.2. CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

Neste estudo, foram aplicados dois métodos para avaliar a capacidade antioxidante das amostras de folhas de *F. carica* e de cladódios de *Opuntia ficus-indica*. A análise baseou-se em ensaios de eliminação de radicais com 1,1-difenil-2-picril-hidrazil (DPPH) ou ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolona-6-sulfônico) (ABTS) de acordo com procedimento descrito por Henriques *et al.*, 2025. A curva de calibração foi estabelecida com soluções diluídas de Trolox (Tx), cujas concentrações variaram de 0,005 a 0,200 mg/mL. Os resultados foram expressos em mmol de equivalentes de Tx (TE) por 100 g de amostra (mmol TE/100g).

4.4. CRIAÇÃO DOS INSETOS

4.4.1. *P. ABSOLUTA* L.

Antes de se iniciar o processo de manutenção e reprodução da colônia de *P. absoluta* no laboratório, foram adquiridas, num estabelecimento comercial, mudas de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* cv. cerasiforme), transplantadas para vasos individuais de 2,5 L com substrato universal (0,8% de azoto, 0,6% de fósforo, 0,8% de potássio) na estufa do Departamento de Ecologia e Agricultura Sustentável (Figura 24A), situada na quinta da Alagoa (ESAV). Os tomateiros foram regados duas vezes por semana e mantidos sob condições de temperatura, humidade e luz naturais. Nenhum pesticida foi usado em qualquer cultura estabelecida na estufa. As plantas foram deixadas próximas de um pequeno talhão infestado por *P. absoluta* com a finalidade de se promover a migração de alguns insetos para os novos tomateiros (Figura 24B). Quando estes atingiram, aproximadamente, 80 cm de altura, selecionaram-se as plantas que apresentaram os sinais mais evidentes de contaminação por *P. absoluta* e, em seguida, foram deslocadas para o laboratório, de modo a dar-se continuidade ao processo de reprodução da espécie. Para tal, colocaram-se seis plantas no interior de uma gaiola de criação, de dimensão 60 x 60 x 90 cm e malha de 250 µm (Entomopraxis, S.C.P., Barcelona, Espanha) (Figura 24C).



Figura 24. Mudas de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* cv. cerasiforme) em vasos individuais (A); os mesmos tomateiros algumas semanas depois (B); os tomateiros deslocados e colocados no interior de uma gaiola de criação (C).

Novas mudas foram adquiridas e transplantadas para vasos de 1,5 L (Figura 25A), sob as mesmas condições laboratoriais, para assegurar a substituição das plantas, cujo nível de estragos provocados pelo inseto fitófago impossibilitariam a sua manutenção (Figura 25B). Além disso, os novos tomateiros serviram também de base para a produção de folíolos não infestados, passíveis de serem utilizados nos ensaios direcionados à *P. absoluta*.

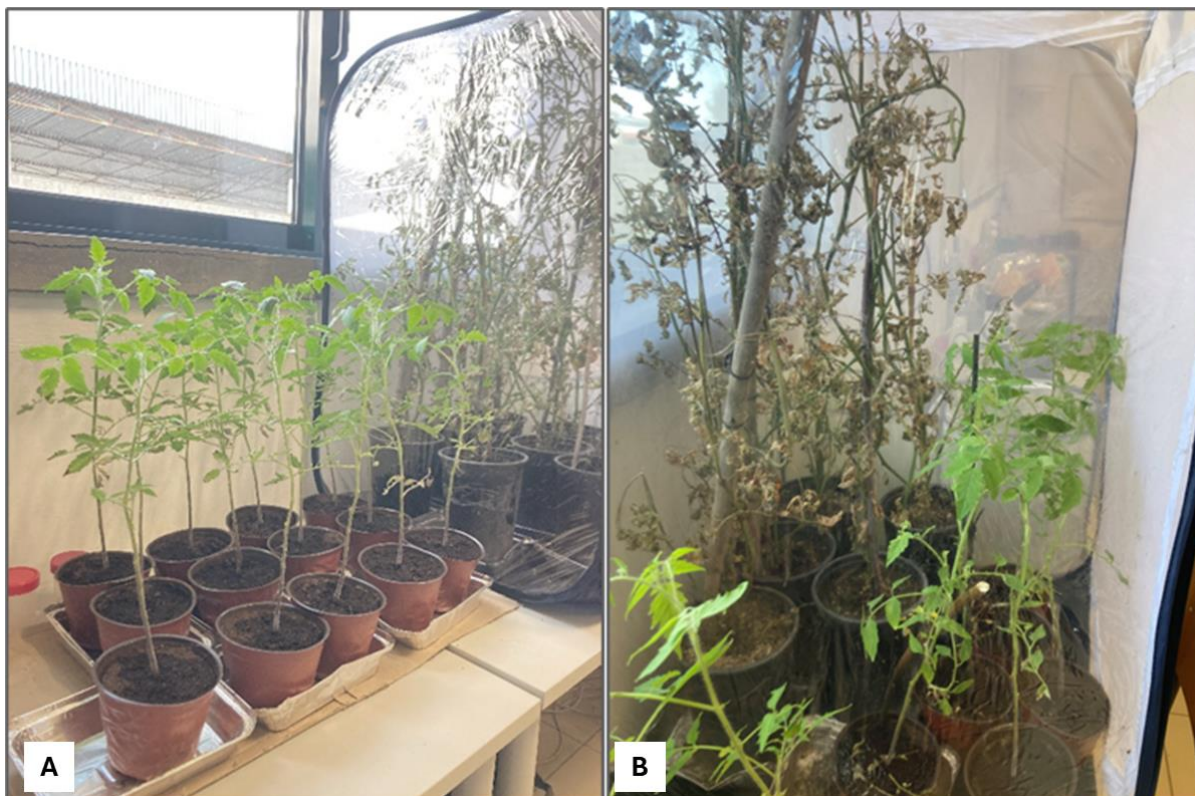


Figura 25. Novas mudas de tomateiro em vasos de 1,5 L (A); plantas fortemente afetadas por *P. absoluta*, prontas para serem substituídas por novas mudas de tomateiros (B).

4.4.2. *M. PYGMAEUS*

As plantas e os insetos utilizados nesta fase do trabalho foram generosamente cedidos(as) pelo Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas, secção de Proteção de Plantas, do Instituto Superior de Agronomia (ISA). Os espécimes provieram de uma população estabelecida para criação na Tapada da Ajuda, Lisboa, 38°42'45.8" N 9°11'02.8" W.

O processo de reprodução dos indivíduos, realizado no laboratório (ESAV), dispôs de duas plantas da espécie *Nicotiana tabacum* L. (planta do tabaco), para assegurar a manutenção e reprodução dos insetos. As plantas foram colocadas separadamente no interior de gaiolas de criação em malha de 250 µm e 30x30x30 cm de dimensão (Entomopraxis S.C.P., Barcelona, Espanha) (Figura 26A). Os indivíduos foram alimentados com uma mistura de ovos de *Ephestia*

kuehniella Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) e cistos de *Artemia* sp. (Anostraca: Artemiidae) (Entofood®, Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, Países Baixos) como presa artificial, que foram depositados nas folhas das plantas (Figura 26B). As plantas de tabaco foram regadas duas vezes por semana. As condições de temperatura, humidade e luz, em que os insetos se desenvolveram, foram as mesmas condições ambientais acima descritas para *P. absoluta*.



Figura 26. Plantas da espécie *Nicotiana tabacum* colocadas no interior das gaiolas de criação (A); mistura de ovos de *Ephestia kuehniella* Zeller e cistos de *Artemia* depositados nas folhas das plantas (B).

4.5. BIOENSAIOS

4.5.1. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS EXTRATOS SOBRE *PHTHORIMAEA ABSOLUTA* EM FOLÍOLOS DE TOMATEIRO

O ensaio de exposição das lagartas de *P. absoluta* aos quatro extratos obtidos foi realizado de acordo com o Protocolo do Insecticide Resistance Action Committee, designado por IRAC Susceptibility Test Method 022, Version 03, com adaptações. Adicionalmente, utilizou-se, com modificações, a metodologia descrita por Esther *et al.* (2019).

Os folíolos infestados por *P. absoluta* apresentam sintomas que se caracterizam pela existência de uma ou mais secções irregulares (galerias) com dimensão variada (aumentam em função das diferentes transformações ao longo do desenvolvimento do inseto) e ausência de mesófilo, mas com epiderme intacta (Figura 27A). Assim, os folíolos constituídos por galerias com potencial para poder conter lagartas de tamanho ideal foram colhidos à medida que os tratamentos se desenrolaram. As lagartas de *P. absoluta* foram visualizadas com maior rigor através de uma lupa binocular estereoscópica e, com um pincel fino e macio, forçadas a

mover-se das galerias formadas no parênquima foliar para o seu exterior (Figura 27B). Cada lagarta foi cuidadosamente transferida para uma placa de Petri, imediatamente fechada, para prevenir eventuais fugas.



Figura 27. Galerias formadas por lagartas da traça-do-tomateiro no parênquima foliar das plantas (A); lagarta forçada a mover-se da galeria para o seu exterior com auxílio de um pincel (B).

Folíolos frescos provenientes dos novos tomateiros (var. “*coração de boi*”), isentos de contaminação, foram, de acordo com o método de imersão foliar (Rasouli *et al.*, 2004), mergulhados durante 10 segundos em 20 mL de extrato (Figura 28A), e colocados em papel absorvente para drenar o excesso de solução, após o que foram depois transferidos para a base de uma placa de Petri (9 cm de diâmetro) ocupada com um disco de papel de filtro Whatman Nº 1 (www.whatman.com) humedecido com 0,2 ml de água destilada para manter o material foliar túrgido durante o período do tratamento. Para além dos quatro extratos, um grupo de controlo negativo, o CTL(-), foi tratado apenas com água destilada. Em cada folíolo foram depositadas oito lagartas de terceiro instar ($4,75 \pm 1,3$ mm) de *P. absoluta* (Figura 28B), de forma a promover-se o contacto e a ingestão do extrato botânico. Cada tratamento foi repetido 5 vezes. As placas de Petri foram seladas com parafilme e mantidas em condições de temperatura e humidade ambiente, com fotoperíodo de 15:9 horas (luz:escuridão) (Figura 28C). O número de lagartas consideradas mortas perante a incapacidade de resposta ao estímulo provocado com um pincel ou pinça (Figura 28D) foi contado e registado às 24, 48 e 72 horas após a aplicação dos tratamentos. O mesmo procedimento foi realizado no grupo de controlo. Como a mortalidade dos insetos verificada no controlo foi $\geq 5\%$ e $\leq 20\%$, a

mortalidade observada nos tratamentos foi corrigida através da fórmula de Abbott (WHO, 2023), segundo a qual, a percentagem corrigida de mortalidade é dada por:

$$\text{Mortalidade corrigida (\%)} = \frac{P - P_0}{100 - P_0} \times 100$$

em que P é a percentagem de mortalidade dos insetos tratados e P_0 é a percentagem de mortalidade dos insetos no controlo.

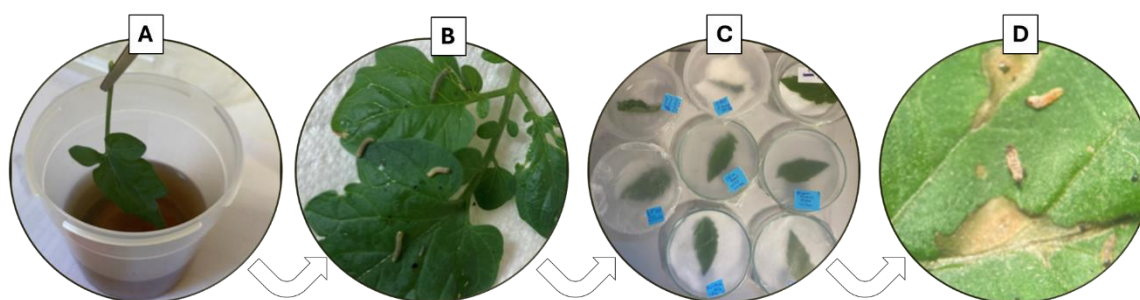


Figura 28. Imersão de folíolo em extrato (A); infestação de folíolo com lagartas de terceiro instar de *P. absoluta* (B); placas de Petri seladas e mantidas em condições de temperatura e humidade ambiente (C); lagartas consideradas mortas, sem resposta ao estímulo (D).

4.6. AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO EFEITO DOS EXTRATOS EM ORGANISMOS NÃO ALVO

4.6.1. *M. PYGMAEUS* - EXPOSIÇÃO À SUPERFÍCIE CONTAMINADA

A exposição dos insetos aos extratos desenvolvidos seguiu a metodologia proposta por Santos *et al.* (2018), com adaptações. Por conseguinte, adultos de *M. pygmaeus* foram identificados e capturados individualmente no interior das gaiolas de criação. Cada indivíduo foi, com o auxílio de um pincel fino, pacientemente introduzido num boião plástico transparente e, imediatamente a seguir, transferido para um frasco de amostras (50 ml) (Figura 29) até se atingir o número desejável de insetos para iniciar o teste. Na superfície inferior de uma placa de Petri (9 cm de diâmetro) foi colocado um disco de papel de filtro Whatman No. 1 (www.whatman.com), homogeneamente humedecido com 1,5 ml de extrato botânico. Este processo foi realizado com cada um dos quatro extratos. Um controlo negativo foi adicionalmente realizado com água destilada. Para cada tratamento, seis indivíduos adultos de *M. pygmaeus*, sem diferenciação sexual efetuada, foram transferidos dos frascos de amostras para as placas de Petri, e expostos ao contacto direto com a superfície impregnada com o extrato. Para cada tratamento foram realizadas 5 repetições. As placas de Petri foram

imediatamente seladas com parafilme e mantidas sob as mesmas condições ambientais (temperatura e humidade) descritas anteriormente e com fotoperíodo de 15:9 horas (luz:escuridão). Após 24 e 48 horas de exposição, a taxa de sobrevivência ao contacto com o extrato foi quantificada em função do número de insetos que, em cada repetição, manifestaram capacidade de resposta ao estímulo provocado com um pincel ou pinça. O mesmo procedimento foi realizado no grupo de controlo.



Figura 29. Mirídeos adultos (*M. pygmaeus*) capturados e colocados em placas de Petri.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após realização dos ensaios testou-se a normalidade dos dados (teste de Shapiro-Wilk para amostras de dimensão inferior a 50) relativos ao número de lagartas de *P. absoluta* consideradas mortas e ao número de adultos mirídeos *M. pygmaeus* que permaneceram vivos. Contudo, como os dados não atingiram a normalidade, os mesmos foram submetidos aos critérios de assimetria (skewness) da distribuição. De acordo com Kim (2013), uma distribuição normal é caracterizada por uma assimetria de valor igual a zero, pelo que a normalidade é considerada aceitável se o coeficiente de assimetria (z) se situar num intervalo que varie entre, aproximadamente, -2 e 2. Para tal, o valor de z obteve-se pela divisão do valor da assimetria pelo respetivo erro-padrão, que é dado pela seguinte expressão:

$$Z = \frac{Skewness}{EPskewness}$$

Deste modo, a análise estatística dos resultados consistiu, posteriormente, na comparação do número médio de mortes de lagartas por repetição dos diferentes tratamentos em estudo, através da análise de variância a um fator e com um nível de significância de 0,05; e a comparação múltipla das médias através do teste H.S.D. de Tukey também com um nível de significância de 0,05. A análise estatística foi realizada através do pacote de software estatístico IBM SPSS versão 28 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. RENDIMENTO DOS EXTRATOS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

O rendimento dos extratos pode ser observado no Quadro 6. No processo de extração das folhas de *F. carica*, a maior percentagem de rendimento foi obtida para o extrato etanólico a 70% (EF01), com 11,92%. Já para o extrato etanólico a 96% (EF02), o rendimento foi de 3,22%. Relativamente aos extratos formulados a partir de cladódios de *O. ficus-indica*, o rendimento mais elevado foi conseguido pelo extrato de NaCl 0,15M (EC04), com 25,73%, enquanto o extrato etanólico (EC03) obteve um rendimento de 11,14%. Qodriah *et al.* (2023) estudaram o processo de extração das folhas de *F. carica* com diferentes percentagens de etanol e verificaram que quanto maior a percentagem de etanol utilizada, maior o rendimento do processo de extração.

Em relação aos compostos fenólicos totais (CFT), a tendência verificada é semelhante aos resultados obtidos para o rendimento, neste caso, expresso em equivalente de ácido gálico (GAE) por g de massa seca. Nas folhas de figueira, o extrato etanólico a 70% EF01 ($7,2 \pm 0,6$ mg GAE/g) apresentou valores próximos dos obtidos por Konyaluoğlu *et al.* (2005) e por Abdel-Rahman *et al.* (2021), com 3,8 mg GAE/g e 4,5 mg GAE/g, respetivamente, sob condições idênticas de extração. O extrato EF01 apresentou também o teor mais elevado de compostos fenólicos em comparação com o extrato a 96%. Nos cladódios foi o extrato de NaCl EC04 ($51,8 \pm 2,4$ mg GAE/g) que apresentou o teor mais elevado em compostos fenólicos em relação ao extrato etanólico a 70%.

Quadro 6. Compostos fenólicos totais (mg GAE / g de massa seca) para os 4 diferentes extratos (EF01, EF02, EC03, EC04).

Extratos	Rendimento (%)	Compostos Fenólicos Totais (mg GAE / g massa seca)
EF01	11,92	$7,2 \pm 0,6$
EF02	3,22	$1,8 \pm 0,1$
EC03	11,14	$12,7 \pm 0,7$
EC04	25,73	$51,8 \pm 2,4$

Os dados foram representados como média \pm desvio padrão das três réplicas de cada extrato. EF01: Extrato de folhas de *F. carica* 70% EtOH ; EF02: Extrato de folhas de *F. carica* 96% EtOH ; EC03: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* 70% EtOH ; EC04: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* NaCl 0.15M.

5.2. CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

Neste estudo selecionaram-se os métodos DPPH e ABTS por serem amplamente utilizados na investigação das propriedades biológicas de compostos bioativos, em particular pela simplicidade, rapidez, sensibilidade, reprodutibilidade e aplicabilidade a diversas tipologias de compostos tanto hidrofílicos quanto lipofílicos. Os resultados da capacidade antioxidante determinada pelos métodos de ABTS e DPPH são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7. Capacidade antioxidante dos quatro extratos (média ± DP) analisados por ABTS e DPPH.

	EF01	EF02	EC03	EC04
ABTS (g TE / 100 g massa seca)	2,27 ± 0,84	5,00 ± 0,62	1,44 ± 1,09	0,92 ± 0,46
DPPH (g TE / 100 g massa seca)	1,86 ± 0,62	3,70 ± 0,80	0,86 ± 0,94	0,43 ± 0,22

Os dados foram representados como média ± desvio padrão das três réplicas de cada extrato. EF01: Extrato de folhas de *F. carica* 70% EtOH ; EF02: Extrato de folhas de *F. carica* 96% EtOH ; EC03: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* 70% EtOH ; EC04: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* NaCl 0.15M .

De acordo com os resultados expressos nos Quadros 6 e 7, o extrato etanólico a 70% (EF01) apresentou maior teor de compostos fenólicos e menor atividade antioxidante comparado com o extrato EF02. No entanto, os resultados obtidos para a atividade antioxidante não estão de acordo com os mesmos alcançados por Qodriah *et al.* (2023) que, ao prepararem e analisarem três extratos etanólicos de folha de figueira (*Ficus carica* L.) a 50%, 70% e 96%, observaram uma maior capacidade antioxidante no extrato etanólico a 50% e identificaram o canferol, um flavonol pertencente à classe dos flavonóides, como o seu principal responsável. Para os cladódios, o maior teor de compostos fenólicos foi obtido na formulação salina. A variação da atividade antioxidante entre extratos revelou-se baixa.

5.3. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS EXTRATOS VEGETAIS DE *F. CARICA* E *O. FICUS-INDICA* EM *P. ABSOLUTA*

Avaliou-se o efeito dos 4 extratos vegetais formulados a partir de folhas de *F. carica* e cladódios de figueira-da-índia na concentração (v/v) de 10% sobre lagartas de terceiro instar da espécie lepidóptera *P. absoluta*, colocadas em folíolos de tomateiro previamente imersos

nas preparações. O registo do número de indivíduos vivos e mortos, por cada repetição, é apresentado no quadro seguinte (Quadro 8).

Quadro 8. Número de lagartas vivas (v) e mortas (m) de *Phthorimaea absoluta*, por repetição e por tratamento, após 24, 48 e 72 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada.

Repetição	Extratos												Controlo negativo		
	EF01			EF02			EC03			EC04					
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m	v m
R01	7 1	7 1	7 1	8 0	6 2	6 2	7 1	6 2	6 2	8 0	8 0	8 0	8 0	7 1	7 1
R02	5 3	4 4	4 4	6 2	6 2	6 2	7 1	7 1	7 1	7 1	7 1	7 1	8 0	8 0	8 0
R03	7 1	7 1	6 2	8 0	8 0	7 1	8 0	8 0	7 1	7 1	6 2	6 2	7 1	7 1	6 2
R04	7 1	5 3	5 3	6 2	6 2	5 3	8 0	7 1	6 2	7 1	7 1	6 2	8 0	8 0	7 1
R05	5 3	5 3	4 4	7 1	7 1	7 1	7 1	7 1	7 1	8 0	7 1	7 1	8 0	8 0	8 0
Total	31 9	28 12	26 14	35 5	33 7	31 9	37 3	35 5	33 7	27 3	35 5	34 6	39 1	38 2	36 4

EF01: Extrato de folhas de *F. carica* 70% EtOH; EF02: Extrato de folhas de *F. carica* 96% EtOH; EC03: Extrato de cladódios de *O. ficus-índica* 70% EtOH; EC04: Extrato de cladódios de *O. ficus-índica* NaCl 0,15M.

Na primeira observação, 24 horas após exposição por contacto e ingestão ao extrato etanólico EF01 (*F. carica* 70% EtOH), a percentagem de lagartas de terceiro instar mortas (Quadro 9), correspondeu, em média, a 22,5% (Figura 30). Não foram, neste período, estabelecidas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre EF01 e os extratos EF02, EC03 e EC04, relativamente ao efeito letal de cada extrato sobre os insetos, no entanto, o número de indivíduos mortos verificado em EF01 foi significativamente superior ($p=0,028$) ao do CTL (controlo com água destilada) (Anexo 1; Tabela 5).

Ao fim de 48 horas, a percentagem de lagartas mortas aumentou de 22,5% para 29,9% e, similarmente ao período de observação anterior, não foram aferidas diferenças significativas entre EF01 e os restantes extratos ($p > 0,05$). Pelo contrário, a taxa de mortalidade dos insetos diferiu significativamente ($p=0,015$) quando comparada com o controlo CTL. No último dia de observação (72 horas), a taxa de mortalidade foi de 34,9%. A ausência de diferenças significativas entre EF01 e EF02, EC03 e EC04 manteve-se. O número de indivíduos mortos foi significativamente diferente ($p=0,018$), entre EF01 e CTL no final das 72 horas (Figura 30).

De igual modo, observou-se para o extrato EF02 (*F. carica* 96% EtOH), uma taxa de mortalidade de 12,5% ao fim de 24 horas, 17,4% às 48 horas e 22,4% às 72 horas. Não foram, durante os três períodos de observação, aferidas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre EF02 e os extratos EC03 e EC04 (Figura 30), relativamente ao número de indivíduos contabilizados mortos. Adicionalmente, a taxa de mortalidade resultante do tratamento EF02 não diferiu significativamente ($p > 0,05$) quando comparada com o grupo de controlo.

Por sua vez, a percentagem de lagartas mortas verificada após exposição ao extrato EC03 (*O. ficus-indica* 70% EtOH) foi de 7,5%, 12,4% e 14,9% para os períodos pós 24, 48 e 72 horas, respetivamente. Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre EC03 e o extrato EC04, bem como, entre EF03 e o controlo CTL (Figura 30).

Quanto ao tratamento efetuado com o extrato EC04 (*O. ficus-indica* 0,15M NaCl), a taxa de mortalidade dos indivíduos foi similar à do anterior tratamento, concluídas 24 e 48 horas. No entanto, no final do terceiro e último dia de observação, a percentagem de lagartas mortas foi de 17,4% (Figura 30). Da comparação entre as médias, não foi possível detetar diferenças estatisticamente significativas entre EC04 e CTL.

Por último, para o grupo de controlo CTL, realizado apenas com água destilada, verificaram-se, como seria expectável, os índices médios de mortalidade mais baixos, isto é, de 2,5%, 5,0%, e 10,0% para os períodos após 24, 48 e 72 horas, respetivamente (Figura 30).

Quadro 9. Mortalidade (%) corrigida pela fórmula de Abbott das lagartas de *Phthorimaea absoluta*, por repetição e por tratamento, ao fim de 24, 48 e 72 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada.

Repetições	Mortalidade (%) para cada tratamento												Controlo negativo		
	EF01			EF02			EC03			EC04			24 h	48 h	72 h
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h			
R1	12,5	12,4	12,4	0,0	24,9	24,9	12,5	24,9	24,9	0,0	0,0*	0,0*	0,0	12,5	12,5
R2	37,5	50,0	50,0	25,0	25,0	25,0	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	0,0	0,0	0,0
R3	12,4	12,4	24,7	0,0*	0,0*	12,2	0,0*	0,0*	12,2	12,4	24,9	24,7	12,5	12,5	25,0
R4	12,5	37,5	37,4	25,0	25,0	37,4	0,0	12,5	24,9	12,5	12,5	24,9	0,0	0,0	12,5
R5	37,5	37,5	50,0	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	0,0	12,5	12,5	0,0	0,0	0,0

EF01: Extrato de folhas de *F. carica* 70% EtOH; EF02: Extrato de folhas de *F. carica* 96% EtOH; EC03: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* 70% EtOH; EC04: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* NaCl 0,15M. *Valores negativos próximos de zero são apresentados como tal.

Em suma, o extrato cuja percentagem de mortes de lagartas foi maior no fim do período experimental, foi o EF01 ($34.9\% \pm 16.39$). Ao invés, o menor número de lagartas mortas após 72 horas, verificou-se sob a ação do extrato EC03 ($14.9\% \pm 10.40$), mas ainda assim superior ao controlo. Por outro lado, em todos os tratamentos, incluindo o grupo de controlo, registou-se um aumento da mortalidade entre as 24 horas e as 72 horas.

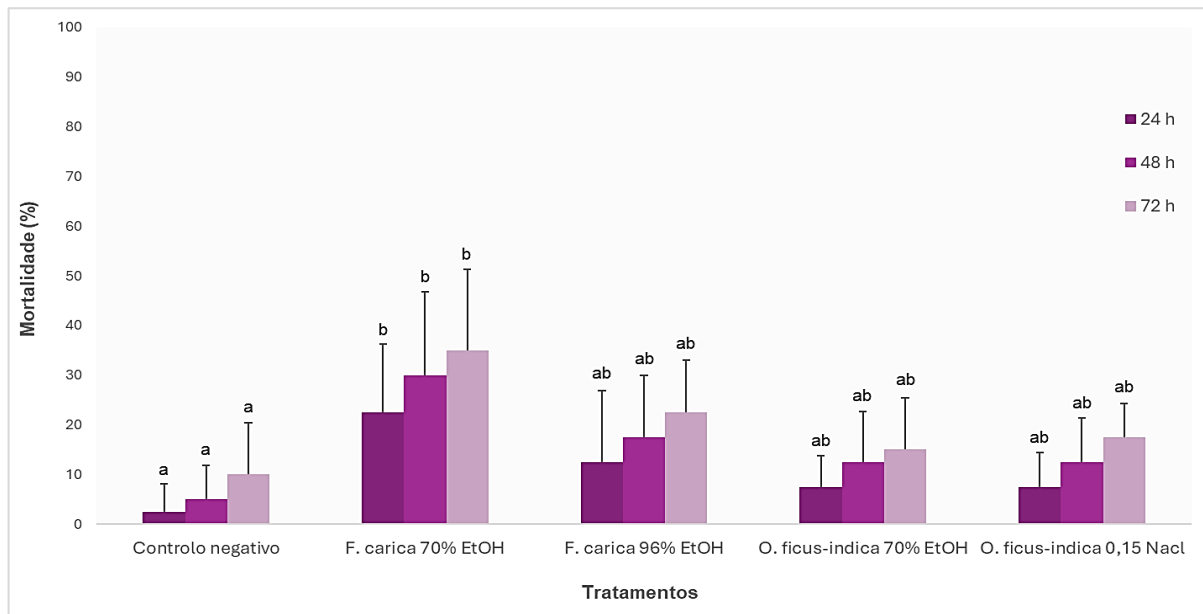


Figura 30. Mortalidade (%) corrigida pela fórmula de Abbott de lagartas de *P. absoluta*, após 24, 48 e 72 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada). Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pela análise de variância ANOVA a 5% de significância.

Os tratamentos efetuados demonstraram que, quer os extratos etanólicos EF01, EF02 e EC03, quer o extrato salino EC04, não promoveram resultados significativamente diferentes entre si sobre a taxa de mortalidade dos indivíduos de terceiro instar de *P. absoluta*. Todavia, o tratamento efetuado com o extrato EF01 demonstrou algum potencial, na medida em que, da sua aplicação, resultou o maior número de indivíduos mortos, com diferenças estatisticamente significativas, quando comparado com o grupo de controlo às 24, 48 e 72 horas de exposição. Na Figura 31 são observáveis indivíduos estáticos, sem vida, após 72 horas de exposição ao extrato EF01.

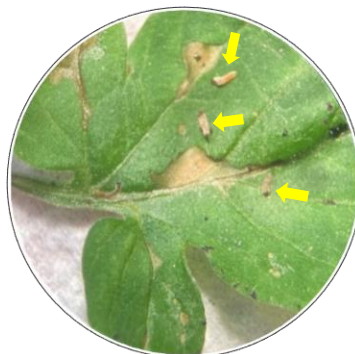


Figura 31. Lagartas de *P. absoluta* mortas sobre um folíolo de tomateiro, após 72 horas de exposição ao extrato EF01.

A eficácia dos extratos observada neste trabalho foi analogamente descrita por outros autores em estudos anteriores. Com efeito, ensaios efetuados com material vegetal (folhas e cladódios) das mesmas espécies botânicas em estudo, apresentaram um reduzido ou inexistente efeito na mortalidade dos insetos alvo. Num desses trabalhos, Ghabbari *et al.* (2018) testaram preparações resultantes do processo de extração etanólica de folhas de *F. carica* e de outras espécies botânicas para avaliar a toxicidade de cada uma em adultos de *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera: Tephritidae), vulgarmente designada por mosca-do-Mediterrâneo, um dos principais inimigos das fruteiras em geral. Os extratos de *F. carica* não exerceram níveis de toxicidade aceitável para causar mortalidade nos adultos de *C. capitata*, apesar de, segundo a análise efetuada pelos autores, conterem quantidades relativamente elevadas de furanocumarinas, como a angelicina e o bergapten, descritas(os) como compostos com propriedades inseticidas (Pavela *et al.*, (2013).

Por sua vez, foram relatados por Albuquerque *et al.* (2023) os efeitos do extrato salino (0,15M NaCl) de cladódios de *O. ficus-indica* na sobrevivência alimentar e na morfofisiologia do intestino médio de lagartas de terceiro instar de *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae), um inseto altamente polífago, que afeta, entre outras, a cultura do milho. Os autores do estudo formularam uma dieta artificial, incorporaram-lhe o extrato e concluíram que o tratamento efetuado exerceu um efeito fagostimulante sobre as lagartas, no entanto, incapaz de causar mortalidade após 48 horas de período experimental. Apesar disso, o tratamento resultou em danos na morfologia do intestino médio das lagartas, com uma redução no conteúdo de hidratos de carbono e proteínas.

Adicionalmente, num trabalho realizado por de Santana Souza *et al.* (2018), foram avaliados os efeitos de uma proteína (lectina), purificada e extraída dos cladódios de *O. ficus-*

indica, na sobrevivência e nos parâmetros nutricionais de adultos da espécie *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Dryophthoridae), vulgarmente conhecida por gorgulho do milho. As lectinas, que são na literatura descritas pelas suas capacidades entomotóxicas (Vandenborre *et al.*, 2011), foram incorporadas em dietas artificiais e disponibilizadas aos insetos. De acordo com os autores, a ingestão não resultou em diferenças significativas nas taxas de mortalidade, quando comparadas com o grupo de controlo após 7 e 15 dias de ensaio. Não obstante, os autores conseguiram demonstrar que a ingestão da lectina resultou na diminuição do peso corporal dos indivíduos.

Por outro lado, existem trabalhos que corroboram a eficácia de extratos desenvolvidos com as mesmas espécies botânicas abordadas neste estudo quanto à toxicidade desencadeada sobre alguns insetos, facto que contraria os resultados anteriormente expostos. Com efeito, num ensaio levado a cabo por Britto *et al.* (2021), um extrato etanólico de folhas de *F. carica* foi desenvolvido e testado para avaliar o seu potencial inseticida sobre *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae), uma espécie de percevejos declarada importante praga da cultura da soja. Os resultados obtidos comprovaram a toxicidade dos extratos (mortalidade superior a 70%) sobre aquele inseto, que, de acordo com os autores do ensaio, se deveu presumivelmente ao teor de cumarinas (especialmente as furanocumarinas bergapten e psoralen) presente na preparação etanólica. Além disso, Kim *et al.* (2005), testaram extratos metanólicos de folhas de *F. carica* para verificar a sua atividade inseticida contra mosca branca *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae), considerada uma praga importante das plantas hortícolas e ornamentais. Complementarmente, os autores avaliaram o efeito do mesmo extrato sobre *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae), um afídeo muito frequente nas culturas do algodão e considerado praga. Os resultados apresentados pelos autores do estudo revelaram uma taxa de mortalidade superior a 80% de *T. vaporariorum* após 72 horas e uma taxa de sobrevivência diminuta relativamente a *A. gossypii* durante os períodos experimentais, o que pode dever-se ao diferente solvente orgânico utilizado. Do mesmo modo, Chon *et al.* (2008) testaram extratos metanólicos de frações de folhas de figueira e concluíram que estes apresentaram uma potente atividade inseticida/acaricida no controlo de algumas pragas agrícolas, como o ácaro *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), uma praga polífaga que causa prejuízos a uma vasta gama de diferentes plantas hospedeiras, com níveis de toxicidade que atingiram os 80 a 89% dos indivíduos. Além disso, frações de acetato de etilo e de hexano desses extratos metanólicos

apresentaram ainda maior atividade acaricida contra *T. urticae*, com 92% e 90% de controle, respectivamente.

Recentemente, Ferrreira *et al.* (2021) formularam e testaram um extrato salino de cladódios de *O. ficus-indica* e verificaram que a sua aplicação provocou danos na organização histológica de lagartas de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), traça que causa prejuízos consideráveis nas culturas das brássicas (couve, couve-flor, etc.). Além disso, o tratamento resultou na inibição da atividade da protease do intestino médio do inseto e atuou como estímulo dissuasor da oviposição. Por conseguinte, os autores concluíram que os cladódios de *O. ficus-indica* são uma fonte de compostos tóxicos para ovos e lagartas de *P. xylostella* e são capazes de interferir na escolha do local da postura.

Adicionalmente, Paiva *et al.* (2011) observaram em térmitas da madeira, da espécie *Nasutitermes corniger* (Motsch.) os efeitos de preparações brutas e purificadas de cladódios com lectinas na sua composição. Segundo os autores, o extrato purificado revelou maior atividade inseticida/termicida, especialmente contra operárias. Os mesmos autores concluíram que a ação da lectina purificada pode perturbar a organização, a estrutura e a manutenção das colônias de térmitas.

Ficou ainda demonstrado num estudo realizado por Nova *et al.* (2018) que o extrato salino (0,15M NaCl) de cladódios de *O. ficus-indica* causou a mortalidade de larvas de *Aedes aegypti* (L). (mosquito vetor da Dengue) após 48 horas de tratamento. Este estudo avaliou os efeitos da exposição ao extrato em larvas de terceiro instar (L3) e na fertilidade dos adultos emergentes. Além disso, num estudo mais recente (Nova *et al.*, 2022), os autores concluíram que o extrato de *O. ficus-indica* atrasou o desenvolvimento das larvas de *A. Aegypti* (L). e reduziu, dessa forma, a emergência de adultos.

Não foi possível discutir o efeito inseticida de preparações etanólicas obtidas a partir de cladódios de *O. ficus-indica*, dada a escassez ou inexistência na literatura de investigação científica relacionada.

Apesar destes trabalhos, não se encontraram resultados de trabalho de investigação realizados com preparações etanólicas de cladódios de *O. ficus-indica*, pelo que não é possível discutir o efeito inseticida quando os extratos são preparados desta forma. É de salientar que neste estudo, optou-se pelo etanol como solvente em vez de outros solventes orgânicos, como diclorometano, hexano e acetato de etilo, devido à sua menor toxicidade e menor impacto

ambiental. O etanol é uma opção preferível, quando a segurança e a sustentabilidade são prioridades.

Convém, ainda, referir que no decorrer dos ensaios inerentes à presente dissertação verificou-se que a imersão dos folíolos de tomateiro no extrato EF01 provocou anomalias de coloração e textura, particularmente da variedade “*coração de boi*”. As alterações, visíveis na face superior e inferior da lâmina foliar, incluíram clorose em tom amarelo acastanhado e aspeto baço que, por vezes, evoluiu e preencheu a maioria da área foliar durante o período de 72 horas e necrose dos tecidos foliares, que conduziram ao aparecimento de áreas secas nas folhas (Figura 32). Estes estragos nas plantas de tomateiro poderão, eventualmente, ter influenciado a sobrevivência da praga por falta de alimento.



Figura 32. Exemplos das alterações ocorridas nos tecidos foliares, 24, 48 e 72 horas após imersão no extrato EF01.

Por conseguinte, deve sublinhar-se a importância que pode ser dada a uma abordagem futura sobre o potencial herbicida de *F. carica* e sua utilidade enquanto solução ecológica para a gestão de ervas espontâneas.

5.4. AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO EFEITO DOS EXTRATOS EM *M. PYGMAEUS*

Avaliou-se o efeito dos quatro extratos vegetais (EF01, EF02, EC03 e EC04) em *P. absoluta*, na mesma concentração, sobre indivíduos adultos da espécie *Macrolophus pygmaeus* após contacto com discos de papel de filtro impregnados, cada um com o respetivo extrato. O registo do número de indivíduos vivos e mortos, por cada repetição, é apresentado no quadro seguinte (Quadro 10).

Quadro 10. Número de adultos *Macrolophus pygmaeus* vivos (v) e mortos (m), por repetição e por tratamento (EF01, EF02, EC03, EC04 e controle), após 24, 48 e 72 horas de exposição.

Repetição	Controlo		Tratamentos																	
			EF01		EF02		EC04		EC04											
	24 h		48 h		24 h		48 h		24 h		48 h									
	v	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	m								
R01	6	0	6	0	6	0	5	1	5	1	5	1	5	1	6	0	6	0		
R02	6	0	5	1	4	2	4	2	5	1	5	1	6	0	6	0	6	0	5	1
R03	6	0	5	1	5	1	4	2	6	0	6	0	6	0	4	2	6	0	5	1
R04	6	0	6	0	5	1	5	1	6	0	6	0	5	1	5	1	6	0	5	1
R05	6	0	6	0	6	0	6	0	5	1	5	1	6	0	6	0	6	0	6	0
Total	30	0	28	2	26	4	24	6	27	3	27	3	28	2	26	4	30	0	27	3

EF01: Extrato de folhas de *F. carica* 70% EtOH; EF02: Extrato de folhas de *F. carica* 96% EtOH; EC03: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* 70% EtOH; EC04: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* NaCl 0.15M

Nas primeiras 24 horas, após exposição ao extrato EF01 (*F. carica* 70% EtOH), a taxa de sobrevivência (TS) de *M. pygmaeus* (Quadro 11) foi, em média, de 86,7%. Não foram, neste período, estabelecidas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre EF01 e os extratos EF02, EC03 e EC04, quanto ao impacto dos extratos sobre esta espécie de mirídeos e, do mesmo modo, não se verificaram diferenças significativas em relação ao grupo CTL (controlo com água destilada). Concluídas as 48 horas de observação, a TS dos indivíduos diminuiu ligeiramente (6,7%) e, similarmente ao período de observação anterior, não foram aferidas diferenças significativas entre EF01 e os restantes extratos ($p > 0,05$). O mesmo se verificou quando a TS foi comparada com o controlo CTL (Quadro 12).

No segundo tratamento (EF02), verificou-se que, em ambos os períodos de observação (24 e 48 horas), 90% dos insetos adultos mantiveram a sua dinâmica, sem evidências de eventuais efeitos relacionados com a exposição ao extrato. Adicionalmente, não foram aferidas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre EF02 e os extratos EC03 e EC04 (Quadro 12). Da mesma forma, o número de espécimes vivos não diferiu significativamente ($p > 0,05$), quando comparado com o grupo de controlo.

Por sua vez, a TS aferida após exposição de *M. pygmaeus* ao extrato EC03 foi de 93,3% e 86,7% para os períodos pós 24 e 48 horas, respetivamente. Não foram, igualmente, observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre EC03 e EC04 e entre EC03 e o controlo negativo CTL (Quadro 12).

Quanto ao quarto tratamento realizado com o extrato EC04, após o primeiro dia de observação, todos os adultos de *M. pygmaeus* (100%) permaneceram ativos, sem sinais de perturbação resultante do contacto com o extrato. Concluído o período de exposição (48 horas) a EC04, verificou-se uma TS de 90% dos indivíduos. Para além de não existirem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre EC04 e os restantes tratamentos em estudo, o mesmo se verificou com o controlo CTL, (Quadro 12).

Quadro 11. Taxa de sobrevivência (TS) dos mirídeos adultos *Macrolophus pygmaeus*, por repetição e por tratamento (EF01, EF02, EC03, EC04 e controle), após 24, 48 e 72 horas de exposição.

Repetição	Controlo negativo		Taxa de sobrevivência para cada tratamento								
			EF01		EF02		EC03		EC04		
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	
R01	100,0	100,0	100,0	83,3	83,3	83,3	83,3	83,3	83,3	100,0	100,0
R02	100,0	83,3	66,7	66,7	83,3	83,3	100,0	100,0	100,0	100,0	83,3
R03	100,0	83,3	83,3	66,7	100,0	100,0	100,0	66,7	100,0	100,0	83,3
R04	100,0	100,0	83,3	83,3	100,0	100,0	83,3	83,3	100,0	100,0	83,3
R05	100,0	100,0	100,0	100,0	83,3	83,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

EF01: Extrato de folhas de *F. carica* 70% EtOH; EF02: Extrato de folhas de *F. carica* 96% EtOH; EC03: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* 70% EtOH; EC04: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* NaCl 0.15M.

No grupo de controlo com água destilada observou-se que, ao fim de 24 horas, 100% dos indivíduos continuavam vivos e que, no fim do período de observação, a TS diminuiu para 93,3%, o que poderá eventualmente ser explicado por questões de ordem fisiológica, associadas, por exemplo, à falta de alimento e/ou hidratação.

Quadro 12. Percentagem média de adultos *Macrolophus Pygmaeus* vivos, após 24 e 48 horas de exposição aos extratos EF01, EF02, EC03, EC04 e ao controlo com água destilada.

Tratamentos	Taxa de sobrevivência de adultos de <i>M. pygmaeus</i> (%) (média ± DP)	
	24 h*	48 h*
Controlo negativo	100,0±0,00 ^a	93,3±9,13 ^a
EF01	86,7±13,94 ^a	80,0±13,94 ^a
EF02	90,0±9,13 ^a	90,0±9,13 ^a
EC03	93,3±9,13 ^a	86,7±13,94 ^a
EC04	100,0±0,00 ^a	90,0±9,13 ^a

* Nas colunas, os valores médios seguidos de letras iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$). EF01: Extrato de folhas de *F. carica* 70% EtOH; EF02: Extrato de folhas de *F. carica* 96% EtOH; EC03: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* 70% EtOH; EC04: Extrato de cladódios de *O. ficus-indica* NaCl 0.15M.

Em suma, a maior TS observada ao fim de 48 horas é atribuída aos extratos EF02 (90,0±9,13%) e EC04 (90,0±9,13%) e, em sentido inverso, a menor TS é verificada para o extrato EF01 (80,0±13,94). Os resultados apresentados revelam que nenhum dos extratos diferiu significativamente do controlo negativo ($p > 0,05$), pelo que o seu efeito sobre *M. pygmaeus* pode ser considerado seguro para esta espécie predadora.

Estudos anteriores com extratos botânicos demonstram que muitas formulações naturais apresentam baixa toxicidade para organismos não alvo. Por exemplo, Ouarhach *et al.* (2022) e Benelli *et al.* (2019) verificaram que compostos como carvacrol, timol e linalol - comuns em plantas aromáticas - apresentam efeitos inseticidas seletivos ao afetarem pragas sem impactar significativamente predadores ou parasitoides. Trabalhos como os de Murugan *et al.* (2023) e Salazar *et al.* (2022) indicam que muitos compostos fenólicos e terpenoides,

apesar de possuírem atividade inseticida moderada, exibem baixa persistência ambiental e volatilidade, características que favorecem a sua segurança ecotoxicológica.

Por outro lado, alguns extratos botânicos ricos em saponinas ou alcaloides demonstraram efeitos negativos em organismos benéficos, conforme relatado por Campos *et al.* (2019) e Visakh *et al.* (2023), pelo que é reforçada a importância da escolha criteriosa da planta e do solvente de extração.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande variedade de compostos bioativos presentes nas plantas é de enorme utilidade para a formulação de alternativas mais seguras e sustentáveis na proteção das culturas. A investigação científica é, neste sentido, fundamental porque permite a descoberta de novas potencialidades e mecanismos associados a determinados constituintes fitoquímicos e sua ação sobre insetos nocivos, mas também sobre os seus efeitos secundários em organismos não alvo.

No âmbito do trabalho experimental realizado foi possível formular, analisar e testar quatro extratos botânicos, obtidos a partir de folhas de *Ficus carica* e de cladódios de *O. ficus-indica*, em duas espécies de insetos: *Phthorimaea absoluta* e *Macrolophus pygmaeus*.

A análise de compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante revelou que: a) a formulação etanólica a 70% (EF01), obtida das folhas de figueira, apresentou o maior teor de compostos fenólicos e a menor atividade antioxidante em comparação com o extrato etanólico a 96% (EF02); b) nos cladódios, o extrato *salino* (EC04) apresentou a maior concentração de compostos fenólicos, enquanto a atividade antioxidante mostrou pouca variação em relação ao extrato etanólico a 70% (EC03). Os resultados indicam que a escolha de solvente influencia a extração de compostos bioativos e a sua atividade antioxidante, pelo que pode ser um fator determinante na formulação de extratos com potencial aplicação funcional.

Por sua vez, as percentagens de mortalidade obtidas nos ensaios destinados à avaliação do potencial efeito tóxico das preparações sugerem que os extratos testados não promoveram os resultados esperados (mortalidade >80%)³ em termos estatísticos sobre a taxa de mortalidade das lagartas de terceiro instar de *P. absoluta*. Ainda assim, o tratamento efetuado com o extrato EF01, foi aquele que demonstrou maior potencial, apesar da sua menor atividade antioxidante. A aplicação do extrato EF01 resultou num maior número de indivíduos mortos, com diferenças estatisticamente significativas relativamente ao grupo de controlo, após 24, 48 e 72 horas de exposição.

Por outro lado, a avaliação ecotoxicológica dos extratos botânicos de *Ficus carica* e *Opuntia ficus-indica* sobre *Macrolophus pygmaeus* revelou ausência de toxicidade significativa, uma vez que a taxa de sobrevivência dos adultos se manteve elevada e

³ De acordo com a literatura (Mata *et al.*, 2024; McDougall *et al.*, 2024) uma mortalidade superior a 80% é frequentemente considerada indicativa de alta eficácia de um produto testado e mortalidades entre 50% e 80% podem sugerir eficácia moderada, com eventual necessidade de ajustes na formulação ou na dosagem.

comparável ao grupo controlo em todos os tratamentos e tempos de exposição (24, 48 e 72 horas).

Verificou-se ainda que no decorrer dos ensaios inerentes ao presente estudo, a imersão dos folíolos/folhas de tomateiro no extrato EF01 produziu alguns sintomas de fitotoxicidade, particularmente na variedade “*coração de boi*”.

Por fim, como perspectivas futuras e no seguimento do estudo já realizado, o trabalho a desenvolver poderá incluir os seguintes aspetos: a) a otimização dos métodos de extração, testando diferentes solventes, tempos de maceração, temperaturas, e comparação dos seus efeitos e eficácia; b) a experimentação de diferentes concentrações dos extratos botânicos; c) a purificação de compostos que, segundo a literatura, apresentam maior capacidade inseticida; d) a avaliação do efeito dos extratos sobre outros estágios do ciclo de vida de *P. absoluta*, nomeadamente, ovos e larvas de primeiro instar, já que os extratos podem ter ações diferenciadas ao longo do desenvolvimento do inseto; e) avaliar potenciais efeitos subletais em *P. absoluta* e outros insetos, para determinar os seus efeitos a longo prazo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel, M.S., Fattah, Badr, S., & Elsaid, A.S. (2020).** Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus-indica* L.) growing in Egypt. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 8(1), pp. 1-10.
- Abdel-aty, A.M., Belal, M., Salama, W.H., Ali, M.M., Fahmy, A.S., Mohamed, S.A. (2019).** Biocatalysis and Agricultural Biotechnology *Ficus carica*, *Ficus sycomorus* and *Euphorbia tirucalli* latex extracts: Phytochemical screening, antioxidant and cytotoxic properties. *Biocatal Agric Biotechnol* 20:101199.
- Abdel-Rahman, R., Ghoneimy, E.A., Abdel-Wahab, A., Eldeeb, N., Salem, M.S., Salama, E.M., & Ahmed, T.A. (2021).** The therapeutic effects of *Ficus carica* extract as antioxidant and anticancer agent. *South African Journal of Botany*, 141, 273-277.
- Abraços-Duarte, G., Ramos, S., Valente, F., da Silva, E. B., & Figueiredo, E. (2021).** Functional response and predation rate of *Dicyphus cerastii* Wagner (Hemiptera: Miridae). *Insects*, 12(6), 530.
- Acheuk, F., Basiouni, S., Shehata, A.A., Dick, K., Hajri, H., Lasram, S., Yilmaz, M., Emekci, M., Tsiamis, G., Spona-Friedl, M., May-Simera, H.L., Eisenreich, W., & Ntougias, S. (2022).** Status and Prospects of Botanical Biopesticides in Europe and Mediterranean Countries. *Biomolecules*, 12.
- Ahmad, M.F., Ahmad, F.A., Alsayegh, A.R., Zeyullah, M., AlShahrani, A.M., Muzammil, K., Saati, A.A., Wahab, S., Elbendary, E.Y., Kambal, N., Abdelrahman, M.H., & Hussain, S. (2024).** Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Heliyon*, 10.
- Ahmed, K. S., Idrees, A., Majeed, M. Z., Majeed, M. I., Shehzad, M. Z., Ullah, M. I., Afzal, A., & Li, J. (2022).** Synergized Toxicity of Promising Plant Extracts and Synthetic Chemicals against Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. *Agronomy*, 12(6), 1289.
- Aker, O., Eser, F., & Yıldırım, C. (2023).** The laboratory evaluation of insecticidal activities and phytochemical analysis of *Marrubium astracanicum* Jacq. subsp. *astracanicum* Jacq. against

Callosobruchus chinensis (L.) and *Callosobruchus maculatus* (F.). South African Journal of Botany, p. 667-672

Al Dawsari Mona, M. (2019). Insecticidal potential of cardamom and clove extracts on adult red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. Saudi Journal of Biological Sciences, 27, 195 - 201.

Albuquerque, F., Almeida, W., Ferreira, E., Nascimento, D., Vila Nova, I., Cruz, G., Teixeira, Á., Teixeira, V., Paiva, P., Napoleão, T., Barros, R., Pontual, E. (2023). Cladode extract is a phagostimulant agent that impairs the morphophysiology of midgut of (Lepidoptera: Noctuidae) caterpillars. Journal of Asia-Pacific Entomology, 26(4), 102154

Almadiy, A.A. (2021). Insecticidal and acetylcholinesterase inhibitory activities of *Achillea biebersteinii* essential oil and its nanoemulsion and major monoterpenes against *Tribolium castaneum*. Journal of Asia-Pacific Entomology, 24(4), pp. 1170-1178

Al-Naqeb, G., Fiori, L., Ciolli, M., & Aprea, E. (2021). Prickly Pear Seed Oil Extraction, Chemical Characterization and Potential Health Benefits. Molecules, 26(16), 5018.

Alves, J.R., Assis, J.N., Pádua, C.C., Balbino, H.M., Lima, L.L., Gouveia, A.D., Vital, C.E., Buonicontro, D.S., Freitas, L., Leite, J.P., & Ramos, H.J. (2020). Phytochemical potential of *Ficus* species for the control of the phytonematode *Meloidogyne javanica*. Journal of Plant Protection Research, 60(2), 193-206.

Amaro, P. (2003). A Protecção Integrada. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. ISBN: 972-8669-10-0.

Amaya-Cruz, D.M., Pérez-Ramírez, I.F., Delgado-García, J., Mondragón-Jacobo, C., Dector-Espinoza, A., & Reynoso-Camacho, R. (2019). An integral profile of bioactive compounds and functional properties of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel with different tonalities. Food chemistry, 278, 568-578.

Ammar, S., del Contreras, M., Belguith-Hadrich, O., Bouaziz, M., & Segura-Carretero, A. (2015). New insights into the qualitative phenolic profile of *Ficus carica* L. fruits and leaves from Tunisia using ultra-high-performance liquid chromatography coupled to quadrupole-time-of-flight mass spectrometry and their antioxidant activity. RSC Advances, 5, 20035–20050.

Araújo Soares, M., & Ribeiro Campos, M. (2022). *Phthorimaea absoluta* (tomato leafminer). CABI Compendium, 49260.

Arba, M., Falisse, A., Choukr-allah, R., & Sindic, M. (2017). Biology, Flowering and Fruiting of the Cactus *Opuntia* spp.: A Review and Some Observations on Three Varieties in Morocco. Brazilian Archives of Biology and Technology, 60.

Arnó, J., & Gabarra, R. (2011). Side effects of selected insecticides on the *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) predators *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae). Journal of Pest Science, 84, 513-520.

Arvaniti, O.S., Samaras, Y., Gatidou, G., Thomaidis, N.S., & Stasinakis, A.S. (2019). Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. Food research international, 119, 244-267.

Ayuso, M., Carpena, M., Taofiq, O., Albuquerque, T.G., Simal-Gándara, J., Oliveira, M.B., Prieto, M.A., Ferreira, I.C., & Barros, L. (2022). Fig "*Ficus carica* L." and its by-products: A decade evidence of their health-promoting benefits towards the development of novel food formulations. Trends in Food Science & Technology, 127, pp, 1-13.

Azeredo, H.M. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability? a review. International Journal of Food Science and Technology, 44, 2365-2376.

Aznar, R.V., Calabuig, A., & Felipe, C.M. (2010). Ecología, muestreos y umbrales de *Tuta absoluta* (Meyrick). Phytoma 217: 23-26.

Backer, L.D., Megido, R.C., Haubruge, E., & Verheggen, F.J. (2014). *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) as an efficient predator of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) in Europe. A review. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 18, 536-543.

Balasundram, N., Sundram, K.M., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry, 99, 191-203.

Barba, F.J., Garcia, C., Fessard, A., Munekata, P.E., Lorenzo, J., Aboudia, A., Ouadia, A., & Remize, F. (2020). *Opuntia ficus-indica* Edible Parts: A Food and Nutritional Security Perspective. Food Reviews International, 38, 930 - 952.

- Henriques, B., Neves, C., Moumni, M., Romanazzi, G., Le Bourvellec, C., Cardoso, S.M., Wessel, D.F., (2025).** A Comparative Study of Traditional Sun Drying and Hybrid Solar Drying on Quality, Safety, and Bioactive Compounds in “Pingo de Mel” Fig”. *Antioxidants*, 14(3), 362.
- Barolo, M.I., Mostacero, N.R., López, S.N. (2014).** *Ficus carica* L. (Moraceae): An ancient source of food and health, *FOOD Chem* 164:119–127.
- Batalla-Carrera, L., Morton, A., & Garcia-del-Pino, F. (2010).** Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions. *BioControl*, 55, 523-530.
- Belguith-Hadriche, O., Ammar, S., Contreras, M.D., Fetoui, H., Segura-Carretero, A., El Feki, A.F., & Bouaziz, M.A. (2017).** HPLC-DAD-QTOF-MS profiling of phenolics from leaf extracts of two Tunisian fig cultivars: Potential as a functional food. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 89, 185-193.
- Bellumori, M., Innocenti, M., Andrenelli, L., Melani, F., Cecchi, L., Pandino, G., Mauromicale, G., La Malfa, S.G., & Mulinacci, N. (2023).** Composition of discarded Sicilian fruits of *Opuntia ficus-indica* L.: Phenolic content, mineral profile and antioxidant activity in peel, seeds and whole fruit. *Food chemistry*, 428, 136756.
- Benelli, G., Pavela, R., Petrelli, R., Cappellacci, L., Bartolucci, F., Canale, A., & Maggi, F. (2019).** *Origanum syriacum* subsp. *syriacum*: From an ingredient of Lebanese ‘manoushe’ to a source of effective and eco-friendly botanical insecticides. *Industrial Crops and Products*, 134, pp, 26-32.
- Benelli, G., Pavela, R., Drenaggi, E., Desneux, N., & Maggi, F. (2020).** Phytol, (E)-nerolidol and spathulenol from *Stevia rebaudiana* leaf essential oil as effective and eco-friendly botanical insecticides against *Metopolophium dirhodum*. *Industrial Crops and Products*, 155, 112844.
- Bitwell, C., Sen, I.S., Luke, C., & Kakoma, M.K. (2023).** A review of Modern and Conventional Extraction Techniques and their Applications for Extracting Phytochemicals from Plants. *Scientific African*, 19, pp. e01585-e01585.
- Britto, I. O., Araújo, S. H. C., Toledo, P. F. S., Lima, G. D. A., Salustiano, I. V., Alves, J. R., Mantilla-Afanador, J. G., Kohlhoff, M., Oliveira, E. E., & Leite, J. P. V. (2021).** Potential of *Ficus carica* extracts against *Euschistus heros*: Toxicity of major active compounds and selectivity against beneficial insects. *Pest Management Science*, 77, 4638–4647.

- Camaroti, J., Oliveira, A., Paiva, P., Pontual, E., Napoleão, T. (2017).** Phytoinsecticides for controlling pests and mosquito vectors of diseases. In: Green V (ed) Biocontrol agents: types, applications and research insights. Nova Science Publishers Inc., New York, pp 147–188.
- Campos, E.V., Proença, P.L., Oliveira, J.L., Bakshi, M., Abhilash, P.C., & Fraceto, L.F. (2019).** Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. *Ecological Indicators*, 105, 483-495.
- Campos, M.R.; Biondi, A.; Adiga, A.; Guedes, R.N.C.; Desneux, N. (2017).** From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* 10 years after invading Europe. *J. Pest Sci.*, 90, 787–796.
- Cano, M.P., Cano, M.P., Gómez-Maqueo, A., García-Cayuela, T., & Weltri-Chanes, J. (2017).** Characterization of carotenoid profile of Spanish Sanguinos and Verdal prickly pear (*Opuntia ficus-indica*, spp.) tissues. *Food chemistry*, 237, 612-622.
- Cantó-Tejero, M., Pascual-Villalobos, M.J., & Guirao, P. (2022).** Aniseed essential oil botanical insecticides for the management of the currant-lettuce aphid. *Industrial Crops and Products*, 181, pp. 114804
- Cassis, G., Schuh, R.T. (2012).** Systematics, biodiversity, biogeography, and host associations of the Miridae (Insecta: Hemiptera: Heteroptera: Cimicomorpha). *Annual review of entomology*, 57, 377-404.
- Castañé, C., Arnó, J., Gabarra, R., & Alomar, Ò. (2011).** Plant damage to vegetable crops by zoophytophagous mirid predators. *Biological Control*, 59, 22-29.
- Castañé, C., Agustí, N., Arnó, J., Gabarra, R., Riudavets, J., Comas, J., & Alomar, Ò. (2012).** Taxonomic identification of *Macrolophus pygmaeus* and *Macrolophus melanotoma* based on morphometry and molecular markers. *Bulletin of Entomological Research*, 103, 204 - 215.
- Che, Z., Yang, J., Shan, X., Tian, Y., Liu, S., Lin, X., Jiang, J., Hu, M., & Chen, G. (2019).** Synthesis and insecticidal activity of sulfonate derivatives of sesamol against *Mythimna separata* in vivo. *Journal of Asian Natural Products Research*, 22, 678 - 688.
- Chen, Y., Luo, J., Zhang, N., Yu, W., Jiang, J., & Dai, G. (2021).** Insecticidal activities of *Salvia hispanica* L. essential oil and combinations of their main compounds against the beet armyworm *Spodoptera exigua*. *Industrial Crops and Products*, 162, 113271.

- Cherif, A., & Verheggen, F.J. (2019).** A review of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) host plants and their impact on management strategies. *BASE*, 23(4): 270-278.
- Chon, S., Kim, D., & Kang, K. (2008).** Insecticidal Potential of Methanol Extract and Its Fractions from Fig (*Ficus carica* L.) Leaves. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 12(3): 243-248.
- Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013).** Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food chemistry*, 139 1-4, 796-803.
- Cocco, A., Deliperi, S., Lentini, A., Mannu, R., & Delrio, G. (2015).** Seasonal phenology of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in protected and open-field crops under Mediterranean climatic conditions. *Phytoparasitica*, 43, 713-724.
- Colmenárez, Y. C., Vásquez, C., de Freitas Bueno, A., Cantor, F., Hidalgo, E., Corniani, N., et al. (2022).** Sustainable management of the invasive *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): an overview of case studies from Latin American countries participating in plantwise. *J. Integrated Pest Manag.* 13:15.
- Cox-Georgian, D., Ramadoss, N., Dona, C., & Basu, C. (2019).** Therapeutic and Medicinal Uses of Terpenes. *Medicinal Plants*, 333 - 359.
- Cruz, J.M., Corrêa, R.F., Lamarão, C.V., Kinupp, V.F., Sanches, E.A., Campelo, P.H., & Bezerra, J.D. (2021).** *Ficus* spp. fruits: Bioactive compounds and chemical, biological and pharmacological properties. *Food research international*, 152, 110928.
- Cruz, J.M., Corrêa, R.F., Lamarão, C.V., Sanches, E.A., Campelo, P.H., & Bezerra, J.D. (2022).** *Ficus* spp.: Phytochemical composition and medicinal potential. *Research, Society and Development*, 11(12), p. e265111234135.
- Czyżewska, M., & Mozrzymas, J. (2013).** Monoterpene α -thujone exerts a differential inhibitory action on GABA(A) receptors implicated in phasic and tonic GABAergic inhibition. *European journal of pharmacology*, 702 1-3, 38-43.
- Daniloski, D., D'Cunha, N.M., Speer, H., Mckune, A.J., Alexopoulos, N., Panagiotakos, D.B., Petkoska, A.T., & Naumovski, N. (2022).** Recent developments on *Opuntia* spp., their bioactive composition, nutritional values, and health effects. *Food Bioscience*, 47, 1-21.

de Lima Chicuta, C.P., Alves Lima, J.K., dos Santos, C., da Costa, M.L., Vieira Pereira, H.J., do Nascimento, R.R., Dos Santos, A.F., de Carvalho, C.M., Meireles Grillo, L.A., & Gomes, F.S. (2023). Evaluation of an eco-friendly botanical extract against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) and its composition. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 26(4), 102169.

De Oliveira, J. L.; Campos, E. V. R.; Fraceto, L. F., (2018). Recent developments and challenges for nanoscale formulation of botanical pesticides for use in sustainable agriculture. *J. Agric. Food Chem.* 66, 8898–8913

de Santana Souza, C., Procópio, T.F., do Rego Belmonte, B., Paiva, P.M., de Albuquerque, L.P., Pontual, E.V., & Napoleão, T.H. (2018). Effects of *Opuntia ficus-indica* lectin on feeding, survival, and gut enzymes of maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Applied Biological Chemistry*, 61, 337-343.

de Wit, M., Du Toit, A., Osthoff, G., & Hugo, A. (2019). Cactus pear antioxidants: a comparison between fruit pulp, fruit peel, fruit seeds and cladodes of eight different cactus pear cultivars (*Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-10.

Dervisoglou, S., Traka, C., Daferera, D.J., Tarantilis, P.A., Kakouri, E., Kaparakou, E.H., Revelou, P., Polissiou, M.G., Kavetsou, E., Detsi, A., Kalamaraki, A., Paisiou, M., & Perdikis, D. (2023). Essential oils as a promising tool in the sustainable management of the tomato leafminer, *Tuta absoluta*: A review. *Crop Protection*, 174(7):106419.

Desneux, N., Luna, M.G., Guillemaud, T., & Urbaneja, A. (2011). The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science*, 84, 403-408.

Duarte, J. (2016). Evolução das populações de *Dicyphus umbertae* e *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) na cultura protegida de tomate na região Oeste. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre. ISA., Lisboa.

El-Shafie, H.A., & Faleiro, J.R. (2017). Semiochemicals and Their Potential Use in Pest Management. InTech. DOI: 10.5772/66463.

EPPO Global Database, (2024). *Tuta absoluta* (GNORAB). <https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB/distribution>

Esther, M.R., Emmanuel, N.H., George, B.G., Bintu, N.N., Walad, M.M., & Petro, M.A. (2019). Controlling *Tuta absoluta* (Meyrick) by Selected Crude Plant Extracts in the Laboratory and in the Screen House. *Journal of Agricultural Science and Technology A*.

European Parliament & Council of the European Union. (2009). *Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC*. Official Journal of the European Union, L 309, 1–50.

FAO, (2025). FAOSTAT: Crops and livestock products. Disponível online em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Licence: CC-BY-4.0 (acedido em 5 de março de 2025).

Feng, Y.-C., Li, W.-L., He, F.-M., Kong, T.-T., Huang, X.-W., Gao, Z.-H., Lu, N.-H., & Li, H.-L. (2015). Aqueous two-phase system as an effective tool for purification of phenolic compounds from fig fruits (*Ficus carica* L.). *Separation Science and Technology*, 50, 1785–1793.

Ferreira, D.; Guyot, S.; Marnet, N.; Delgadillo, I.; Renard, C. M. G. C.; Coimbra, M. A., (2002). Composition of Phenolic Compounds in a Portuguese Pear (*Pyrus communis* L. var. S. Bartolomeu) and Changes After Sun-Drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4537-4544.

Ferreira, E.C., Nova, I.C., Almeida, W.A., Albuquerque, F.M., Cruz, G.D., Costa, H.N., Procópio, T.F., Silva, W.A., Ferreira, M.R., Paiva, P.M., Soares, L.A., Teixeira, Á.A., Teixeira, V.W., Napoleão, T.H., Barros, R., & Pontual, E.V. (2021). *Opuntia ficus-indica* cladode extract is an embryotoxic, larvicidal, and oviposition-deterrent agent for the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Crop Protection*, 139, 105351.

Figueiredo, E., Rodrigues, S., Payer, R., & Mexia, A.M. (2010). Situación actual de *Tuta absoluta* en Portugal. *Phytoma* 217: 118-119.

Figueiredo, E., Prieto, R., Mexia, A., Rodrigues, S., Costa, C. A., & Godinho, M. C. (2012). Mirid bugs as biological control agents in protected tomato crops in the Oeste region. *Acta Horticulturae*, 927, 253–260.

Figuroa-Pérez, M.G., Pérez-Ramírez, I.F., Paredes-López, O., Mondragón-Jacobo, C., & Reynoso-Camacho, R. (2018). Phytochemical Composition and in Vitro Analysis of Nopal (*O.*

ficus-indica) Cladodes at Different Stages of Maturity. International Journal of Food Properties, 21, 1728 - 1742.

Fragkouli, R., Antonopoulou, M., Asimakis, E., Spyrou, A., Kosma, C., Zotos, A., Tsiamis, G., Patakas, A., & Triantafyllidis, V. (2023). Mediterranean Plants as Potential Source of Biopesticides: An Overview of Current Research and Future Trends. *Metabolites*, 13(9), 967.

Francini, A., Sodini, M., Vicario, G., Raffaelli, A., Gucci, R., Caruso, G., Sebastiani, L. (2021). Cations and Phenolic Compounds Concentrations in Fruits of Fig Plants Exposed to Moderate Levels of Salinity. *Antioxidants*, 10.

Gaaliche, B., Ladhari, A., Zarrelli, A., & Ben Mimoun, M. (2019). Impact of foliar potassium fertilization on biochemical composition and antioxidant activity of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, 253, 111-119.

García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., Guajardo-Flores, D., Welti-Chanes, J., & Cano, M.P. (2019). Characterization and quantification of individual betalain and phenolic compounds in Mexican and Spanish prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) tissues: A comparative study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, 1-13.

Garzia, G.T., Siscaro, G., Biondi, A., & Zappalà, L. (2012). *Tuta absoluta*, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage. *Eppo Bulletin*, 42, 205-210.

Geow, C.H., Tan, M.C., Yeap, S.P., & Chin, N.L. (2021). A Review on Extraction Techniques and Its Future Applications in Industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123, 2000302.

Ghabbari, M., Guarino, S., Caleca, V., Saiano, F., Sinacori, M., Baser, N., Mediouni-Ben Jemâa, J., & Lo Verde, G. (2018). Behavior-modifying and insecticidal effects of plant extracts on adults of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae). *Journal of Pest Science*, 91, 907-917.

Giraldo-Silva, L., Ferreira, B., Rosa, E.A., & Dias, A.C. (2023). *Opuntia ficus-indica* Fruit: A Systematic Review of Its Phytochemicals and Pharmacological Activities. *Plants*, 12.

Gözel, Ç., Kasap, I., & Gözel, U. (2020). Efficacy of Native Entomopathogenic Nematodes on the Larvae of Tomato Leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 39(3).

- Guedes, B.N., Fathi, F., Silva, A., Santini, A., Oliveira, M.B., & Souto, E.B. (2023).** Biopharmaceutical applications of *Opuntia ficus-indica*: bibliometric map, bioactivities and extraction techniques. *European Food Research and Technology*, 249, 2457-2469.
- Gumiero, V. C., (2008).** Estudo do efeito de hipersensibilidade do extrato de nim (*Azadirachta indica*) sobre a cultura de células de *Rubus fruticosus*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto.
- Guvenc, M., Tuzcu, M., & Yilmaz, O. (2009).** Analysis of fatty acid and some lipophilic vitamins found in the fruits of the *Ficus carica* variety picked from the Adiyaman District. *Research Journal of Biological Sciences*, 4, 320–323.
- Hamel, D., Rozman, V., & Liška, A. (2020).** Storage of Cereals in Warehouses with or without Pesticides. *Insects*, 11.
- Henriques, B.R.; Neves, C.M.B.; Moumni, M.; Romanazzi, G.; Le Bourvellec, C.; Cardoso, S.M.; Wessel, D.F., (2025).** A Comparative Study of Traditional Sun Drying and Hybrid Solar Drying on Quality, Safety, and Bioactive Compounds in “Pingo de Mel” Fig. *Antioxidants*, 14, 362.
- Ingegno, B.L., Pansa, M.G., & Tavella, L. (2011).** Plant preference in the zoophytophagous generalist predator *Macrolophus pygmaeus* (Heteroptera: Miridae). *Biological Control*, 58, 174-181.
- Isman, M.B. (2008).** Botanical insecticides: for richer, for poorer. *Pest management science*, 64 1, 8-11.
- Isman, M.B. (2017).** Bridging the gap: Moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. *Industrial Crops and Products*, 110, 10-14.
- Jaramillo-Flores, M.E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazón, M., Dorantes-Álvarez, L., Gutiérrez-López, G.F., & Hernández-Sánchez, H. (2003).** Effect of Thermal Treatment on the Antioxidant Activity and Content of Carotenoids and Phenolic Compounds of Cactus Pear Cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Science and Technology International*, 9, 271 - 278.
- Kamel, A.I., El-Rokh, A.R., Dawidar, A.M., & Abdel-Mogib, M. (2023).** Bioactive compounds from *Retama raetam* (Forssk.) Webb & Berthel. and their insecticidal activity against cotton pests *Aphis gossypii* and *Amrasca biguttula*. *Fitoterapia*, 105749.

Kamiloglu, S., Capanoglu, E. (2015). Polyphenol content in figs (*Ficus carica* L.): Effect of Sun-drying. *International Journal of Food Properties*, 18, 521–535.

Kamiloglu, S., Tomas, M., & Capanoglu, E. (2020). Dietary Flavonols and O-glycosides. In J. Xiao, S. D. Sarker, & Y. Asakawa (Eds.), *Handbook of dietary phytochemicals*. Springer Singapore, pp. 1-40.

Kamiloglu, S., Akgun, B. (2023). Bioactive Compounds of Fig (*Ficus carica*). In: Ramadan, M.F. (eds) *Fig (Ficus carica): Production, Processing, and Properties*. Springer, Cham, 479-512.

Karantzi, A. D., Kafkaletou, M., Christopoulos, M. V., & Tsantili, E. (2021). Peel colour and flesh phenolic compounds at ripening stages in pollinated commercial varieties of fig (*Ficus carica* L.) fruit grown in southern Europe. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2049–2063.

Khadhraoui, M., Bagues, M., Artés, F., & Ferchichi, A. (2019). Phytochemical content, antioxidant potential, and fatty acid composition of dried Tunisian fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Journal of applied botany and food quality*, 92, 143-150.

Khan, S., Taning, C.N., Bonneure, E., Mangelinckx, S., Smagghe, G., & Shah, M.M. (2017). Insecticidal activity of plant-derived extracts against different economically important pest insects. *Phytoparasitica*, 45, 113-124.

Khan, M.S., Bhatt, S., Tabrez, S., Rehman, M.T., Alokail, M.S., & Alajmi, M.F. (2020). Quinoline yellow (food additive) induced conformational changes in lysozyme: a spectroscopic, docking and simulation studies of dye-protein interactions. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 50, 673 - 681.

Khater, H.F. (2012). Prospects of botanical biopesticides in insect pest management. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3, 641-656.

Khursheed, A., Rather, M.A., Jain, V., Wani, A.R., Rasool, S., Nazir, R., Malik, N.A., & Majid, S.A. (2022). Plant based natural products as potential ecofriendly and safer biopesticides: A comprehensive overview of their advantages over conventional pesticides, limitations and regulatory aspects. *Microbial pathogenesis*, 173 Pt A, 105854.

Kim, D., Park, J., Kim, S., Kuk, H., Jang, M.S., & Kim, S. (2005). Screening of Some Crude Plant Extracts for Their Acaricidal and Insecticidal Efficacies. *Journal of Asia-pacific Entomology*, 8, 93-100.

Kim, HY., (2013). Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution using skewness and kurtosis. *Restor Dent Endod*, 38(1), 52-4.

Kim, S., Boo, K., Na, Y., & Tak, J. (2023). Screening of insecticidal activity of plant essential oils and extract-based formulations against four agricultural insect pests and their risk assessment. *Journal of Asia-Pacific Entomology*.

Kolniak-Ostek, J., Kita, A., Miedzianka, J., Andreu-Coll, L., Legua, P., & Hernandez, F. (2020). Characterization of Bioactive Compounds of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Seeds from Spanish Cultivars. *Molecules*, 25(23), 5734.

Konyaloğlu, S., Sağlam, H., and Kuvçak, B. (2005). α -tocopherol, flavonoid, and phenol contents and antioxidant activity of *Ficus carica*. Leaves. *Pharmaceutical biology*, 43(8), 683–686.

Kumar, D., & Sharma, P.K. (2020). A Review on *Opuntia* Species and its Chemistry, Pharmacognosy, Pharmacology and Bioapplications. *Current Nutrition & Food Science*, 16, 1227-1244.

Kumari, K., Sharma, S., Joshi, V. K., & Sharma, S. (2018). Adding value to wild Himalayan fig (*Ficus palmata*): Composition, functional and sensory characteristics of jam. *The Journal of Phytopharmacology*, 7, 13–18.

Kumari, S., Dolma, S.K., Anmol, Sharma, U., & Reddy, S.G. (2022). Insecticidal Activity of Extracts, Fractions, and Pure Molecules of *Cissampelos pareira* Linnaeus against Aphid, *Aphis craccivora* Koch. *Molecules*, 27.

Lama, K., Harlev, G., Shafran, H., Peer, R., & Flaishman, M. A. (2020). Anthocyanin accumulation is initiated by abscisic acid to enhance fruit color during fig (*Ficus carica* L.) ripening. *Journal of Plant Physiology*, 251, 153192.

Leng, P., Zhang, Z., Pan, G., & Zhao, M. (2011). Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*, 10, 19864-19873.

- Leopoldo, G., Santiago, F., Arturo, B.L., Norma, G., & Aurea, B. (2012).** Carotenoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of low-calorie nopal (*Opuntia ficus-indica*) Marmalade. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36, 267-275.
- Li, P., Liu, A., Liu, C., Qu, Z., Xiao, W., Huang, J., Liu, Z., & Zhang, S. (2019).** Role and mechanism of catechin in skeletal muscle cell differentiation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 74, 108225.
- Li, C., Yu, M., Li, S., Yang, X., Qiao, B., Shi, S., Zhao, C., & Fu, Y. (2021).** Valorization of fig (*Ficus carica* L.) waste leaves: HPLC-QTOF-MS/MS-DPPH system for online screening and identification of antioxidant compounds. *Plants*, 10, 2532.
- Li, T., Yuan, L., Huang, Y., Zhang, A., Jiang, D., & Yan, S. (2023).** Assessment of cytisine as an insecticide candidate for *Hyphantria cunea* management: Toxicological, biochemical, and control potential insights. *Pesticide biochemistry and physiology*, 196, 105638.
- Luiz de Oliveira, J., Ramos Campos, E.V., & Fraceto, L.F. (2018).** Recent Developments and Challenges for Nanoscale Formulation of Botanical Pesticides for Use in Sustainable Agriculture. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66 34, 8898-8913.
- Ma, S., Jia, R., Guo, M., Qin, K., & Zhang, L. (2020).** Insecticidal activity of essential oil from *Cephalotaxus sinensis* and its main components against various agricultural pests. *Industrial Crops and Products*, 150, pp.112403.
- Maazoun, A.M., Hamdi, S.H., Belhadj, F., Jemâa, J.M., Messaoud, C., & Marzouki, M.N. (2019).** Phytochemical profile and insecticidal activity of *Agave americana* leaf extract towards *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Macedo, M., Oliveira, C.F.R., Oliveira, C. (2015).** Insecticidal activity of plant lectins and potential application in crop protection. *Molecules* 20:2014–2033
- Manzur-Valdespino, S., Arias-Rico, J., Ramírez-Moreno, E., Sánchez-Mata, M.D., Jaramillo-Morales, O.A., Angel-Garcia, J., Zafra-Rojas, Q.Y., Barrera-Gálvez, R., & Cruz-Cansino, N.D. (2022).** Applications and Pharmacological Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Peel: A Review. *Life*, 12.

- Marchioro, C.A.; Krechemer, F.S.; Foerster, L.A. (2016).** Estimating the development rate of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), using linear and non-linear models. *Pest Manag. Sci.*, 73, 1486–1493.
- Margaritopoulos, J.T., Tsitsipis, J.A., & Perdikis, D.C. (2003).** Biological characteristics of the mirids *Macrolophus costalis* and *Macrolophus pygmaeus* preying on the tobacco form of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Bulletin of Entomological Research*, 93, 39 - 45.
- Martins, M., Ribeiro, M.H., & Almeida, C.M. (2023).** Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*, 12.
- Mata, L., Knapp, R.A., McDougall, R., Overton, K., Hoffmann, A.A., & Umina, P.A. (2024).** Acute toxicity effects of pesticides on beneficial organisms – Dispelling myths for a more sustainable use of chemicals in agricultural environments. *BioRxiv*, 930, 17252.
- Matos, T. (2011).** Evolução das populações de *Tuta absoluta* (Meyrick) e meios de protecção em ambiente empresarial vocacionado para exportação. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre. ISA, Lisboa.
- Mawa, S., Husain, K., & Jantan, I. (2013).** *Ficus carica* L. (Moraceae): Phytochemistry, Traditional Uses and Biological Activities. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM, 2013.
- McDougall, R., Mata, L., Ward, S., Hoffmann, A.A., & Umina, P.A. (2024).** Assessing the sub-lethal impacts of insecticides on aphid parasitoids through laboratory-based studies. *Austral Entomology*, 63, 119 - 129.
- Melgar, B., Días, M.I., Ćirić, A., Soković, M.D., Garcia-Castello, E.M., Rodriguez-Lopez, A.D., Barros, L., & Ferreira, I.C. (2017).** By-product recovery of *Opuntia* spp. peels: Betalainic and phenolic profiles and bioactive properties. *Industrial Crops and Products*, 107, 353-359.
- Meziant, L., Bachir-bey M. (2023).** *Ficus carica* L. as a Source of Natural Bioactive Flavonoids. In: Ramadan, M.F. (eds) *Fig (Ficus carica): Production, Processing, and Properties*. Springer, Cham, 417-465.
- Miranda, R.A., Silva, B., de Moura, E.G., & Lisboa, P.C. (2022).** Pesticides as endocrine disruptors: programming for obesity and diabetes. *Endocrine*, 79, 437-447.

Moerkens, R., Berckmoes, E., Van Damme, V., Ortega-Parra, N., Hanssen, I.M., Wuytack, M., Wittemans, L., Casteels, H., Tirry, L., De Clercq, P., & De Vis, R.M. (2016). High population densities of *Macrolophus pygmaeus* on tomato plants can cause economic fruit damage: interaction with Pepino mosaic virus? *Pest management science*, 72 7, 1350-8.

Mohamed, E.S., Mahmoud, M.E., Elhaj, M.A., Mohamed, S.A., & Ekesi, S. (2015). Host plants record for tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) in Sudan. *Eppo Bulletin*, 45, 108-111.

Monagas, M., Brendler, T., Brinckmann, J.A., Dentali, S.J., Gafner, S., Giancaspro, G.I., Johnson, H., Kababick, J.P., Ma, C., Oketch-Rabah, H.A., Pais, P., Sarma, N., & Marles, R.J. (2022). Understanding plant to extract ratios in botanical extracts. *Frontiers in Pharmacology*, 13.

Moreira, H., (2011). Ação de inseticidas de origem natural sobre o escaravelho-da-batateira e influência na produtividade e na qualidade de batata. Dissertação de Mestrado. IPVC. Ponte de Lima

Moreira, O., de Souza, J., Candido, J., do Nascimento, M., Penna, E., Chellini, P., de Oliveira, M. (2022). Capillary Electrophoresis Applied to Human Urine Analysis for Clinical Diagnosis: New Trends and Perspectives. *Brazilian Journal of Analytical Chemistry*, 10(39), pp. 17-51.

Moussa, S.G., Sharma, A., Baiomy, F., & El-Adl, F.E. (2013). The Status of Tomato Leafminer; *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Egypt and Potential Effective Pesticides, 6(3), pp. 110-115.

Moussa-Ayoub, T.E., Jaeger, H., Youssef, K.M., Knorr, D., El-Samahy, S.K., Kroh, L.W., & Rohn, S. (2016). Technological characteristics and selected bioactive compounds of *Opuntia dillenii* cactus fruit juice following the impact of pulsed electric field pre-treatment. *Food chemistry*, 210, 249-61.

Murugan, J.M., Ramkumar, G., Mwang'onde, B.J., Thomas, A., Mihale, M.J., Muthusamy, R., Shivakumar, M.S., & Kweka, E.J. (2023). Isolation, characterization and docking analysis of insecticidal compound from *Ocimum canum* methanolic leaf extracts and its potential against three mosquito vectors. *Journal of Natural Pesticide Research*.

Murugan, K., Hwang, J. S., & Benelli, G. (2023). Essential oils and phenolic compounds in pest control: Mode of action, recent advances and future prospects. *Industrial Crops and Products*, 202, 116859.

Murugesan, R.A., Vasuki, K.P., Kaleeswaran, B., Santhanam, P., Ravikumar, S., Alwahibi, M.S., Soliman, D.A., Almunqedhi, B.M., & Alkahtani, J. (2021). Insecticidal and repellent activities of *Solanum torvum* (Sw.) leaf extract against stored grain Pest, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of King Saud University - Science*.

Mustafa, K., Yu, S., Zhang, W., Mohamed, H., Naz, T., Xiao, H., Liu, Y., Nazir, Y., Fazili, A. B. A., Nosheen, S., Bai, X., & Song, Y. (2021). Screening, characterization, and in vitro-ROS dependent cytotoxic potential of extract from *Ficus carica* against hepatocellular (HepG2) carcinoma cells. *South African Journal of Botany*, 138, 217–226.

Naboulsi, I., El Fakhouri, K., Lamzira, R., Ramdani, C., Bitchagno, G.T., Boulamtat, R., Bakrim, W.B., Mahdi, I., Aboulmouhajir, A., Yasri, A., El Bouhssini, M., Ward, J.L., & Sobeh, M. (2022). Insecticidal Activities of *Atriplex halimus* L., *Salvia rosmarinus* Spenn. and *Cuminum cyminum* L. against *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) under Laboratory and Greenhouse Conditions. *Insects*, 13.

Nagegowda, D.A. (2010). Plant volatile terpenoid metabolism: Biosynthetic genes, transcriptional regulation and subcellular compartmentation. *FEBS Letters*, 584.

Nawade, B., Shaltiel-Harpaz, L., Yahyaa, M., Bosamia, T. C., Kabaha, A., Kedoshim, R., Zohar, M., Isaacson, T., & Ibdah, M. (2020). Analysis of apocarotenoid volatiles during the development of *Ficus carica* fruits and characterization of carotenoid cleavage dioxygenase genes. *Plant Science*, 290, 110292.

Ngegba, P. M., Cui, G., Khalid, M. Z., & Zhong, G. (2022). Use of Botanical Pesticides in Agriculture as an Alternative to Synthetic Pesticides. *Agriculture*, 12(5), 600. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050600>

Nia, B., Frah, N., & Azoui, I. (2015). Insecticidal activity of three plants extracts against *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) and their phytochemical screening. *Acta Agriculturae Slovenica*, 105, 261-267.

Nobsathian, S., Saiyaitong, C., Koul, O., Pluempanupat, W., Bullangpoti, V., & Kumrungsee, N. (2021). The insecticidal potential of *Piper ribesoides* (Piperales: Piperaceae) extracts and isolated allelochemicals and their impact on the detoxification enzymes of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Phytoparasitica*, 49, 659 - 673.

Nova, I. C., Nascimento, J. S., Navarro, D. M. A. F., Almeida, W. A., Napoleão, T. H., & Pontual, E. V. (2018). Efeito do extrato de cladódios de *Opuntia ficus-indica* na sobrevivência de larvas de *Aedes aegypti*. *Scientific Research and Reviews*, 7, 58.

Nova, I.C., de Almeida, W.A., Procópio, T.F., Godoy, R.S., Miranda, F.R., Barbosa, R.C., Nascimento, J.D., Paiva, P.M., Ferreira, M.R., Soares, L.A., Pimenta, P.F., Martins, G.F., Navarro, D.M., Napoleão, T.H., & Pontual, E.V. (2022). Extract from *Opuntia ficus-indica* cladode delays the *Aedes aegypti* larval development by inducing an axenic midgut environment. *Archives of insect biochemistry and physiology*, e21872.

Oliveira, A. P., Baptista, P., Andrade, P. B., Martins, F., Pereira, J. A., Silva, B. M., & Valentão, P. (2012). Characterization of *Ficus carica* L. cultivars by DNA and secondary metabolite analysis: Is genetic diversity reflected in the chemical composition? *Food Research International*, 49, 710–719.

Oliveira, A. P., Valentão, P., Pereira, J. A., Silva, B. M., Tavares, F., & Andrade, P. B. (2009). *Ficus carica* L.: Metabolic and biological screening. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2841–2846.

Ouarhach, A., Ait said, L., Aboussaid, H., Ghalbane, I., El Messoussi, S., & Romane, A. (2022). Evaluation of insecticidal activity of *Lavandula coronopifolia* essential oil against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* Wiedemann. (Diptera: Tephritidae). *South African Journal of Botany*, 149, pp. 748-753.

Ouarhach, A., Bellahcen, M., Gharby, S., & Harhar, H. (2022). Essential oil from *Lavandula coronopifolia*: Composition, insecticidal properties and selectivity towards beneficial insects. *South African Journal of Botany*, 149, 400–407.

Ouerghemmi, I., Harbeoui, H., Wannas, W.A., Rebey, I.B., Hammami, M., Marzouk, B., & Tounsi, M.S. (2017). Phytochemical composition and antioxidant activity of Tunisian cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.) flower. *Journal of Food Biochemistry*, 41.

Oyedeji, A.O., Okunowo, W.O., Osuntoki, A.A., Olabode, T., & Ayo-Folorunso, F. (2020). Insecticidal and biochemical activity of essential oil from *Citrus sinensis* peel and constituents on *Callosobrunchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 168, 104643.

Paiva, P.M., Santana, G.M., Souza, I., Albuquerque, L.P., Agra-Neto, A.C., Albuquerque, A.C., Luz, L.A., Napoleão, T.H., & Coelho, L.C. (2011). Effect of lectins from *Opuntia ficus-indica* cladodes and *Moringa oleifera* seeds on survival of *Nasutitermes corniger*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65, 982-989.

Paiva, P., Pontual E., Napoleão T., Coelho L. (2013). Lectins and trypsin inhibitors from plants. Biochemical characteristics and adverse effects on insect larvae. Nova Science Publishers Inc., New York

Palmeira, L.R., Pereira, C., Días, M.I., Abreu, R.M., Corrêa, R.C., Pires, T.C., Alves, M.J., Barros, L., & Ferreira, I.C. (2019). Nutritional, chemical and bioactive profiles of different parts of a Portuguese common fig (*Ficus carica* L.) variety. *Food research international*, 126, 108572.

Pande, G., & Akoh, C. C. (2010). Organic acids, antioxidant capacity, phenolic content and lipid characterisation of Georgia-grown underutilized fruit crops. *Food Chemistry*, 120, 1067–1075.

Pandey, M.P., Bhattarai, N., Pandey, P., Chaudhary, P., Katuwal, D.R., & Khanal, D. (2023). A review on biology and possible management strategies of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick), Lepidoptera: Gelechiidae in Nepal. *Heliyon*, 9.

Pavela, R., & Vrchotová, N. (2013). Insecticidal effect of furanocoumarins from fruits of *Angelica archangelica* L. against larvae *Spodoptera littoralis* Boisd. *Industrial Crops and Products*, 43, 33-39.

Pavela, R. (2016). History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a review. *Plant protection science*, 52, 229-241.

Peng, J., Chen, Z., Chen, X., Zheng, R., Lu, S., Seyab, M., Yang, F., Li, Q., & Tang, Q. (2023). Insecticidal potential of a *Consolida ajacis* extract and its major compound (ethyl linoleate) against the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 195, 105557.

Pengsook, A., Puangsomchit, A., Yooboon, T., Bullangpoti, V., & Pluempanupat, W. (2020). Insecticidal activity of isolated phenylpropanoids from *Alpinia galanga* rhizomes against *Spodoptera litura*. *Natural Product Research*, 35, 5261 - 5265.

- Perdikis D., Kapaxidi E., Papadoulis G. (2008).** Biological control of insect and mite pests in greenhouse solanaceous crops. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol.*, 2(1), 125-144.
- Perdikis, D.C., Fantinou, A.A., & Lykouressis, D.P. (2011).** Enhancing pest control in annual crops by conservation of predatory Heteroptera. *Biological Control*, 59, 13-21.
- Pereira, C., López-Corrales, M., Serradilla, M. J., del Villalobos, M. C., Ruiz-Moyano, S., & Martín, A. (2017).** Influence of ripening stage on bioactive compounds and antioxidant activity in nine fig (*Ficus carica* L.) varieties grown in Extremadura, Spain. *Journal of Food Composition and Analysis*, 64, 203–212.
- Pereira, C., Martín, A., López-Corrales, M., Córdoba, M.D., Galván, A.I., & Serradilla, M.J. (2020).** Evaluation of the Physicochemical and Sensory Characteristics of Different Fig Cultivars for the Fresh Fruit Market. *Foods*, 9.
- Petkova, N., Ivanov, I., Denev, P. (2019).** Changes in phytochemical compounds and antioxidant potential of fresh, frozen, and processed figs (*Ficus carica* L.). *International Food Research Journal*, 26, 1881–1888.
- Pimentel, C.S., Albuquerque, B.N., da Rocha, S.K., Dutra, K.D., Silva, D.G., dos Santos, F.H., Vieira, G.J., Oliveira, H.V., Paiva, P.M., Napoleão, T.H., & Navarro, D.M. (2023).** Insecticidal potential of essential oil from inflorescences of *Etilingera elatior* and its major constituents against *Sitophilus zeamais*. *Industrial Crops and Products*, 203, 117154.
- Pinto, T., Aires, A., Cosme, F., Bacelar, E.A., Morais, M.C., Oliveira, I., Ferreira-Cardoso, J.V., Anjos, R., Vilela, A., & Gonçalves, B. (2021).** Bioactive (Poly)phenols, Volatile Compounds from Vegetables, Medicinal and Aromatic Plants. *Foods*, 10.
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V.L., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A.J. (2016).** Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220-229.
- Prasannakumar, N.R., Jyothi, N., Saroja, S.G., & Lokesha, A.N. (2023).** Insecticidal properties of *Ocimum basilicum* and *Mentha piperita* essential oils against South American Tomato moth, *Phthorimaea absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelichiidae). *Pesticide biochemistry and physiology*, 190, 105329.

- Pumnuan, J., Namee, D., Sarapothong, K., Doungnapa, T., Phutphat, S., Pattamadilok, C., & Thipmanee, K. (2022).** Insecticidal activities of long pepper (*Piper retrofractum* Vahl) fruit extracts against seed beetles (*Callosobruchus maculatus* Fabricius, *Callosobruchus chinensis* Linnaeus, and *Sitophilus zeamais* Motschulsky) and their effects on seed germination. *Heliyon*, 8.
- Qi, Y., Wang, J., Zheng, Y., Zhang, J., & Du, S. (2023).** Chemical composition and insecticidal activities of *Blumea balsamifera* (sambong) essential oil against three stored product insects. *Journal of food protection*, 100205.
- Qin, H., Zhou, G., Peng, G., Li, J., & Chen, J. (2015).** Application of ionic liquid-based ultrasound-assisted extraction of five phenolic compounds from fig (*Ficus carica* L.) for HPLC-UV. *Food Analytical Methods*, 8, 1673–1681.
- Qodriah, R., Kumala, S., Syamsudin, S., Yuliana, N., Simanjuntak, P., & Putri, E. (2023).** Identification of antioxidant compounds in fig leaves (*Ficus carica* L) fractions using LCMS-MS. *Sciences of Pharmacy*.
- Rahmasita, R., Nuryanti, S., Supriadi, S. (2021).** Analysis of Flavonoid Levels in Tin (*Ficus carica* Linn) Fruit. *Jurnal Akademika Kimia*, 10(1), pp.32-35.
- Ramadan, M.F., & Mörsel, J.T. (2003).** Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill] peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83, 447-456.
- Rasouli, F., Abbasipour, H., & Rezazadeh, A. (2004).** Evaluation of the chinaberry *Melia azedarach* extract against the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in vitro. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 83(1),1-8.
- Rasoulpour, R., Afsharifar, A., Izadpanah, K., & Aminlari, M. (2017).** Purification and characterization of an antiviral protein from prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cladode. *Crop Protection*, 93, 33-42.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J.T. (2012).** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual review of entomology*, 57, 405-24.
- Regulamento (CE) n.º 1107/2009, de 21 de outubro de 2009,** relativo à colocação dos produtos fitofarmacêuticos no mercado e que revoga as Diretivas 79/117/CEE e 91/414/CEE

do Conselho. JO L 309/1. Disponível online em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32009R1107> (acedido em 5 de março de 2024).

Ribeiro, I.A., Da Silva, R.Z., da Silva, A.G., Milet-Pinheiro, P., Paiva, P.M., Navarro, D.M., da Silva, M.V., Napoleão, T.H., & Correia, M.T. (2020). Chemical characterization and insecticidal effect against *Sitophilus zeamais* (maize weevil) of essential oil from *Croton rudolphianus* leaves. *Crop Protection*, 129, 105043.

Rodrigues, C., Paula, C.D., Lahbouki, S., Meddich, A., Outzourhit, A., Rashad, M., Pari, L., Coelhoso, I.M., Fernando, A.L., & Souza, V.G. (2023). *Opuntia* spp.: An Overview of the Bioactive Profile and Food Applications of This Versatile Crop Adapted to Arid Lands. *Foods*, 12.

Rundlöf, M., Andersson, G.K., Bommarco, R., Fries, I., Hederström, V., Herbertsson, L., Jonsson, O., Klatt, B.K., Pedersen, T.R., Yourstone, J., & Smith, H.G. (2015). Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature*, 521, 77-80.

Russo, M. T., di Sanzo, R., Cefaly, V., Fuda, S., Postorino, S., & Suraci, F. (2010). Quality and nutritional composition of dried figs: A traditional Calabria region (Italy) product. In ISHS Acta Horticulturae 939: XXVIII international horticultural congress on science and horticulture for people (IHC2010): International symposium on emerging health topics in fruits and vegetables (pp. 189–196).

Rwomushana, I., Beale, T., Chipabika, G., Day, R.K., González-Moreno, P., Lamontagne-Godwin, J., Makale, F., Pratt, C., & Tambo, J.A. (2019). Evidence Note Tomato leafminer (*Tuta absoluta*): Impacts and coping strategies for Africa, 12, pp. 56.

Salazar, A.M., Arismendi, N., López, M.D., Vargas, M., Schoebitz, M., Palacio, D.A., Becerra, J., Cedeño, B., & Zapata, N. (2022). Stability of the oil-based nanoemulsion of *Laureliopsis philippiana* (Looser) and its insecticidal activity against tomato borer (*Tuta absoluta* Meyrick). *Industrial Crops and Products*.

Salazar, R. D., Fuentes, J. A., & Rodríguez, J. L. (2022). Nanoparticle-based botanical insecticides: Increased efficacy and reduced environmental impact. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 185, 105115.

- Sanchez, J. A., Cassis, G. (2018).** Towards solving the taxonomic impasse of the biocontrol plant bug subgenus *Dicyphus* (*Dicyphus*) (Insecta: Heteroptera: Miridae) using molecular, morphometric and morphological partitions. *Zool. J. Linn. Soc.*
- Sanchez, J.A., López-Gallego, E., Pérez-Marcos, M., Perera-Fernández, L.G., & Ramírez-Soria, M.J. (2018).** How Safe Is It to Rely on *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae) as a Biocontrol Agent in Tomato Crops? *Frontiers in Ecology and Evolution.*
- Sandhu, A.K., Islam, M., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. (2023).** Phytochemical Composition and Health Benefits of Figs (Fresh and Dried): A Review of Literature from 2000 to 2022. *Nutrients*, 15.
- Santana, G.M., Albuquerque, L.P., Simões, D.A., Coelho, L.C., Paiva, P.M., & Gusmão, N.B. (2009).** Isolation of lectin from *Opuntia ficus-indica* cladodes, 811(811), pp. 281-286.
- Santos, M.F., Krüger, A.P., Krüger, A.P., Turchen, L.M., Cutler, G.C., Oliveira, E., Guedes, R., & Guedes, R. (2018).** Non-targeted insecticidal stress in a pest species: insecticides, sexual fitness and hormesis in the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros*. *Annals of Applied Biology*, 172, 375–383.
- Santos, P. (2022).** Influência da colonização da rizosfera na seleção de hospedeiro vegetal por mirídeos predadores. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre. UL, Lisboa.
- Saravanan, G. (2022).** Plants and phytochemical activity as botanical pesticides for sustainable agricultural crop production in India-MiniReview. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9(10):100345.
- Shashank, P.R., Chandrashekar, K., Meshram, N.M., & Sreedevi, K. (2015).** Occurrence of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) An invasive pest from India. *Indian journal of entomology*, 77, 323-329.
- Shiberu, T., & Getu, E. (2017).** Biology of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under different temperature and relative humidity. *Journal of Horticulture and Forestry*, 9, 66-73.
- Shoukat, R., Cappai, M., Pia, G., & Pilia, L. (2023).** An Updated Review: *Opuntia ficus indica* (OFI) Chemistry and Its Diverse Applications. *Applied Sciences*, 13(13), 7724.

Silva, A.B., Montagnini, D.L., Katchborian-Neto, A., Andrade, J.V., Manuquian, H.A., Cavallari, P.S., Almeida, S.G., Barbosa, E.P., Cunha, W.R., Soares, M.G., Santos, M.F., Silva, M.L., & Vacari, A.M. (2023). Insecticidal activity of extracts of *Androanthus impetiginosus* on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: plutellidae) larvae. *Natural product research*, 1-8.

Silva, D.B., Bueno, V.H., Lins, J.C., & Lenteren, J.C. (2015). Life history data and population growth of *Tuta absoluta* at constant and alternating temperatures on two tomato lines. *Bulletin of Insectology*, 68, 223-232.

Silva, M. A., Albuquerque, T. G., Pereira, P., Ramalho, R., Vicente, F., Oliveira, M. B. P. P., & Costa, H. S. (2021). *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.: A Multi-Benefit Potential to Be Exploited. *Molecules*, 26(4), 951.

Slimen, I.B., Najar, T., & Abderrabba, M. (2016). *Opuntia ficus-indica* as a Source of Bioactive and Nutritional Phytochemicals. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 4, 162.

Slimen, I.B., Najar, T., & Abderrabba, M. (2020). Bioactive Compounds of Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Reference Series in Phytochemistry*.

Smith, J.D., Dubois, T., Mallogo, R., Njau, E.A., Tua, S., & Srinivasan, R. (2018). Host Range of the Invasive Tomato Pest *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) on Solanaceous Crops and Weeds in Tanzania. *Florida Entomologist*, 101, 573 - 579.

Soltana, H., de Rosso, M., Lazreg, H., Vedova, A. D., Hammami, M., & Flamini, R. (2018). LC-QTOF characterization of non-anthocyanic flavonoids in four Tunisian fig varieties. *Journal of Mass Spectrometry*, 53, 817–823.

Son, D., Bonzi, S., Somda, I., Bawin, T., Boukraa, S., Verheggen, F.J., Francis, F., Legrève, A., & Schiffers, B. (2017). First Record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso. *African Entomology*, 25, 259 - 263.

Speer, H., D'Cunha, N.M., Alexopoulos, N.I., Mckune, A.J., & Naumovski, N. (2020). Anthocyanins and Human Health—A Focus on Oxidative Stress, Inflammation and Disease. *Antioxidants*, 9.

Sylla, S., Brévault, T., Diarra, K., Béarez, P., & Desneux, N. (2016). Life-History Traits of *Macrolophus pygmaeus* with Different Prey Foods. *PLoS ONE*, 11.

Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Komla, M.G., & MARIOD, A.A. (2019). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) as a Source of Bioactive Compounds. *Wild Fruits: Composition, Nutritional Value and Products*, pp. 333-358.

Takahashi, T., Okiura, A., Kohno, M. (2017). Phenylpropanoid composition in fig (*Ficus carica* L.) leaves. *Journal of Natural Medicines*, 71, 770–775.

Tarusikirwa, V. L., Machekano, H., Mutamiswa, R., Chidawanyika, F., & Nyamukondiwa, C. (2020). *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) on the “Offensive” in Africa: Prospects for Integrated Management Initiatives. *Insects*, 11(11), 764.

Urbaneja, A., Montón, H., & Mollá, Ó. (2009). Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. *Journal of Applied Entomology*, 133.

Uysal, S., Zengin, G., Aktumsek, A., & Karatas, S. (2015). Fatty acid composition, Total sugar content and anti-diabetic activity of methanol and water extracts of nine different fruit tree leaves collected from Mediterranean region of Türkiye. *International Journal of Food Properties*, 18, 2268–2276.

Vallejo, F., Marín, J. G., & Tomás-Barberán, F. A. (2012). Phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.). *Food Chemistry*, 130, 485–492.

Vandenborre, G., Smaghe, G., & Van Damme, E.J. (2011). Plant lectins as defense proteins against phytophagous insects. *Phytochemistry*, 72 13, 1538-50 .

Velasques, J., Cardoso, M.H., Abrantes, G., Frihling, B., Franco, O.L., & Migliolo, L. (2017). The rescue of botanical insecticides: A bioinspiration for new niches and needs. *Pesticide biochemistry and physiology*, 143, 14-25.

Villard, C., Larbat, R., Munakata, R., & Hehn, A. (2019). Defence mechanisms of *Ficus*: pyramiding strategies to cope with pests and pathogens. *Planta*, 249, 617 - 633. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03098-2>

Visakh, N.U., Pathrose, B., Chellappan, M., Ranjith, M., Sindhu, P.V., & Mathew, D. (2023). Extraction and chemical characterisation of agro-waste from turmeric leaves as a source of bioactive essential oils with insecticidal and antioxidant activities. *Waste management*, 169, 1-10.

- Visakh, C., Ramasubramanian, T., & Suresh, S. (2023).** Potential of plant-based insecticides: A review on their bioactivity, mechanisms and resistance management. *Journal of Environmental Management*, 332, 117333.
- Viuda-Martos, M., Barber, X., Pérez-Álvarez, J.A., Fernández-López, J. (2015).** Assessment of chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of fig (*Ficus carica* L.) powder co-products. *Industrial Crops and Products*, 69, 472-479.
- Vivekanandhan, P., Swathy, K., Sarayut, P., & Patcharin, K. (2024).** Biology, classification, and entomopathogen-based management and their mode of action on *Tuta absoluta* (Meyrick) in Asia. *Frontiers in Microbiology*, 15.
- Walkowiak-Nowicka, K., Mirek, J., Chowański, S., Sobkowiak, R., & Słocińska, M. (2023).** Plant secondary metabolites as potential bioinsecticides? Study of the effects of plant-derived volatile organic compounds on the reproduction and behaviour of the pest beetle *Tenebrio molitor*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 257, 114951.
- Wang, T., Jiao, J., Gai, Q.-Y., Wang, P., Guo, N., Niu, L.-L., Fu, Y.-J. (2017).** Enhanced and green extraction polyphenols and furanocoumarins from Fig (*Ficus carica* L.) leaves using deep eutectic solvents. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 145, 339–345.
- Wani, S.P., Rajput, A., & Pingale, P.L. (2023).** Herbal nano-formulations: a magical remedy for management of fungal diseases. *Journal of Herbal Medicine*, 42, 100810.
- WHO, (2023).** Standard operating procedure for testing the susceptibility of adult sand flies to insecticides in WHO bottle bioassays. Geneva: World Health Organization. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Wiwattanawanichakun, P., Saehlee, S., Yooboon, T., Kumrungsee, N., Nobsathian, S., & Bullangpoti, V. (2022).** Toxicity of isolated phenolic compounds from *Acorus calamus* L. to control *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9, 1-9.
- Wojdyło, A., Nowicka, P., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Hernández, F. (2016).** Phenolic compounds, antioxidant and antidiabetic activity of different cultivars of *Ficus carica* L. fruits. *Journal of Functional Foods*, 25, 421–432.

Wu, Z., Wei, W., Cheng, K., Zheng, L., Ma, C., & Wang, Y. (2020). Insecticidal activity of triterpenoids and volatile oil from the stems of *Tetraena mongolica*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 166, 104551.

Yemiş, O., Bakkalbaşı, E., Artık, N. (2012). Changes in pigment profile and surface colour of fig (*Ficus carica* L.) during drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 47, 1710–1719.

Yiacoumi, E., Kouloussis, N. A., & Koveos, D. S. (2024). Effect of Sex, Age and Temperature on the Functional Response of *Macrolophus pygmaeus* Rambur and *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Heteroptera: Miridae) on Eggs of *Tuta absoluta*. *Insects*, 15(7), 485.

Zhang, L., Zhang, Y., He, Y., Dai, H., Shu, Z., Zhang, W., & Bi, J. (2023). The component of the *Chamaecyparis obtusa* essential oil and insecticidal activity against *Tribolium castaneum* (Herbst). *Pesticide biochemistry and physiology*, 195, 105546.

Zhang, X., Wang, X., Liu, L., Wang, W., Liu, Y., Deng, Q., Zhang, H., Wang, X., & Xia, H. (2020). Evaluation of the comparative morphological and quality in fig (Sichuan, China) with different colors under different ripening stages. *Scientia Horticulturae*, 265, 109256.

Zhao, C., Li, S., Li, C., Wang, T., Tian, Y., & Li, X. (2021). Flavonoids from fig (*Ficus carica* Linn.) leaves: The development of a new extraction method and identification by UPLC-QTOF-MS/MS. *Applied Sciences*, 11, 7718.

Zhao, R., Wang, H., Gao, J., Zhang, Y., Li, X., Zhou, J., Liang, P., Gao, X., & Gu, S. (2022). Plant volatile compound methyl benzoate is highly effective against *Spodoptera frugiperda* and safe to non-target organisms as an eco-friendly botanical-insecticide. *Ecotoxicology and environmental safety*, 245, 114101.

Zidi, K., Kati, D. E., Bachir-bey, M., Genva, M., & Fauconnier, M.-L. (2021). Comparative study of fig volatile compounds using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry: Effects of cultivars and ripening stages. *Frontiers in Plant Science*, 12, 667809.

Zimmermann, R.C., Aragão, C.E., Araújo, P.J., Benatto, A., Chaaban, A., Martins, C.E., Amaral, W.D., Cipriano, R.R., & Zawadneak, M.A. (2021). Insecticide activity and toxicity of essential oils against two stored-product insects. *Crop Protection*, 144, 105575.

ANEXO I

RESULTADOS ESTATÍSTICOS

RESULTADOS ESTATÍSTICOS

Quadro A1.1a. Resultados estatísticos referentes ao número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas por repetição, na amostragem efetuada 24 horas após a realização dos tratamentos.

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
EF01	5	1,8000	1,09545	,48990	1,00	3,00
EF02	5	1,0000	1,00000	,44721	,00	2,00
EC03	5	,6000	,54772	,24495	,00	1,00
EC04	5	,6000	,54772	,24495	,00	1,00
Controlo	5	,2000	,44721	,20000	,00	1,00
Total	25	,8400	,89815	,17963	,00	3,00

Quadro A1.1b. Resultados estatísticos referentes ao número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas na amostragem efetuada 24 horas após a realização dos tratamentos.

		Statistic	Std. Error
Mortalidade	Mean	,8400	,17963
	5% Trimmed Mean	,7667	
	Median	1,0000	
	Variance	,807	
	Range	3,00	
	Interquartile Range	1,00	
	Skewness	,987	,464
	Kurtosis	,874	,902

Quadro A1.2. Teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk, para amostras inferiores a 30, e de Kolmogorov-Smirnov, para amostras de dimensão superior a 30).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mortalidade	,269	25	<,001	,790	25	<,001

^a Lilliefors Significance Correction

Quadro A1.3. Análise de variâncias para o número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas por repetição, na amostragem efetuada 24 horas após a realização dos tratamentos

Dependent Variable: Mortalidade

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7,360 ^a	4	1,840	3,067	,040
Intercept	17,640	1	17,640	29,400	<,001
Tratamentos	7,360	4	1,840	3,067	,040
Error	12,000	20	,600		
Total	37,000	25			
Corrected Total	19,360	24			

^a R Squared = ,380 (Adjusted R Squared = ,256)

Quadro A1.4. Teste de comparação múltipla (Tukey-HSD) das mortalidades médias de lagartas de *Tuta absoluta* para cada tratamento, 24 horas após a sua aplicação.

Dependent Variable: Mortalidade

Tukey HSD

(I) Tratamentos	(J) Tratamentos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
EF01	EF02	0,80000	0,48990	0,495	-0,6660	2,2660
	EC03	1,20000	0,48990	0,143	-0,2660	2,6660
	EC04	1,20000	0,48990	0,143	-0,2660	2,6660
	Controlo	1,60000*	0,48990	0,028	0,1340	3,0660
EF02	EF01	-0,80000	0,48990	0,495	-2,2660	0,6660
	EC03	0,40000	0,48990	0,922	-1,0660	1,8660
	EC04	0,40000	0,48990	0,922	-1,0660	1,8660
	Controlo	0,80000	0,48990	0,495	-0,6660	2,2660
EC03	EF01	-1,20000	0,48990	0,143	-2,6660	0,2660
	EF02	-0,40000	0,48990	0,922	-1,8660	1,0660
	EC04	0,00000	0,48990	1,000	-1,4660	1,4660
	Controlo	0,40000	0,48990	0,922	-1,0660	1,8660
EC04	EF01	-1,20000	0,48990	0,143	-2,6660	0,2660
	EF02	-0,40000	0,48990	0,922	-1,8660	1,0660
	EC03	0,00000	0,48990	1,000	-1,4660	1,4660
	Controlo	0,40000	0,48990	0,922	-1,0660	1,8660
Controlo	EF01	-1,60000*	0,48990	0,028	-3,0660	-0,1340
	EF02	-0,80000	0,48990	0,495	-2,2660	0,6660
	EC03	-0,40000	0,48990	0,922	-1,8660	1,0660
	EC04	-0,40000	0,48990	0,922	-1,8660	1,0660

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Quadro A1.5a. Resultados estatísticos referentes ao número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas por repetição, na amostragem efetuada 48 horas após a realização dos tratamentos.

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
EF01	5	2,4000	1,34164	0,60000	0,7341	4,0659
EF02	5	1,4000	0,89443	0,40000	0,2894	2,5106
EC03	5	1,0000	0,70711	0,31623	0,1220	1,8780
EC04	5	1,0000	0,70711	0,31623	0,1220	1,8780
Controlo	5	0,4000	0,54772	0,24495	-0,2801	1,0801
Total	25	1,2400	1,05198	0,21040	0,8058	1,6742

Quadro A1.5b. Resultados estatísticos referentes ao número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas na amostragem efetuada 48 horas após a realização dos tratamentos.

		Statistic	Std. Error
Mortalidade	Mean	1,2400	0,21040
	5% Trimmed Mean	1,1667	
	Median	1,0000	
	Variance	1,107	
	Range	4,00	
	Interquartile Range	1,50	
	Skewness	0,877	0,464
	Kurtosis	0,654	0,902

Quadro A1.6. Teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk, para amostras inferiores a 30, e de Kolmogorov-Smirnov, para amostras de dimensão superior a 30).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mortalidade	0,270	25	0,000	0,868	25	0,004

^a Lilliefors Significance Correction

Quadro A1.7. Análise de variâncias para o número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas por repetição, na amostragem efetuada 48 horas após a realização dos tratamentos.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10,960 ^a	4	2,740	3,513	0,025
Intercept	38,440	1	38,440	49,282	0,000
Tratamentos	10,960	4	2,740	3,513	0,025
Error	15,600	20	0,780		
Total	65,000	25			
Corrected Total	26,560	24			

^a R Squared = ,413 (Adjusted R Squared = ,295)

Quadro A1.8. Teste de comparação múltipla (Tukey-HSD) das mortalidades médias de lagartas de *Tuta absoluta* para cada tratamento, 48 horas após a sua aplicação.

Dependent Variable: Mortalidade

Tukey HSD

(I) Tratamentos	(J) Tratamentos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
EF01	EF02	1,00000	0,55857	0,406	-0,6714	2,6714
	EC03	1,40000	0,55857	0,129	-0,2714	3,0714
	EC04	1,40000	0,55857	0,129	-0,2714	3,0714
	Controlo	2,00000*	0,55857	0,015	0,3286	3,6714
EF02	EF01	-1,00000	0,55857	0,406	-2,6714	0,6714
	EC03	0,40000	0,55857	0,950	-1,2714	2,0714
	EC04	0,40000	0,55857	0,950	-1,2714	2,0714
	Controlo	1,00000	0,55857	0,406	-0,6714	2,6714
EC03	EF01	-1,40000	0,55857	0,129	-3,0714	0,2714
	EF02	-0,40000	0,55857	0,950	-2,0714	1,2714
	EC04	0,00000	0,55857	1,000	-1,6714	1,6714
	Controlo	0,60000	0,55857	0,817	-1,0714	2,2714
EC04	EF01	-1,40000	0,55857	0,129	-3,0714	0,2714
	EF02	-0,40000	0,55857	0,950	-2,0714	1,2714
	EC03	0,00000	0,55857	1,000	-1,6714	1,6714
	Controlo	0,60000	0,55857	0,817	-1,0714	2,2714
Controlo	EF01	-2,00000*	0,55857	0,014	-3,6714	-0,3286
	EF02	-1,00000	0,55857	0,406	-2,6714	0,6714
	EC03	-0,60000	0,55857	0,817	-2,2714	1,0714
	EC04	-0,60000	0,55857	0,817	-2,2714	1,0714

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Quadro A1.9a. Resultados estatísticos referentes ao número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas por repetição, na amostragem efetuada 72 horas após a realização dos tratamentos.

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
EF01	5	2,8000	1,30384	0,58310	1,1811	4,4189
EF02	5	1,8000	0,83666	0,37417	0,7611	2,8389
EC03	5	1,4000	0,54772	0,24495	0,7199	2,0801
EC04	5	1,2000	0,83666	0,37417	0,1611	2,2389
Controlo	5	0,8000	0,83666	0,37417	-0,2389	1,8389
Total	25	1,6000	1,08012	0,21602	1,1541	2,0459

Quadro A1.9b. Resultados estatísticos referentes ao número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas na amostragem efetuada 72 horas após a realização dos tratamentos.

		Statistic	Std. Error
Mortalidade	Mean	1,6000	0,21602
	5% Trimmed Mean	1,5556	
	Median	1,0000	
	Variance	1,167	
	Range	4,00	
	Interquartile Range	1,00	
	Skewness	0,690	0,464
	Kurtosis	0,329	0,902

Quadro A1.10. Teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk, para amostras inferiores a 30, e de Kolmogorov-Smirnov, para amostras de dimensão superior a 30).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mortalidade	0,231	25	0,001	0,885	25	0,009

^a Lilliefors Significance Correction

Quadro A1.11. Análise de variâncias para o número médio de lagartas de *Tuta absoluta* mortas por repetição, na amostragem efetuada 72 horas após a realização dos tratamentos.

Dependent Variable: Mortalidade

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11,600 ^a	4	2,900	3,537	0,024
Intercept	64,000	1	64,000	78,049	0,000
Tratamentos	11,600	4	2,900	3,537	0,024
Error	16,400	20	0,820		
Total	92,000	25			
Corrected Total	28,000	24			

^a R Squared = ,414 (Adjusted R Squared = ,297)

Quadro A1.12. Teste de comparação múltipla (Tukey-HSD) das mortalidades médias de lagartas de *Tuta absoluta* para cada tratamento, 72 horas após a sua aplicação.

Dependent Variable: Mortalidade

Tukey HSD

(I) Tratamentos	(J) Tratamentos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
EF01	EF02	1,00000	0,57271	0,430	-0,7138	2,7138
	EC03	1,40000	0,57271	0,144	-0,3138	3,1138
	EC04	1,60000	0,57271	0,075	-0,1138	3,3138
	Controlo	2,00000*	0,57271	0,018	0,2862	3,7138
EF02	EF01	-1,00000	0,57271	0,430	-2,7138	0,7138
	EC03	0,40000	0,57271	0,954	-1,3138	2,1138
	EC04	0,60000	0,57271	0,830	-1,1138	2,3138
	Controlo	1,00000	0,57271	0,430	-0,7138	2,7138
EC03	EF01	-1,40000	0,57271	0,144	-3,1138	0,3138
	EF02	-0,40000	0,57271	0,954	-2,1138	1,3138
	EC04	0,20000	0,57271	0,997	-1,5138	1,9138
	Controlo	0,60000	0,57271	0,830	-1,1138	2,3138
EC04	EF01	-1,60000	0,57271	0,075	-3,3138	0,1138
	EF02	-0,60000	0,57271	0,830	-2,3138	1,1138
	EC03	-0,20000	0,57271	0,997	-1,9138	1,5138
	Controlo	0,40000	0,57271	0,954	-1,3138	2,1138
Controlo	EF01	-2,00000*	0,57271	0,017	-3,7138	-0,2862
	EF02	-1,00000	0,57271	0,430	-2,7138	0,7138
	EC03	-0,60000	0,57271	0,830	-2,3138	1,1138
	EC04	-0,40000	0,57271	0,954	-2,1138	1,3138

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Quadro A1.13a. Resultados estatísticos referentes ao número médio de adultos de *Macrolophus pygmaeus* vivos por repetição, na amostragem efetuada 24 horas após a realização dos tratamentos.

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
EF01	5	6,0000	0,00000	0,00000	6,00	6,00
EF02	5	5,2000	0,83666	0,37417	4,00	6,00
EC03	5	5,4000	0,54772	0,24495	5,00	6,00
EC04	5	5,6000	0,54772	0,24495	5,00	6,00
Controlo	5	6,0000	0,00000	0,00000	6,00	6,00
Total	25	5,6400	0,56862	0,11372	4,00	6,00

Quadro A1.13b. Resultados estatísticos referentes ao número médio de adultos de *Macrolophus pygmaeus* vivos por repetição, na amostragem efetuada 24 horas após a realização dos tratamentos.

		Statistic	Std. Error
Mortalidade	Mean	,8400	,17963
	5% Trimmed Mean	,7667	
	Median	1,0000	
	Variance	,807	
	Range	3,00	
	Interquartile Range	1,00	
	Skewness	,987	,464
	Kurtosis	,874	,902

Quadro A1.14. Teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk, para amostras inferiores a 30, e de Kolmogorov-Smirnov, para amostras de dimensão superior a 30).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mortalidade	0,417	25	0,000	0,643	25	0,000

^a Lilliefors Significance Correction

Quadro A1.15. Análise de variâncias para o número médio de adultos *Macrolophus pygmaeus* vivos por repetição, na amostragem efetuada 24 horas após a realização dos tratamentos.

Dependent Variable: Sobrevivência

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,560 ^a	4	0,640	2,462	0,078
Intercept	795,240	1	795,240	3058,615	0,000
Tratamentos	2,560	4	0,640	2,462	0,078
Error	5,200	20	0,260		
Total	803,000	25			
Corrected Total	7,760	24			

^a R Squared = ,330 (Adjusted R Squared = ,196)

Quadro A1.16. Teste de comparação múltipla (Tukey-HSD) das médias de sobrevivência de adultos *Macrolophus pygmaeus* para cada tratamento, 24 horas após a sua aplicação.

Dependent Variable: Sobrevivência

Tukey HSD

(I) Tratamentos	(J) Tratamentos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
EF01	EF02	0,8000	0,32249	0,135	-0,1650	1,7650
	EC03	0,6000	0,32249	0,369	-0,3650	1,5650
	EC04	0,4000	0,32249	0,729	-0,5650	1,3650
	Controlo	0,0000	0,32249	1,000	-0,9650	0,9650
EF02	EF01	-0,8000	0,32249	0,135	-1,7650	0,1650
	EC03	-0,2000	0,32249	0,970	-1,1650	0,7650
	EC04	-0,4000	0,32249	0,729	-1,3650	0,5650
	Controlo	-0,8000	0,32249	0,135	-1,7650	0,1650
EC03	EF01	-0,6000	0,32249	0,369	-1,5650	0,3650
	EF02	0,2000	0,32249	0,970	-0,7650	1,1650
	EC04	-0,2000	0,32249	0,970	-1,1650	0,7650
	Controlo	-0,6000	0,32249	0,369	-1,5650	0,3650
EC04	EF01	-0,4000	0,32249	0,729	-1,3650	0,5650
	EF02	0,4000	0,32249	0,729	-0,5650	1,3650
	EC03	0,2000	0,32249	0,970	-0,7650	1,1650
	Controlo	-0,4000	0,32249	0,729	-1,3650	0,5650
Controlo	EF01	0,0000	0,32249	1,000	-0,9650	0,9650
	EF02	0,8000	0,32249	0,135	-0,1650	1,7650
	EC03	0,6000	0,32249	0,369	-0,3650	1,5650
	EC04	0,4000	0,32249	0,729	-0,5650	1,3650

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Quadro A1.17a. Resultados estatísticos referentes ao número médio de adultos de *Macrolophus pygmaeus* vivos por repetição, na amostragem efetuada 48 horas após a realização dos tratamentos.

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Minimum	Maximum
EF01	5	5,6000	0,54772	0,24495	5,00	6,00
EF02	5	4,8000	0,83666	0,37417	4,00	6,00
EC03	5	5,4000	0,54772	0,24495	5,00	6,00
EC04	5	5,2000	0,83666	0,37417	4,00	6,00
Controlo	5	5,4000	0,54772	0,24495	5,00	6,00
Total	25	5,2800	0,67823	0,13565	4,00	6,00

Quadro A1.17b. Resultados estatísticos referentes ao número médio de adultos de *Macrolophus pygmaeus* vivos por repetição, na amostragem efetuada 48 horas após a realização dos tratamentos.

		Statistic	Std. Error
Mortalidade	Mean	5,2800	0,13565
	5% Trimmed Mean	5,3111	
	Median	5,0000	
	Variance	0,460	
	Range	2,00	
	Interquartile Range	1,00	
	Skewness	-0,410	0,464
	Kurtosis	-0,680	0,902

Quadro A1.18. Teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk, para amostras inferiores a 30, e de Kolmogorov-Smirnov, para amostras de dimensão superior a 30).

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mortalidade	0,260	25	0,000	0,785	25	0,000

^a Lilliefors Significance Correction

Quadro A1.19. Análise de variâncias para o número médio de adultos *Macrolophus pygmaeus* vivos por repetição, na amostragem efetuada 48 horas após a realização dos tratamentos.

Dependent Variable: Sobrevivência

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,840 ^a	4	0,460	1,000	0,431
Intercept	696,960	1	696,960	1515,130	0,000
Tratamentos	1,840	4	0,460	1,000	0,431
Error	9,200	20	0,460		
Total	708,000	25			
Corrected Total	11,040	24			

^a R Squared = ,167 (Adjusted R Squared = ,000)

Quadro A1.20. Teste de comparação múltipla (Tukey-HSD) das médias de sobrevivência de adultos *Macrolophus pygmaeus* para cada tratamento, 48 horas após a sua aplicação.

Dependent Variable: Sobrevivência

Tukey HSD

(I) Tratamentos	(J) Tratamentos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
EF01	EF02	0,8000	0,42895	0,367	-0,4836	2,0836
	EC03	0,2000	0,42895	0,990	-1,0836	1,4836
	EC04	0,4000	0,42895	0,881	-0,8836	1,6836
	Controlo	0,2000	0,42895	0,990	-1,0836	1,4836
EF02	EF01	-0,8000	0,42895	0,367	-2,0836	0,4836
	EC03	-0,6000	0,42895	0,635	-1,8836	0,6836
	EC04	-0,4000	0,42895	0,881	-1,6836	0,8836
	Controlo	-0,6000	0,42895	0,635	-1,8836	0,6836
EC03	EF01	-0,2000	0,42895	0,990	-1,4836	1,0836
	EF02	0,6000	0,42895	0,635	-0,6836	1,8836
	EC04	0,2000	0,42895	0,990	-1,0836	1,4836
	Controlo	0,0000	0,42895	1,000	-1,2836	1,2836
EC04	EF01	-0,4000	0,42895	0,881	-1,6836	0,8836
	EF02	0,4000	0,42895	0,881	-0,8836	1,6836
	EC03	-0,2000	0,42895	0,990	-1,4836	1,0836
	Controlo	-0,2000	0,42895	0,990	-1,4836	1,0836
Controlo	EF01	-0,2000	0,42895	0,990	-1,4836	1,0836
	EF02	0,6000	0,42895	0,635	-0,6836	1,8836
	EC03	0,0000	0,42895	1,000	-1,2836	1,2836
	EC04	0,2000	0,42895	0,990	-1,0836	1,4836

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.