

A dinâmica das populações de predadores na gestão sustentável de *Phthorimaea absoluta* em estufas de tomate no Entre Douro e Minho

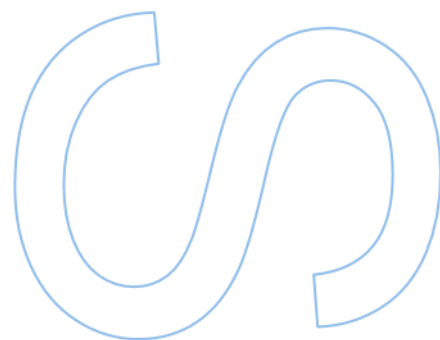
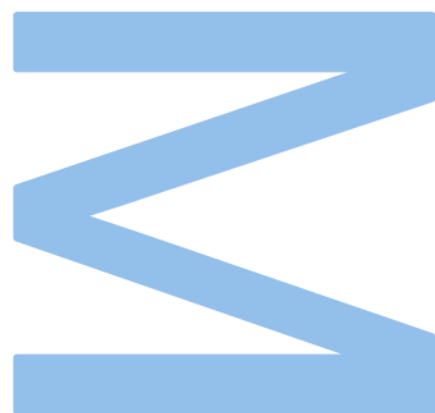
Thauan Souza de Azeredo

Mestrado em Engenharia Agronómica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

2025



A dinâmica das populações de predadores na gestão sustentável de *Phthorimaea absoluta* em estufas de tomate no Entre Douro e Minho

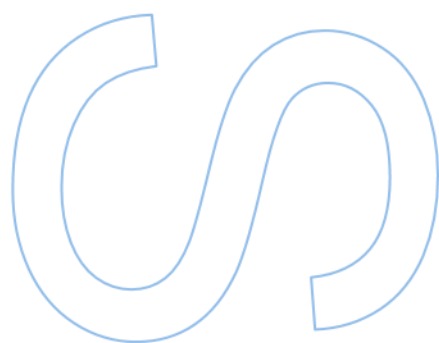
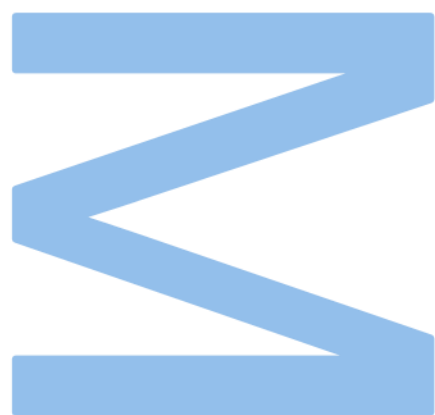
Thauan Souza de Azeredo

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia Agronómica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2025

Orientador

Professora Doutora Ana Álvares Ribeiro Marques de Aguiar,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio de pessoas muito especiais ao longo da minha vida e deste percurso académico.

Quero agradecer, antes de tudo, à Professora Doutora Ana Álvares Ribeiro Marques de Aguiar, pela orientação atenta e pela generosidade com que sempre partilhou o seu conhecimento. O seu acompanhamento foi decisivo para que esta dissertação se concretizasse.

À Investigadora Joana Neto, deixo um agradecimento sincero pela disponibilidade constante, pelas sugestões sempre pertinentes e pelo incentivo ao longo das diferentes etapas desta investigação.

Expresso também a minha gratidão à PAM OP, na pessoa da Eng.^a Sofia Rocha, e aos produtores José Sousa e António Areeiro, por terem possibilitado a execução deste trabalho nas suas produções e pela colaboração prestada durante o desenvolvimento do estudo. Ao GreenUPorto – Centro de Investigação em Produção Agroalimentar Sustentável, agradeço o acolhimento das atividades de investigação e o ambiente científico inspirador que proporcionou.

À minha família, manifesto a mais profunda gratidão. Aos meus pais, pela base sólida de valores, pela confiança e pelo apoio incondicional. À minha companheira, pela paciência e encorajamento, que me sustentaram nos momentos mais exigentes. À minha filha, que é a maior fonte de motivação e alegria, dedico este trabalho como testemunho do futuro que desejo construir para ela.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para esta jornada com palavras, gestos ou simplesmente acreditando em mim.

Resumo

A traça-do-tomate, *Phthorimaea absoluta* (Meyrick, 1917), sin. *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), constitui atualmente um dos principais desafios fitossanitários na cultura do tomate em ambiente protegido, comprometendo a produtividade e a qualidade dos frutos. A crescente ineficácia dos inseticidas químicos, aliada aos seus impactos ambientais, reforça a necessidade de estratégias baseadas no controlo biológico de conservação. O presente estudo teve como objetivo avaliar a diversidade e abundância de inimigos naturais associados a *P. absoluta* em estufas comerciais de tomate no Entre Douro e Minho, relacionando essas comunidades com a flora espontânea adjacente. Para tal, foram monitorizadas três estufas comerciais (RZ, SA e FS) entre maio e agosto nos anos de 2023 e 2024, recorrendo a técnicas de amostragem de inimigos naturais (predadores e parasitoides de *P. absoluta*) no interior da estufa que incluíram inspeções visuais, técnica das pancadas, e levantamentos florísticos em fragmentos seminaturais contíguos à estufa. Os resultados evidenciaram diferenças marcadas entre estufas e anos, sem um padrão sazonal uniforme. A exploração RZ manteve a praga em níveis baixos, associada a uma presença consistente de predadores, enquanto FS registou picos elevados de larvas vivas e adultos de *P. absoluta*, e SA apresentou forte variação interanual de abundância da praga e de diversidade funcional dos inimigos naturais. Em 2024 verificou-se um aumento geral da diversidade funcional de inimigos naturais. A flora adjacente revelou elevada riqueza e floração contínua durante o ciclo cultural, fornecendo recursos tróficos cruciais à fauna auxiliar. Conclui-se que a conservação de habitats seminaturais adjacentes às estufas potencia a diversidade e a estabilidade das populações de predadores, com potencial para promover a regulação natural de *P. absoluta* e reduzir a necessidade de intervenções químicas.

Palavras-chave: biodiversidade funcional, controlo biológico de conservação, estufas comerciais, flora espontânea, *Solanum lycopersicum*, *Tuta absoluta*

Abstract

The tomato leafminer, *Phthorimaea absoluta* (Meyrick, 1917), syn. *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), is currently one of the most serious phytosanitary challenges in protected tomato cultivation, compromising both yield and fruit quality. The increasing inefficacy of chemical insecticides, together with their environmental impacts, highlights the need for strategies based on conservation biological control. This study aimed to assess the diversity and abundance of natural enemies associated with *P. absoluta* in commercial tomato greenhouses in the Entre Douro e Minho region, and to relate these communities to the adjacent spontaneous flora. Three commercial greenhouses (RZ, SA and FS) were monitored from May to August in 2023 and 2024, using sampling techniques targeting natural enemies (predators and parasitoids of *P. absoluta*), including visual inspections, beat-sheet sampling, and floristic surveys in contiguous seminatural fragments. Results revealed marked differences between greenhouses and years, with no consistent seasonal pattern. The RZ site maintained the pest at low levels, associated with a consistent presence of predators, whereas FS recorded high peaks of *P. absoluta* larvae and adults, and SA showed strong interannual variation of pest abundance and of the functional diversity of natural enemies. In 2024, an overall increase in the functional diversity of natural enemies was observed. The adjacent flora exhibited high species richness and continuous flowering throughout the cropping cycle, providing key trophic resources for beneficial fauna. We conclude that the conservation of seminatural habitats adjacent to greenhouses enhances predator diversity and population stability, fostering the natural regulation of *P. absoluta* and reducing the need for chemical interventions.

Keywords: commercial greenhouses, conservation biological control, functional biodiversity, *Solanum lycopersicum*, spontaneous flora, *Tuta absoluta*

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Tabelas	vi
Lista de Figuras	vii
Lista de Abreviaturas	ix
Introdução.....	1
1. Estado da Arte.....	5
1.1. A cultura do tomate	5
1.2. <i>Phthorimaea absoluta</i> : Importância Agronómica, Biologia e Comportamento	6
1.3. Estratégias de controlo da <i>Phthorimaea absoluta</i>	9
1.4. Controlo Biológico de Conservação.....	15
1.5. Predadores naturais da <i>Phthorimaea absoluta</i>	18
1.6. Infraestruturas ecológicas e paisagem circundante	21
1.7. Monitorização Populacional e Indicadores Ecológicos.....	24
1.8. Lacunas no conhecimento e justificação do estudo	26
2. Material e Métodos	28
2.1. Caracterização da área de estudo.....	28
2.2. Delineamento experimental	33
2.3. Amostragem da vegetação espontânea	35
2.4. Amostragem e identificação de insetos	37
2.5. Análise dos dados	40
3. Resultados e Discussão	42
3.1. Dinâmica de <i>Phthorimaea absoluta</i>	42
3.2. Comunidade de inimigos naturais.....	47
3.3. Relação entre a flora adjacente e os predadores	52
3.4. Integração entre <i>Phthorimaea absoluta</i> , inimigos naturais e flora adjacente	55

Conclusão.....	62
Referências Bibliográficas	64

Lista de Tabelas

Tabela 1. Localização das estufas comerciais de tomate utilizadas no estudo, em Novais (Vila Nova de Famalicão, Portugal).....	29
Tabela 2a. Dinâmica de <i>Phthorimaea absoluta</i> nas estufas em 2023: classe de infestação (calculada a partir da contagem total de larvas) e adultos observados (n=30 plantas estufa ⁻¹ mês ⁻¹)	43
Tabela 2b. Dinâmica de <i>Phthorimaea absoluta</i> nas estufas em 2024: classe de infestação modal (mais frequente) e adultos observados (n=30 plantas estufa ⁻¹ mês ⁻¹)	44
Tabela 3a. Abundância mensal de inimigos naturais por ordem taxonómica, em cada estufa (FS, SA, RZ), de maio a agosto de 2023. Valores correspondem ao número de indivíduos observados combinando os métodos de campo usados neste estudo (observação visual e técnica das pancadas).....	47
Tabela 3b. Abundância mensal de inimigos naturais por ordem taxonómica, em cada estufa (FS, SA, RZ), de maio a agosto de 2024. Valores correspondem ao número de indivíduos observados combinando os métodos de campo usados neste estudo (observação visual e técnica das pancadas).....	48
Tabela 4. Valores médios do índice de diversidade de Simpson (1–D) calculados ao nível de ordem taxonómica para as comunidades de inimigos naturais observadas nas três estufas comerciais de tomate (FS, RZ e SA), durante os anos de 2023 e 2024...	51
Tabela 5. Valores de dissimilaridade β -Sørensen (1 – índice de Sørensen) entre pares de estufas (FS, SA, RZ) nos anos de 2023 e 2024.	51
Tabela 6. Tabela 6. Integração entre <i>P. absoluta</i> , IN e flora adjacente nas estufas. Infestação expressa como classe média de infestação (escala 0–4); diversidade de predadores pelo índice de Simpson (1–D, média bianual); riqueza florística como número total de espécies vegetais registadas (2023–2024).....	59

Lista de Figuras

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Phthorimaea absoluta</i> (Chaker Bennour <i>et al.</i> , 2021).....	8
Figura 2. Desenho metodológico geral do estudo.	28
Figura 3. Mapa de Portugal continental segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, com destaque para as regiões Csa (mediterrânico de verão quente), Csb (mediterrânico de verão ameno) e BSk (semiárido frio). Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera [IPMA] (2025).....	29
Figura 4. Sistemas de cultivo observados nas estufas comerciais incluídas no estudo: (a) Estufa RZ, conduzida em solo; (b) Estufa SA, conduzida em sistema de semi-hidroponia em substrato de fibra de coco. Fotografias obtidas durante a campanha experimental de 2024.	30
Figura 5a. Vista aérea da Estufa SA com a área da estufa delimitada a verde (contorno amarelo) e três fragmentos seminaturais adjacentes identificados pelas letras A, B e C, acompanhadas de um ícone de planta. Fonte: Google Earth Pro (imagem editada pelo autor, 2025)	31
Figura 5b. Vista aérea da Estufa RZ, com a área da estufa delimitada a verde (contorno amarelo) e três fragmentos seminaturais adjacentes identificados pelas letras A, B e C, acompanhadas de um ícone de planta. Fonte: Google Earth Pro (imagem editada pelo autor, 2025).	32
Figura 5c. Vista aérea da Estufa FS, com a área da estufa delimitada a verde (contorno amarelo) e três fragmentos seminaturais adjacentes identificados pelas letras A, B e C, acompanhadas de um ícone de planta. Fonte: Google Earth Pro (imagem editada pelo autor, 2025).	32
Figura 6. Quadrado de amostragem (0,25 m ²) utilizado no levantamento da flora espontânea nos fragmentos seminaturais. Fotografia registada durante a campanha experimental.	35
Figura 7. Aplicação em campo do dispositivo adaptado da técnica do pano-de-batida, constituído por uma moldura de madeira e metal (aprox. 1 m ²), com pano branco em formato de funil acoplado a um frasco de vidro removível na base, utilizado para a captura de artrópodes em plantas de tomateiro.	38
Figura 8a. Dinâmica mensal da infestação por <i>P. absoluta</i> nas estufas FS, SA e RZ em 2023. Os valores representam a classe de infestação (escala 0–4) calculada a partir da contagem total de larvas em 30 plantas por estufa.	43

Figura 8b. Dinâmica mensal da infestação por <i>P. absoluta</i> nas estufas FS, SA e RZ em 2024. Os valores representam a classe de infestação modal (escala 0–4), correspondente à classe mais frequente em 30 plantas por estufa.....	44
Figura 9a. Composição relativa (%) por ordem taxonómica dos inimigos naturais em 2023 (totais maio–agosto) para cada estufa (RZ, SA, FS).	49
Figura 9b. Composição relativa (%) por ordem taxonómica dos inimigos naturais em 2024 (totais maio–agosto) para cada estufa (RZ, SA, FS).	50
Figura 10. Riqueza florística (nº de espécies) por habitat seminatural e ano, em cada estufa.....	53
Figura 11a. Dinâmica mensal da classe de infestação de <i>P. absoluta</i> (colunas, eixo esquerdo) e da abundância de predadores auxiliares (linhas, eixo direito) nas estufas FS, SA e RZ durante o ano de 2023. A abundância de predadores corresponde à soma dos indivíduos recolhidos por observação visual e pelo método de pancadas.....	56
Figura 11b. Dinâmica mensal da classe de infestação de <i>P. absoluta</i> (colunas, eixo esquerdo) e da abundância de predadores auxiliares (linhas, eixo direito) nas estufas FS, SA e RZ durante o ano de 2024. A abundância de predadores corresponde à soma dos indivíduos recolhidos por observação visual e pelo método de pancadas.....	57

Lista de Abreviaturas

EDM	ENTRE DOURO E MINHO
EPPO	EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION
FAO	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA
FCUP	FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
IN	INIMIGOS NATURAIS
MIP	MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS (PROTEÇÃO INTEGRADA)
UP	UNIVERSIDADE DO PORTO

Introdução

A proteção do tomateiro em ambiente protegido enfrenta hoje pressões que exigem soluções ancoradas na ecologia aplicada, dado o decréscimo do leque de substâncias sintéticas disponíveis e a perda de desempenho de moléculas ainda em uso, fenómenos que reforçam a necessidade de manejo integrado com apoio dos serviços ecossistémicos prestados por inimigos naturais (IN) (Guerry *et al.*, 2015; Desneux *et al.*, 2022; Roditakis *et al.*, 2018). Em estufas, predadores generalistas que atuam na parte aérea da cultura e no solo assumem papel central na regulação de pragas e podem sustentar estratégias de conservação quando o sistema lhes oferece alimento alternativo, refúgio e continuidade de recursos ao longo do ciclo cultural (Messelink *et al.*, 2021).

No Entre Douro e Minho (EDM) os boletins regionais assinalam com frequência a presença de traça-do-tomate, *Phthorimaea absoluta*, Meyrick, 1917, sin. *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), o que torna pertinente acompanhar de forma conjunta a praga e os seus inimigos em contexto produtivo real para apoiar decisões técnicas durante a campanha (Estação de Avisos de Entre Douro e Minho, 2023). Neste enquadramento ganha interesse investigar o vínculo entre a fauna auxiliar e a vegetação espontânea contígua às estufas. Estas infraestruturas, quando bem desenhadas e posicionadas, ajudam a reduzir as densidades de pragas e a necessidade de pulverizações. Os seus efeitos, porém, dependem da identidade botânica das plantas, da continuidade temporal da floração e da conectividade dessas faixas com as áreas de cultivo adjacentes. (Dainese *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2021).

A literatura mais recente confirma a expansão global de *P. absoluta* e a sua plasticidade. A espécie está hoje assinalada em dezenas de países fora da área de origem e mantém capacidade de completar muitas gerações anuais em climas amenos (Desneux *et al.*, 2022; EPPO, 2025). Na ausência de manejo adequado, as perdas podem aproximar-se do fracasso produtivo, sendo que a ocorrência de minas foliares e de perfurações em frutos compromete tanto o rendimento como a qualidade comercial. Adicionalmente, relatos de resistência a diferentes classes de inseticidas tornaram menos sólida a dependência exclusiva do controlo químico, reforçando a necessidade de estratégias combinadas que preservem a fauna auxiliar e reduzam as aplicações (Desneux *et al.*, 2022; Roditakis *et al.*, 2018; Adams *et al.*, 2023).

Neste quadro a proteção biológica de conservação ganha relevo. A ideia central é ajustar o agroecossistema para que IN residentes encontrem alimento alternativo, refúgio e zona adequadas de reprodução e postura. Em estufas, onde a comunidade espontânea de auxiliares pode ser reduzida, a introdução inicial de IN e a instalação de recursos florais e *banker plants*¹ têm mostrado efeito positivo na manutenção de predadores como *Macrolophus pygmaeus* e *Nesidiocoris tenuis*, com impacto na predação de ovos e larvas recém eclodidas da praga (Ardanuy *et al.*, 2022; Messelink *et al.*, 2021; Cascone *et al.*, 2024). Adicionalmente, estudos apontam que faixas floridas junto a estufas, quando adequadamente desenhadas e posicionadas, favorecem a redução das densidades de pragas e a menor necessidade de pulverizações. Este efeito, porém, é condicionado pela identidade botânica, pela continuidade temporal de floração e pela conectividade com as áreas de cultivo (Li *et al.*, 2021; Wäckers & van Rijn, 2012).

A proposta deste trabalho é descritiva e prudente. Procura documentar, ao longo do ciclo do tomate, a composição e a abundância de predadores associados a *P. absoluta* no interior de estufas da região e, em paralelo, caracterizar a flora dos habitats seminaturais imediatamente contíguos. O objetivo geral consiste em contribuir para o conhecimento sobre a presença e a abundância de insetos predadores de *P. absoluta* em estufas de tomate no EDM numa abordagem de proteção biológica de conservação. Desdobram-se deste objetivo três objetivos específicos. Primeiro, capturar e identificar os predadores presentes nas estufas, descrevendo a sua diversidade funcional ao longo do ciclo produtivo. Segundo, caracterizar a flora dos habitats seminaturais circundantes e descrever a sua riqueza florística no tempo. Terceiro, avaliar a biodiversidade e a dinâmica populacional ao longo do período de observação, relacionando a diversidade de predadores observada em cada estufa com a riqueza florística do entorno e acompanhando a evolução mensal do rácio inimigos praga como indicador operativo de contenção.

A opção por séries temporais em contextos operacionais responde a um ponto recorrente das revisões, uma vez que a expressão do controlo biológico depende do desenho local, da distância às margens e das condições microclimáticas próprias das estufas, fatores que a observação continuada capta com mais nitidez (Karp *et al.*, 2018; Rosenheim *et al.*, 2022; Messelink *et al.*, 2021). A expectativa é que esta abordagem permita discutir, com base em dados gerados no local, em que condições a vegetação

¹ Plantas auxiliares cultivadas em estufas para sustentar populações de insetos benéficos que controlam pragas, funcionando como um "banco" ou reservatório de inimigos naturais.

adjacente se associa a maior constância de predadores e a menores probabilidades de surtos da praga, reconhecendo que os efeitos de recursos florais e elementos da paisagem variam com identidade botânica, continuidade de recursos e configuração espacial em torno do talhão (Dainese *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2021).

A pertinência territorial está associada ao peso económico do tomate em estufa no Norte de Portugal e ao padrão paisagístico do EDM. Fragmentos de vegetação natural e sebes vivas podem funcionar como reservatórios de auxiliares e fontes de colonização precoce das estufas no início da campanha. Ao mesmo tempo a própria paisagem pode sustentar focos externos de praga que alimentam a pressão de voo. Avaliar estes dois sentidos do efeito de paisagem ajuda a dimensionar expectativas sobre o papel das infraestruturas ecológicas e a distinguir situações em que o aumento de recursos para IN se traduz em maior constância temporal dos predadores e menor probabilidade de surtos (Ardanuy *et al.*, 2019; Dainese *et al.*, 2019).

A utilidade esperada é prática e circunscrita. Identificar combinações florísticas do entorno associadas a maior riqueza ou constância de predadores, descrever padrões mensais de presença de guildas relevantes e reconhecer momentos do ciclo em que o rácio inimigos-praga tende a favorecer a contenção pode ajudar técnicos e produtores a calibrarem habitats seminaturais adjacentes e práticas de conservação em estufas da região. Este trabalho permite produzir evidência local que sustente conversas de manejo e, se fizer sentido, inspire ensaios de validação noutras campanhas. O texto assume as limitações de inferência inerentes à escala e ao desenho e propõe leitura prudente dos resultados, com atenção a compatibilidades de produtos, ao risco de fitofagia por predadores zoofitófagos em densidades elevadas e às variações microclimáticas próprias de estufas ativas (Calvo *et al.*, 2009; Pérez-Hedo & Urbaneja, 2016).

A finalidade aplicada deste estudo consiste em apoiar decisões mais informadas e favorecer uma gestão integrada, reduzindo a dependência de aplicações reativas e reforçando a utilização do capital natural disponível na exploração.

A componente metodológica articula monitorização da praga através de inspeções visuais com amostragem e registos de auxiliares dentro da estufa e amostragem e registo de flora do entorno.

Esta dissertação encontra-se organizada em quatro capítulos principais. O primeiro capítulo corresponde ao Estado da Arte, onde é abordada a cultura do tomate em ambiente protegido, a caracterização da praga *P. absoluta* e as principais estratégias de controlo, com ênfase no controlo biológico de conservação, nos predadores

associados e no papel da paisagem adjacente. O segundo capítulo apresenta os materiais e métodos adotados, incluindo a caracterização da área de estudo no EDM, o delineamento experimental e as metodologias de amostragem da vegetação espontânea, da entomofauna auxiliar e da praga. No terceiro capítulo são expostos e discutidos os resultados obtidos, destacando a dinâmica populacional de *P. absoluta*, a influência dos IN e da flora adjacente e o contributo destes fatores para a sustentabilidade do manejo. Por fim, são apresentadas as conclusões gerais do trabalho e perspectivas para futuras investigações.

1. Estado da Arte

1.1. A cultura do tomate

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) destaca-se como uma das culturas hortícolas de maior relevância económica e alimentar a nível mundial. Em 2020, a produção global de tomate atingiu aproximadamente 187 milhões de toneladas, reflectindo o amplo consumo e valor comercial desta hortícola (Chanthini *et al.*, 2023). Trata-se do segundo produto hortícola mais consumido no mundo, superado apenas pela batata, sendo apreciado tanto *in natura* quanto processado pela indústria alimentar (Steckelberg & Conceição, 2025). O cultivo do tomate ocorre em diversas escalas, desde pequenas hortas familiares até extensas plantações comerciais, abrangendo sistemas a céu aberto e sistemas de produção em ambiente protegido, como estufas e túneis plásticos. Além disso, o cultivo de tomates em estufas tem sido cada vez mais reconhecido como uma estratégia viável para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelas pressões de doenças associadas aos ambientes de campo aberto. Pesquisas indicam que o aquecimento global provavelmente afetará negativamente a produção de tomates em campo aberto mais do que a produção em estufas, enfatizando ainda mais a relevância dos sistemas protegidos para garantir uma produção estável em meio às mudanças nas condições climáticas (Silva *et al.*, 2017).

A produção em ambiente protegido assume particular importância em regiões de clima temperado e mediterrânico, permitindo colheitas durante todo o ano e maiores rendimentos por unidade de área (Ivezić *et al.*, 2025). Nestas condições controladas, o tomateiro beneficia da proteção contra intempéries e da possibilidade de gestão otimizada de rega e nutrientes. Contudo, a intensificação do cultivo protegido impõe desafios específicos: o clima artificialmente regulado das estufas, geralmente caracterizado por temperaturas amenas e elevada humidade, favorece a proliferação de pragas e doenças, exigindo controlo rigoroso (Ivezić *et al.*, 2025). Além disso, a relativa ausência de IN dentro do ambiente fechado facilita o aumento populacional de determinados artrópodes nocivos, caso não sejam adotadas estratégias preventivas de manejo.

Entre os principais desafios fitossanitários da cultura do tomate destacam-se várias pragas e patógenos que podem comprometer seriamente a produtividade. Em praticamente todas as fases de desenvolvimento, o tomateiro é susceptível ao ataque de insetos, ácaros e à incidência de doenças fúngicas, bacterianas e viroses, podendo

ocorrer perdas significativas de rendimento e até falência total em situações de elevada pressão de infestação (Ivezić *et al.*, 2025). Entre os insetos prejudiciais, merecem nota as pragas de alimentação foliar e frutífera direta, como a traça-do-tomateiro *P. absoluta* e os ácaros tetraniquídeos (por exemplo, o ácaro-rajado *Tetranychus urticae*), os quais causam danos diretos aos tecidos vegetais (Ivezić *et al.*, 2025).

Por seu turno, pragas como moscas-brancas (*Bemisia tabaci* e *Trialeurodes vaporariorum*), afídeos (espécies de *Aphis*, *Myzus* e *Macrosiphum*) e tripses (*Frankliniella occidentalis*), embora também causem danos ao alimentarem-se da seiva, são particularmente nocivas por transmitirem viroses, como o vírus do enrolamento (Ivezić *et al.*, 2025). No contexto de ambientes protegidos, doenças fúngicas como o míldio (*Phytophthora infestans*) e a podridão-cinzenta (*Botrytis cinerea*) encontram condições propícias de humidade para se disseminar, requerendo monitorização constante. Assim, o manejo fitossanitário do tomateiro, sobretudo em estufas, configura-se como tarefa complexa e prioritária, na qual o Manejo Integrado de Pragas (MIP) se torna essencial para equilibrar a proteção das plantas com a sustentabilidade económica e ambiental do cultivo (Desneux *et al.*, 2022).

1.2. *Phthorimaea absoluta*: Importância Agronómica, Biologia e Comportamento

A traça do tomateiro, *P. absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), é atualmente reconhecida como uma das pragas mais importantes e destrutivas da cultura do tomate à escala mundial. Originária da América do Sul, com registos iniciais na região dos Andes, provavelmente no Peru, esta pequena traça, cujas larvas são minadoras, permaneceu confinada ao seu habitat nativo até ao início do século XXI (Desneux *et al.*, 2022). A partir de 2006, *P. absoluta* iniciou um processo de invasão rápida noutros continentes: detetada pela primeira vez na Europa (Espanha), dispersou-se pelo Mediterrâneo e Norte de África em poucos anos, com registos em Marrocos e Argélia já em 2008 (Mawcha *et al.*, 2025). Posteriormente, entre 2009 e 2012, a espécie expandiu-se para o Médio Oriente e diversas regiões da Ásia, incluindo Turquia, Índia e outros países asiáticos (Mawcha *et al.*, 2025).

Em Portugal, a presença de *P. absoluta* foi oficialmente reportada pela primeira vez em maio de 2009, na região do Algarve, onde foi detetada em tomateiro tanto em estufa como em campo, conforme descrito pelo EPPO *Reporting Service* (EPPO, 2009). Após esta deteção inicial, levantamentos oficiais identificaram a praga em diversos cultivos de tomate no Algarve, encontrando-se então sob medidas de erradicação. A introdução

em território português enquadra-se no processo de rápida expansão da praga a partir do leste de Espanha, onde havia sido observada em 2006, coincidindo com a fase de difusão acelerada documentada em estudos europeus (Desneux *et al.*, 2010; Desneux *et al.*, 2011). Esta expansão inicial evidencia a elevada capacidade de dispersão da praga e o risco fitossanitário associado (Urbaneja *et al.*, 2012; Garzia *et al.*, 2012).

Atualmente, estima-se que *P. absoluta* esteja presente em mais de 90 países fora da área de origem, abrangendo praticamente toda a Europa, grande parte da Ásia, África e, mais recentemente, regiões da América do Norte (EPPO, 2025; Desneux *et al.*, 2022). O elevado potencial invasivo e adaptativo desta traça levou a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e organismos fitossanitários regionais a classificá-la como uma ameaça quarentenária grave para a produção de tomate (Mawcha *et al.*, 2025).

O estatuto de *P. absoluta* como praga-chave do tomateiro deve-se aos severos prejuízos agronómicos que causa. As larvas neonatas penetram rapidamente nos tecidos foliares, formando minas serpentiformes no interior das folhas, onde se alimentam do mesófilo e destroem a capacidade fotossintética da planta (Mawcha *et al.*, 2025). Cada larva pode originar várias minas e pode ainda atacar caules tenros e, sobretudo, perfurar frutos verdes ou maduros, abrindo galerias que conduzem à podridão e queda dos tomates (Cascone *et al.*, 2024).

Os sintomas incluem manchas foliares necróticas, galerias translúcidas nas folhas, perfurações nos frutos e presença de excrementos escuros (*frass*) nos locais de alimentação. O dano direto provoca queda prematura de folhas e frutos, redução drástica da qualidade comercial dos tomates e enfraquecimento geral das plantas (Mawcha *et al.*, 2025). Em condições de infestação severa e sem controlo eficaz, as perdas podem atingir 80 – 100 % da colheita, inviabilizando a exploração (Adams *et al.*, 2023; Mawcha *et al.*, 2025). Além disso, as galerias abertas pelas larvas funcionam como porta de entrada para patógenos secundários, como fungos dos géneros *Alternaria* e *Botrytis*, agravando as perdas pós-colheita (Mawcha *et al.*, 2025).

Do ponto de vista biológico, *P. absoluta* possui características que explicam o seu sucesso invasor. A espécie completa o ciclo de vida, de ovo a adulto, em aproximadamente 30 a 35 dias quando a temperatura se mantém entre 25 e 30 °C, o que permite a ocorrência de várias gerações ao longo do ano (Pandey *et al.*, 2023). As fêmeas ovipositam, ao longo da vida, cerca de 250 – 300 ovos, geralmente isolados na página inferior das folhas ou noutras partes tenras da planta (Mawcha *et al.*, 2025). Os

ovos, diminutos (aprox. 0,35 mm) e de cor branco-amarelada, são difíceis de detetar a olho nu. Após incubação de 4 – 7 dias, emergem larvas de primeiro ínstar que iniciam de imediato a penetração nos tecidos foliares. *P. absoluta* passa por quatro ínstares larvares, durante os quais as lagartas adquirem coloração esverdeada e atingem 7 – 8 mm no último ínstar (Pandey *et al.*, 2023) (Figura 1).

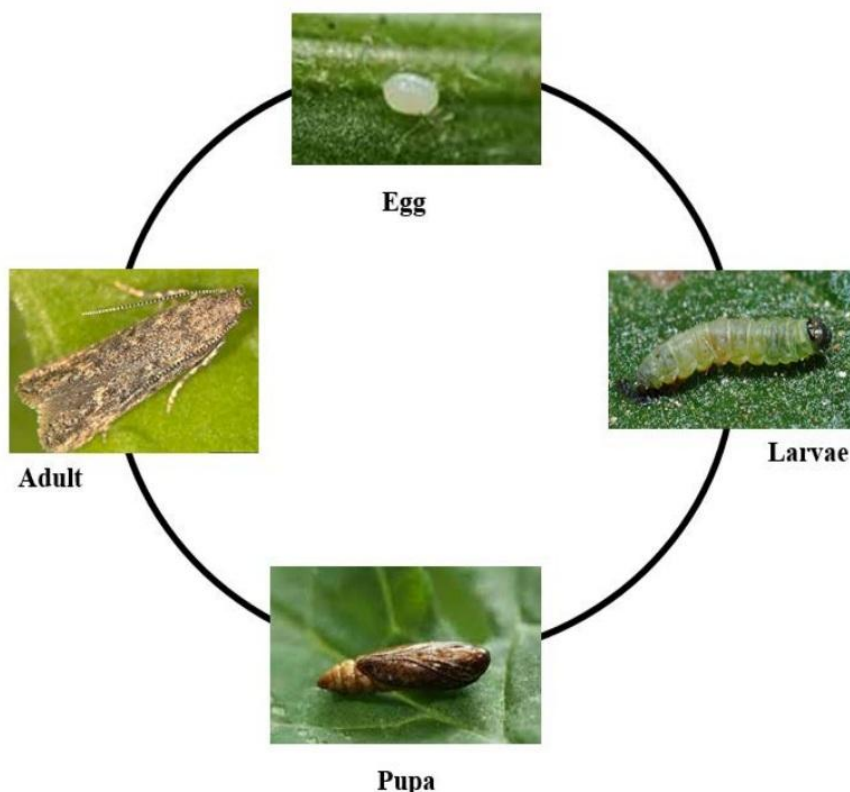


Figura 1. Ciclo de vida de *Phthorimaea absoluta* (Chaker Bennour *et al.*, 2021).

No final do desenvolvimento larvar (10 – 15 dias em temperatura ótima), as larvas podem abandonar a planta e pupar no solo, tecendo um leve casulo de seda, ou ocasionalmente pupar no interior de minas maiores ou entre restos vegetais (Mawcha *et al.*, 2025). A pupa, inicialmente esverdeada e depois castanho-escura, dura em média uma semana antes de emergir o adulto. Os adultos são pequenas traças de 5 – 7 mm de comprimento, de coloração cinzento-acastanhada com padrões pretos nas asas anteriores e antenas filiformes (Mawcha *et al.*, 2025). Têm hábito predominantemente noturno: abrigam-se na folhagem durante o dia e tornam-se ativos ao anoitecer, quando acasalam e as fêmeas ovipositam (Pandey *et al.*, 2023). A longevidade dos adultos é curta (aprox. 10 dias para fêmeas; 6 – 7 dias para machos), mas a elevada fecundidade, aliada à rápida sucessão de gerações, confere-lhes um grande potencial de infestação (Mawcha *et al.*, 2025).

Em estufas ou climas quentes sem inverno rigoroso, *P. absoluta* pode desenvolver 10 – 12 gerações por ano, mantendo populações contínuas (Adams *et al.*, 2023). Este número elevado de gerações sobrepostas, aliado à ausência de diapausa obrigatória, permite que a população cresça exponencialmente sempre que existam plantas hospedeiras e condições ambientais minimamente favoráveis.

Quanto ao comportamento alimentar, *P. absoluta* é altamente especializada preferindo solanáceas. O tomateiro é o hospedeiro preferencial, mas a traça consegue desenvolver-se também em batateira, beringela, pimento, tabaco e plantas daninhas solanáceas, o que amplia as oportunidades de sobrevivência nos períodos de entressafra do tomate (Desneux *et al.*, 2022). A dispersão natural dos adultos é limitada (voos curtos dentro das culturas); porém, a disseminação a longas distâncias verificou-se sobretudo via transporte de frutos e mudas infestadas no comércio internacional (Desneux *et al.*, 2022).

Notavelmente, *P. absoluta* demonstrou capacidade de desenvolver resistências fisiológicas e comportamentais em novas regiões invadidas, por exemplo, populações adaptadas a climas mais frios na Europa sobrevivendo ao ar livre em abrigos durante o inverno e ressurgindo na primavera (Biondi *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020). Esta plasticidade adaptativa facilita o seu estabelecimento em habitats diversos. Além disso, fora da área original, a traça encontra inicialmente ausência ou escassez de IN, o que lhe confere vantagem competitiva e permite surtos até que predadores ou parasitoides locais estabeleçam uma interação biológica ou que agentes de biocontrolo sejam introduzidos artificialmente pelo produtor (Adams *et al.*, 2023).

1.3. Estratégias de controlo da *Phthorimaea absoluta*

Perante a agressividade de *P. absoluta* e dos prejuízos associados à sua infestação, diversas estratégias de controlo têm sido desenvolvidas e aplicadas, muitas vezes integradas num contexto de MIP adaptado ao tomateiro. Tradicionalmente, o controlo químico constituiu a primeira linha de defesa empregue pelos produtores desde o aparecimento da praga em novas regiões. Inseticidas sintéticos de diferentes classes (piretróides, organofosforados, espinosinas, diamidas, entre outros) foram e continuam a ser amplamente utilizados para reduzir as populações de *P. absoluta* nas culturas (Desneux *et al.*, 2022). Aplicações frequentes, muitas vezes semanais, tornaram-se comuns em sistemas intensivos, dadas as rápidas recrudescências populacionais da traça. Contudo, essa forte dependência de químicos revelou-se insustentável a médio e longo prazo. Por um lado, *P. absoluta* evidencia grande plasticidade adaptativa,

surgindo recorrentemente populações com resistência a vários grupos químicos: populações mediterrânicas já apresentam rácios elevados de resistência às diamidas (Roditakis *et al.*, 2018) e registam-se também casos confirmados de tolerância a piretróides e neonicotinóides, comprometendo a longevidade desses inseticidas de largo espectro (Bavithra *et al.*, 2024). Isso significa que aplicações indiscriminadas acabam por perder eficácia, exigindo doses maiores ou misturas perigosas. Este cenário é particularmente relevante no contexto europeu, onde a estratégia *Farm to Fork*, integrada no *European Green Deal*, estabelece a meta de reduzir em 50% o uso e o risco dos pesticidas químicos até 2030 (European Commission, 2020). Por outro lado, o uso continuado de inseticidas de largo espectro afeta negativamente os IN benéficos e a biota auxiliar do agroecossistema, podendo provocar surtos secundários de outras pragas (ressurgência), além de gerar resíduos químicos nos frutos e riscos para a saúde humana e ambiental (Mawcha *et al.*, 2025). Existe, portanto, consenso crescente de que o controlo químico isolado de *P. absoluta* não constitui estratégia sustentável nem suficientemente eficaz a longo prazo, sendo necessário integrá-lo com outras táticas (Desneux *et al.*, 2022; Mawcha *et al.*, 2025).

Atualmente recomenda-se restringir os tratamentos químicos a momentos de real necessidade (com base em monitorização e limiares de intervenção) e preferir produtos seletivos ou biopesticidas quando disponíveis, para minimizar os impactos (Cascone *et al.*, 2024). Entre as alternativas e os complementos ao uso de inseticidas, destacam-se os métodos biotécnicos de controlo, que englobam técnicas de monitorização e de controlo baseadas no comportamento e na bioecologia da praga.

A monitorização populacional de *P. absoluta* por meio de armadilhas de feromona sexual é hoje prática essencial em praticamente todos os programas de MIP para tomateiro (Arnó *et al.*, 2021). Armadilhas iscadas com feromona sintética, posicionadas no interior das estufas ou nos campos, capturam machos da traça e permitem detetar precocemente a presença da praga, quantificar a sua abundância relativa e estimar o momento oportuno de intervenção (Desneux *et al.*, 2022).

Além da monitorização, o uso massivo de armadilhas de feromona pode atuar como método de captura em massa ("*mass trapping*"), sobretudo em estufas e áreas confinadas. Em alguns ensaios, a captura massiva reduziu significativamente a densidade de *P. absoluta* quando associada a outras medidas, contribuindo para a redução do dano nos frutos (Ivezić *et al.*, 2025).

Outra técnica biotécnica promissora é a confusão sexual (*mating disruption*), que consiste na libertação contínua de feromona no ambiente, de modo a desorientar os machos e impedir o acasalamento. Formulações de difusores de feromona para *P. absoluta* já estão disponíveis comercialmente e têm sido testadas em campo e estufa, mostrando redução na oviposição e atraso no crescimento populacional da praga (Chouikhi *et al.*, 2023). Como vantagem, a confusão sexual é altamente específica à praga-alvo e isenta de impactos negativos sobre outros organismos. Todavia, a sua eficácia pode diminuir quando a infestação inicial é elevada ou em estufas muito ventiladas, exigindo avaliação caso a caso (Mawcha *et al.*, 2025).

Outras abordagens físicas e culturais complementam as táticas biotécnicas: telas de exclusão em estufas (malhas anti-inseto de malhagem fina) evitam ou retardam a entrada das traças provenientes do exterior; a eliminação de restos culturais e de frutos infestados imediatamente após a colheita reduz fontes de reinfestação; e o escalonamento de plantios visa evitar a sobreposição de gerações entre talhões sucessivos (Cascone *et al.*, 2024). Estas medidas de higiene cultural e barreiras físicas constituem componentes importantes do manejo integrado, diminuindo a pressão da praga antes mesmo de recorrer a inseticidas.

O controlo biológico, entendido como o uso de IN para reduzir as populações da praga, surge como pilar fundamental no manejo sustentável de *P. absoluta*. Diversas iniciativas de controlo biológico vêm sendo adotadas contra esta traça, abrangendo as modalidades clássica, aumentativa e de conservação. No controlo biológico clássico, procura-se a introdução permanente de agentes exóticos especializados da região de origem da praga para estabelecer o equilíbrio natural. No caso de *P. absoluta*, após a sua invasão em África e Ásia, foram conduzidas prospeções na América do Sul que identificaram parasitoides larvais promissores, como *Dolichogenidea gelechiidivoris* (Hymenoptera: Braconidae), nativo do Peru (Mama Sambo *et al.*, 2022b).

Programas coordenados promoveram a introdução deliberada deste braconídeo em países africanos, como a Tanzânia, visando o seu estabelecimento como agente de controlo clássico (Mama Sambo *et al.*, 2022a). Resultados iniciais indicam que *D. gelechiidivoris* se adaptou bem a culturas de tomate em campo e estufa, chegando inclusive a dispersar-se inadvertidamente para o sul da Europa (já detetado em estufas na Espanha e Argélia poucos anos após a introdução em África) (Denis *et al.*, 2022; Krache *et al.*, 2021). Tal facto demonstra o potencial da abordagem clássica em ampliar o complexo de IN da praga fora da sua área nativa, contribuindo, a longo prazo, para

reduzir a dependência de inseticidas, ainda que *D. gelechiidivoris* não tenha sido detetado até ao momento em Portugal.

No controlo biológico aumentativo recorrem-se a liberações massivas de IN, geralmente produzidos em biofábricas, para suprimir de imediato as populações da praga em cultivos comerciais. Esta estratégia tem sido amplamente empregue contra *P. absoluta* em ambientes protegidos da Europa e Mediterrâneo desde a última década (Desneux *et al.*, 2022).

Dois grupos de agentes de biocontrolo destacam-se nas libertações aumentativas: parasitoides de ovos do género *Trichogramma* e predadores generalistas da família Miridae. Entre os parasitoides, *Trichogramma achaeae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é actualmente libertada comercialmente em estufas de tomate na Espanha (Cabello *et al.*, 2024), Itália (Cascone *et al.*, 2024) e Tunísia (Chouikhi *et al.*, 2023) para suprimir os ovos de *P. absoluta*.

Este agente, libertado semanalmente durante o ciclo, parasita os ovos da traça antes da eclosão, evitando o surgimento de novas larvas. Ensaio recentes indicam que a libertação inundativa do parasitoide de ovos *Trichogramma achaeae*, sobretudo quando combinada com a introdução precoce do predador *Nesidiocoris tenuis*, fortalece o controlo biológico da *P. absoluta* em estufas, diminuindo a densidade de ovos e o aumento populacional da praga (Cascone *et al.*, 2024; Gonthier, 2023). *Trichogramma* spp. nativas de determinadas regiões invadidas também têm sido investigadas, por exemplo, no Norte de África utilizam-se linhagens locais de *T. cacoeciae*, com sucesso em tomate de estufa (Cherif *et al.*, 2019).

Entre os predadores, os percevejos mirídeos *Nesidiocoris tenuis* e *Macrolophus pygmaeus* tornaram-se agentes biológicos-chave no controlo de *P. absoluta* na bacia do Mediterrâneo (Desneux *et al.*, 2022). Estes predadores generalistas, que também consomem aleirodídios, ácaros e outras pequenas pragas, são libertados preventivamente nas estufas de tomate logo após o transplante, estabelecendo-se nas plantas antes da chegada ou explosão da traça (Cascone *et al.*, 2024).

A ação dos mirídeos incide essencialmente sobre ovos e larvas recém-eclodidas de *P. absoluta*, que são consumidos em grande quantidade, contribuindo para manter baixas as densidades populacionais iniciais da praga (Mawcha *et al.*, 2025). Estudos reportam que a introdução conjunta de *N. tenuis* (predador de ovos/larvas) e *Trichogramma* spp. (parasitoide de ovos) pode reduzir significativamente os índices de danos nos frutos em cultivos comerciais, evidenciando efeito sinérgico (Mawcha *et al.*, 2025).

Importa, todavia, salientar que o uso de predadores zoofitófagos como os mirídeos exige monitorização, pois, em densidades muito elevadas e na ausência de alimento animal, *N. tenuis* pode alimentar-se excessivamente da seiva das plantas de tomate, causando danos aos meristemas apicais e flores (Calvo *et al.*, 2009). Assim, a libertação deve ser ajustada de modo a equilibrar o controlo biológico com o mínimo de efeitos colaterais.

Entre os Coleoptera, os Carabidae incluem carabídeos epígeos, como *Selenophorus spp.*, referidos em levantamentos de hortícolas como predadores de larvas de *P. absoluta* e de outros estádios próximos do solo, contribuindo para a mortalidade natural da praga (Rouaux *et al.*, 2020; Desneux *et al.*, 2010). Nos Coccinellidae, joaninhas como *Cycloneda sanguinea* foram observadas em cenários sul-americanos a consumir ovos e larvas, sendo citadas como predadores relevantes no tomateiro (Desneux *et al.*, 2010; Evans, 2009). Os Staphylinidae surgem recorrentemente entre os principais predadores em estudos de mortalidade natural, com ação sobre diferentes estádios expostos de *P. absoluta* (Bacci *et al.*, 2019; Desneux *et al.*, 2010). Nos Heteroptera, os Anthocoridae, com destaque para *Orius spp.*, apresentam consumo elevado de ovos e presença consistente em áreas afetadas (Urbaneja *et al.*, 2009; Zappalà *et al.*, 2013). Os Geocoridae, como *Geocoris punctipes*, são predadores generalistas do grupo conhecido por *big-eyed bugs* e predam larvas de mineiros foliares; estudos de desempenho e de resposta térmica indicam compatibilidade com a fenologia de *P. absoluta* e capacidade para consumir larvas no tomateiro (Calixto *et al.*, 2014; van Lenteren *et al.*, 2021). Os Miridae, em particular *Nesidiocoris tenuis* e *Macrolophus pygmaeus*, predam ovos e larvas jovens e constituem pilares do controlo biológico em estufa, com evidência robusta em laboratório, semi-campo e condições de produção (Urbaneja *et al.*, 2009; Zappalà *et al.*, 2013; Konan *et al.*, 2021; van Lenteren *et al.*, 2021). Entre os Nabidae, *Nabis pseudoferus* apresenta predação ativa de ovos, com preferência por ovos mais jovens e não parasitados, o que favorece a integração com parasitoides de ovos (Mohammadpour *et al.*, 2019; Zappalà *et al.*, 2013).

Nos Neuroptera, as larvas de Chrysopidae, como *Chrysoperla carnea*, consomem ovos e larvas de *P. absoluta*, incluindo indivíduos dentro e fora das minas, sendo frequentemente sugeridas como auxiliares úteis no tomateiro (Ismoilov *et al.*, 2020; Zappalà *et al.*, 2013). Hemerobiidae e Coniopterygidae, também predadores de ovos e de pequenas larvas, são referidos em sistemas de tomate afetados por *P. absoluta*, ainda que com base em evidência específica menos abundante do que a disponível para Chrysopidae, figurando, contudo, nas sínteses regionais como parte do conjunto de auxiliares com potencial predatório (Ghoneim, 2014). Em Diptera, as larvas de

Cecidomyiidae e de Syrphidae são predadoras generalistas frequentes em tomateiros, com capacidade para consumir presas moles, como afídeos e, quando acessíveis, ovos pequenos; estas famílias são citadas em revisões sobre IN associados a *P. absoluta* e podem contribuir para reduzir presas alternativas e a pressão global da praga no sistema (Ghoneim, 2014; Colmenárez *et al.*, 2022).

Em síntese, as famílias acima integram guildas funcionais que incidem sobretudo sobre ovos e larvas jovens de *P. absoluta* no tomateiro, com destaque para Miridae e Anthocoridae entre os Heteroptera e para Chrysopidae entre os Neuroptera. A presença complementar de coleópteros epígeos e de dípteros predadores reforça a mortalidade natural em momentos distintos do ciclo da praga, o que sustenta a sua monitorização e a adoção de práticas de conservação de auxiliares nos habitats adjacentes e no interior das estufas (Zappalà *et al.*, 2013; Desneux *et al.*, 2010; van Lenteren *et al.*, 2021).

Para além dos agentes entomófagos, o controlo biológico microbiano também integra as estratégias contra *P. absoluta*. Formulados à base da bactéria entomopatogénica *Bacillus thuringiensis* (var. *kurstaki*) estão amplamente disponíveis e são utilizados em pulverizações para controlar larvas da traça, sobretudo em estádios iniciais (Desneux *et al.*, 2022). *B. thuringiensis* produz toxinas cristalinas que, ingeridas pelas larvas ao alimentarem-se das folhas pulverizadas, provocam a sua morte por septicemia.

Este bioinseticida apresenta a vantagem de ser seguro para IN e de não deixar resíduos tóxicos, sendo compatível com programas de MIP e produção integrada. Contudo, a sua eficácia pode ser limitada pela posição interna das larvas nas minas foliares, o que reduz o contacto com a toxina; recomenda-se, por isso, a aplicação repetida e bem direccionada na face inferior das folhas, de modo a aumentar a ingestão (Desneux *et al.*, 2022).

Fungos entomopatogénicos, como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, também foram investigados contra *P. absoluta*, revelando elevada mortalidade em ensaios de laboratório e de estufa; contudo, a eficácia destes bioinseticidas diminui quando a humidade relativa do ar ou a humidade do substrato é insuficiente, pois a germinação dos conídios depende de níveis adequados de água disponível (Erasmus *et al.*, 2021; Hammad *et al.*, 2022). De igual modo, nemátodes entomopatogénicos (géneros *Steinernema* e *Heterorhabditis*) têm potencial para infetar pupas de *P. absoluta* no solo, reduzindo a emergência de adultos, embora a sua utilização prática em larga escala permaneça incipiente (Campos-Herrera *et al.*, 2021).

Novas abordagens biotecnológicas estão a ser investigadas para integração no manejo de *P. absoluta*. Entre elas destaca-se o desenvolvimento de cultivares de tomate com resistência genética à traça. Programas de melhoramento têm explorado genes de solanáceas silvestres que conferem alta densidade de tricomas glandulares e produção de aleloquímicos (ácido acibenzolar, 2-tridecanona, etc.) que afetam negativamente a oviposição e alimentação de *P. absoluta* (Almeida *et al.*, 2023).

Alguns genótipos de tomate resistentes, sobretudo quando conjugados com libertações de parasitoides, reduziram a percentagem de folhas infestadas para cerca de 6 % e o número médio de larvas por planta em mais de sete vezes, evidenciando uma via promissora de gestão da praga (Saeidi & Raeesi, 2021). Todavia, densidades elevadas de tricomas glandulares podem dificultar a movimentação de IN, atenuando o benefício do controlo biológico (Ivezić *et al.*, 2025).

Adicionalmente, estudos em controlo genético, como interferência de RNA (RNAi) para silenciamento de genes essenciais em *P. absoluta*, têm mostrado resultados promissores em laboratório, perspetivando, a longo prazo, a criação de bioinseticidas baseados em RNA de dupla fita (dsRNA) específicos para a traça (Sarmah *et al.*, 2021). Em síntese, as estratégias de manejo de *P. absoluta* evoluíram de um paradigma centrado em aplicações químicas para um enfoque integrado, que combina monitorização rigorosa, métodos biotécnicos de prevenção, uso criterioso de inseticidas seletivos e, sobretudo, incremento do controlo biológico (Desneux *et al.*, 2022; Mawcha *et al.*, 2025).

Esta integração de táticas visa não apenas controlar eficientemente a praga e minimizar perdas, mas também preservar a sustentabilidade da produção de tomate, reduzindo impactes ambientais e prevenindo a seleção acelerada de resistências. Nos tópicos seguintes, será dada ênfase especial ao controlo biológico de conservação, aos agentes de biocontrolo (predadores naturais) e ao papel do habitat e da monitorização, considerando que estas frentes representam as abordagens mais modernas e ecologicamente fundamentadas na gestão de *P. absoluta*.

1.4. Controlo Biológico de Conservação

O controlo biológico de conservação constitui um ramo do manejo de pragas que assenta na otimização das condições ambientais e das práticas agrícolas para favorecer os IN já existentes no agroecossistema, aumentando a sua eficácia na regulação das pragas (Blassioli-Moraes *et al.* 2022). Diferentemente do controlo biológico clássico

(introdução de espécies exóticas) ou do aumentativo (libertação massal de agentes criados em laboratório), o controlo de conservação enfatiza a preservação e o incentivo da biodiversidade benéfica local, fortalecendo os serviços ecossistémicos de regulação de pragas (Barda *et al.*, 2023).

Os princípios ecológicos subjacentes a esta abordagem partem da ideia de que agroecossistemas mais diversificados e equilibrados tendem a sofrer menos explosões de pragas, dado que IN abundantes e diversos impõem mortalidade natural significativa às populações fitófagas (Letourneau *et al.*, 2011; Blassioli-Moraes *et al.* 2022). Assim, as práticas de conservação procuram reverter parcialmente a simplificação ambiental causada pela agricultura intensiva, reintroduzindo elementos que sirvam de recurso e refúgio aos agentes biológicos.

Um conceito-chave que norteia o controlo de conservação é o da biodiversidade funcional, referente ao conjunto de organismos úteis (predadores, parasitoides, polinizadores, decompositores etc.) e às funções ecológicas que desempenham no agroecossistema. Mais importante do que a riqueza de espécies, é garantir que os diferentes nichos funcionais de IN estejam representados, comunidades em que predadores com traços complementares ocupam esses nichos asseguram um controlo de pragas mais consistente (Rusch *et al.*, 2023).

O equilíbrio da comunidade de IN evita ainda a dependência excessiva de um único agente de biocontrolo, suscetível a perturbações externas, e aumenta a resiliência do sistema. Aumentar a biodiversidade funcional torna-se, portanto, uma meta central, sendo indicadores como riqueza de espécies benéficas e diversidade de guildas ecológicas utilizados para avaliar o sucesso das iniciativas de conservação (Blassioli-Moraes *et al.* 2022).

Outro conceito fundamental é o de recursos ecológicos-chave: elementos do habitat (plantas nectaríferas, poleiros, microhabitats de abrigo) ou práticas de manejo (ex.: cobertura vegetal, pousio florido) que beneficiem comprovadamente os IN, seja fornecendo alimento alternativo (néctar, pólen, melada), seja oferecendo locais de refúgio e reprodução (Landis *et al.*, 2000; Barda *et al.*, 2025). Identificar e disponibilizar tais recursos no ambiente agrícola potencia a sobrevivência e a fecundidade dos agentes benéficos, ampliando a sua ação supressora sobre as pragas.

Adicionalmente, o controlo de conservação preconiza a redução ou a otimização das perturbações provocadas pelas atividades agrícolas, em especial o uso de pesticidas. Isso implica selecionar produtos seletivos e aplicar tratamentos apenas quando

necessários (preservando IN), bem como medidas como manter áreas de refúgio sem pulverização e sincronizar operações de forma a minimizar danos à fauna auxiliar (Nicholls & Altieri, 2018).

Nos sistemas de produção em ambiente protegido (estufas), o controlo biológico de conservação apresenta desafios e oportunidades particulares. Nas estufas, o ambiente protegido funciona como barreira física e climática, pelo que a comunidade espontânea de IN é muitas vezes pobre ou ausente (Messelink *et al.*, 2021; Doehtler *et al.*, 2023).

Assim, práticas de conservação em estufas têm, frequentemente, de ser combinadas com introduções iniciais de agentes de biocontrolo (aumentativo), estabelecendo populações que depois serão sustentadas pelos recursos de conservação. Por outro lado, o ambiente protegido permite um manejo muito mais preciso de plantas fornecedoras de pólen/néctar e de fontes alternativas de presa, já que o produtor pode semear ou colocar esses recursos dentro da própria estrutura (Al-Naabi, 2024).

Em algumas situações adota-se o conceito de *banker plants*, cultivadas na estufa para sustentar populações de presas não-praga (p. ex. pulgões específicos ou ácaros-presa) que servem de alimento contínuo a predadores ou parasitoides quando o alvo principal está em baixa densidade (Chen *et al.*, 2022). Esta técnica tem demonstrado eficácia em manter populações de IN ativas mesmo na ausência temporária da praga-alvo, prevenindo colapsos do controlo biológico em entressafras curtas ou após medidas de supressão (Ardanuy *et al.*, 2022).

Além disso, estufas podem ser deliberadamente enriquecidas com vegetação através da instalação de faixas de plantas floríferas ou ervas aromáticas em vasos intercalados entre as fileiras de tomate, fornecendo pólen e néctar a predadores como crisopídeos e himenópteros parasitoides, aumentando a sua longevidade e capacidade de parasitismo (Scarlato *et al.*, 2023). Estudos indicam que a introdução de faixas floridas ou de determinadas plantas aromáticas em estufas abertas melhora a retenção e a eficácia de predadores mirídeos e joaninhas contra pulgões e traças, reduzindo a necessidade de pesticidas (Li *et al.*, 2021).

A relevância do controlo biológico de conservação em sistemas protegidos está alinhada com as atuais políticas públicas. Na União Europeia, por exemplo, incentiva-se a adoção de infraestruturas ecológicas mesmo em cultivos de alto valor, visando a promoção da biodiversidade e a redução de agroquímicos (European Commission, 2021).

Em alguns programas de Produção Integrada de tomate em estufa, como o da região de Navarra (Espanha), incluem-se diretrizes para a manutenção de plantas hospedeiras de IN nas imediações ou no interior das estufas, restringindo o uso de inseticidas não seletivos (Gobierno de Navarra, 2020). Tal orientação reflete a compreensão de que conservar agentes de biocontrolo nativos é não só ecologicamente desejável, mas pode também gerar poupança a longo prazo, ao reduzir gastos com químicos e com liberações contínuas de IN comerciais (Barda *et al.*, 2025).

Evidências científicas corroboram que, quando se fornecem condições adequadas, predadores e parasitoides locais podem assumir um papel de controlo significativo. Na região mediterrânica, produtores que investiram em estratégias de conservação, como bancas de *Calendula officinalis* ou de *Sesamum indicum* para sustentar populações de mirídeos e reduções seletivas de inseticidas, obtiveram maior estabilidade no controlo de *P. absoluta* e de outras pragas em comparação com estufas convencionais vizinhas (Ardanuy *et al.*, 2022; Konan *et al.*, 2021).

Nessa direção, o controlo biológico de conservação assenta no aproveitamento dos processos naturais de regulação já presentes, otimizando-os através do manejo do habitat e das práticas agrícolas. Trata-se de um enfoque preventivo e ecologicamente alicerçado: em vez de reagir apenas após a explosão da praga com medidas curativas (inseticidas ou liberações emergenciais de IN), procura-se criar um agroecossistema menos propenso ao desequilíbrio, onde IN prosperem e mantenham as pragas abaixo do nível económico de ataque (Nicholls & Altieri, 2018).

No contexto específico do tomate em ambiente protegido, a adoção de medidas de conservação complementa as liberações de agentes de controlo biológico, podendo aumentar a sua eficácia e persistência; por isso, é considerada elemento central em programas contemporâneos de MIP para *P. absoluta* e pragas associadas (Desneux *et al.*, 2022; Hyder *et al.*, 2025). As secções seguintes aprofundarão exemplos concretos de recursos de conservação e os respectivos efeitos sobre os predadores naturais da traça-do-tomateiro, bem como formas de monitorizar e avaliar tais esforços.

1.5. Predadores naturais da *Phthorimaea absoluta*

No contexto de *P. absoluta*, diversos IN predam ovos, larvas e mesmo adultos desta traça, contribuindo para a sua regulação. Entre os predadores gerais destacam-se certos insetos polípagos que habitam culturas de tomate, sobretudo em regiões de clima mediterrânico. Sobressaem os percevejos da família Miridae, pequenos hemípteros que

se alimentam de uma ampla gama de artrópodes de corpo mole. Dois mirídeos ganharam particular importância como predadores de *P. absoluta*: *Nesidiocoris tenuis* e *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae) (Mawcha *et al.*, 2025).

Ambas as espécies são zoofitófagas (predadoras, mas capazes de se alimentar também de seiva) nativas da região mediterrânica e colonizam espontaneamente estufas em culturas de solanáceas. Estudos demonstram que *N. tenuis* e *M. pygmaeus* predam ativamente ovos e larvas recém-eclodidas de *P. absoluta*, perfurando-os com o rostro e sugando o conteúdo (Desneux *et al.*, 2022). Estes predadores exibem elevada capacidade de predação; um único indivíduo pode ingerir dezenas de ovos ou larvas por dia, revelando-se agentes de controlo biológico muito eficazes (Zappalà *et al.*, 2013; Mawcha *et al.*, 2025).

Em programas de biocontrolo aumentativo, ambos os mirídeos são comercializados e libertados nos cultivos. Em condições de conservação adequadas, como a presença de *banker plants* e cobertura herbácea seminatural, *Macrolophus pygmaeus* coloniza cedo as estufas de tomate e forma populações que persistem até à colheita, assegurando controlo contínuo da praga (Ardanuy *et al.*, 2022). Outras espécies de Miridae também atuam sobre *P. absoluta* noutros continentes: na América do Sul mencionam-se *Macrolophus basicornis* e *Campyloneuropsis infumatus*, enquanto na Ásia se relata a acção de *Dicyphus bolivari* e *Engytatus varians* sobre ovos da praga (Biondi *et al.*, 2018). Assim, os percevejos mirídeos constituem um grupo-chave de predadores de *P. absoluta*, especialmente em estufas mediterrânicas.

Outro grupo relevante são os crisopídeos e as joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae). As larvas de *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) consomem desde afídeos até pequenas lagartas e ovos de traças, incluindo *P. absoluta* (Zappalà *et al.*, 2013; Tarusikirwa *et al.*, 2020). Entre as coccinélidas, espécies onívoras como *Coleomegilla maculata* e *Hippodamia convergens* podem ocasionalmente preda ovos da traça se coexistirem no mesmo habitat, ainda que a sua eficácia seja inferior à observada sobre pulgões (Mansour *et al.*, 2018). Mesmo assim, a presença de crisopídeos e joaninhas ajuda a conter outros fitófagos (afídeos, moscas-brancas) que, quando abundantes, podem levar a aplicações de inseticidas que prejudicam os predadores de *P. absoluta* (Mawcha *et al.*, 2025).

Os hemípteros Anthocoridae (percevejos-pirata) e Nabidae (género *Nabis*) são outros predadores generalistas com potencial sobre a traça. *Orius laevigatus* (Anthocoridae), amplamente usado contra tripes, foi observado a preda ovos de *P. absoluta* em

laboratório e em condições controladas (Biondi *et al.*, 2018). No campo, a sua contribuição direta é menor, mas pode aumentar quando se fornecem recursos florais que atraem *Orius*. Já *Nabis pseudoferus* e outros nabídeos alimentam-se de pequenas lagartas expostas ou pupas da traça em lavouras próximas a vegetação natural (Mansour *et al.*, 2018). Carabídeos (Coleoptera: Carabidae) e aranhas generalistas, presentes no solo e no dossel inferior, também predam pupas ou capturam adultos, embora estas interações sejam ocasionais (Biondi *et al.*, 2018).

Nos programas de MIP em estufas mediterrânicas, *N. tenuis* e *M. pygmaeus* são os pilares do controlo de *P. absoluta*. Estes predadores, com 3-5 mm de comprimento, exploram ativamente toda a planta em busca de presas e podem reproduzir-se mesmo quando se alimentam parcialmente de seiva (Pérez-Hedo & Urbaneja, 2016). *N. tenuis* actua também sobre ovos de mosca-branca e aleurodídeos, enquanto *M. pygmaeus* apresenta reprodução mais lenta mas é menos agressivo para a planta (Calvo *et al.*, 2009). A sua eficiência pode ser afectada por factores como a presença de tricomas glandulares, variedades com tricomas pegajosos dificultam a locomoção dos mirídeos, reduzindo a predação (Mansour *et al.*, 2018).

Experiências em estufas comerciais espanholas mostraram que a combinação *N. tenuis* + *Trichogramma* manteve a infestação de *P. absoluta* abaixo de 1 % de frutos danificados, enquanto parcelas sem estes agentes registaram mais de 15 % de frutos atacados, mesmo com inseticida (Cherif *et al.*, 2019). Nalgumas regiões, *N. tenuis* coloniza espontaneamente plantações de tomate a partir de hospedeiros silvestres, suprimindo focos iniciais da praga antes de quaisquer tratamentos (Ardanuy *et al.*, 2019).

Contudo, o desempenho dos predadores depende da paisagem circundante, do manejo agronómico, como o uso de pesticidas selectivos e de práticas de desfolha, e das condições microclimáticas (Messelink *et al.*, 2014; Ardanuy *et al.*, 2022). Temperaturas superiores a 30 °C podem comprometer a sobrevivência destes IN, ao passo que valores inferiores a 15 °C diminuem de forma acentuada a sua atividade predatória (Siscaro *et al.*, 2019; Ziaei Madbouni *et al.*, 2017). A disponibilidade de presas alternativas ou alimento complementar (pólen, néctar) é igualmente crucial: plantas infestantes com afídeos ou moscas-brancas podem sustentar populações de mirídeos quando a traça está escassa, desde que estas pragas secundárias sejam mantidas sob controlo (Mansour *et al.*, 2018).

1.6. Infraestruturas ecológicas e paisagem circundante

A paisagem agrícola e os habitats que rodeiam os cultivos influenciam fortemente as comunidades de insetos benéficos e, consequentemente, o nível de controlo biológico de pragas que ocorre espontaneamente. No caso de culturas hortícolas intensivas, como o tomateiro, a inclusão de infraestruturas ecológicas (elementos do ambiente que proporcionam recursos e abrigo para a fauna auxiliar) tem sido promovida como parte integrante de uma agricultura mais sustentável (Barda *et al.*, 2025).

Entre essas infraestruturas, os campos florais ou faixas floridas semeadas nas bordaduras das culturas ganharam notoriedade. Estas faixas consistem em misturas de espécies vegetais (geralmente herbáceas anuais e perenes) selecionadas para florir em sequência, garantindo oferta contínua de néctar e pólen ao longo da estação de cultivo (Wäckers & Van Rijn, 2012; Stattegger *et al.*, 2023).

Em sistemas de tomate, campos florais estabelecidos junto a estufas ou entre parcelas a céu aberto atraem e sustentam populações mais numerosas de predadores e parasitoides. Por exemplo, plantas da família Apiaceae em floração (como coentros, *Coriandrum sativum*, e endro, *Anethum graveolens*) são altamente atrativas para himenópteros parasitoides e sirfídeos, enquanto compostas (Asteraceae) como calêndula e margaridas fornecem pólen acessível a crisopídeos e joaninhas (Barda *et al.*, 2025).

Estas plantas, dispostas em faixas, funcionam como reservatórios de IN que posteriormente se espalham para o cultivo de tomate adjacente em busca de presas (Landis *et al.*, 2000). O resultado prático é, frequentemente, uma maior abundância de IN nas parcelas vizinhas às faixas e uma redução da densidade de pragas e dos danos, em comparação com áreas sem estas infraestruturas.

Além de faixas semeadas, habitats seminaturais existentes na paisagem (fragmentos de mata, sebes vivas, pastagens abandonadas e margens de cursos de água com vegetação ripícola) são igualmente críticos para a entomofauna auxiliar. Estes espaços oferecem microhabitats estáveis onde muitos IN completam o ciclo de vida fora da época de cultivo ou encontram refúgio durante perturbações (Schellhorn *et al.*, 2014).

Na periferia de estufas em Almería (Espanha), a presença de mato mediterrânico nativo correlaciona-se com populações mais elevadas de *Nesidiocoris tenuis* que colonizam estufas de tomate no início da campanha, uma vez que os percevejos hibernam e reproduzem-se nas plantas espontâneas circundantes (Ardanuy *et al.*, 2019; Ardanuy *et*

al., 2022). De forma semelhante, sebes com diversidade florística atraem predadores generalistas e parasitoides durante a época de flor-brotação, garantindo recursos ao longo das estações, os quais depois passam para as culturas vizinhas quando as pragas surgem (Morandin *et al.*, 2014; Stathakis *et al.*, 2023).

A composição e configuração da paisagem, frequentemente medidas pelo percentual de área não cultivada, pela diversidade de usos do solo numa região, e pela complexidade do mosaico paisagístico têm sido apontadas como fatores que favorecem o controlo biológico. Paisagens mais complexas com mosaicos com culturas diversas, remanescentes naturais e menor monocultura contínua, tendem a sustentar maior diversidade de IN e, em muitos estudos, apresentam menores níveis de pragas em comparação com paisagens simplificadas dominadas por monocultivos extensos (Dainese *et al.*, 2019).

No Entre Douro e Minho, a paisagem agrícola caracteriza-se por minifúndios e mosaicos de pequenas parcelas separadas por sebes vivas, matas ribeirinhas e outros habitats seminaturais (Coutinho, 2007). Nas explorações hortícolas dessa região é comum a presença de faixas de vegetação espontânea nas bordaduras das estufas ou dos campos, já que são mantidas margens não cultivadas com flora diversificada. Essas áreas seminaturais fornecem abrigo e recursos alimentares (néctar, pólen) para insetos benéficos, podendo funcionar como refúgio de IN das pragas (Wäckers & van Rijn, 2012). Dado que a manutenção de vegetação espontânea em torno das culturas promove a biodiversidade funcional, aumentando a abundância de predadores e parasitoides e contribuindo para a supressão de pragas nas parcelas adjacentes (Wäckers & van Rijn, 2012; Dainese *et al.*, 2019), a região do noroeste português, com a sua estrutura de paisagem heterogénea e presença de habitats naturais adjacentes às culturas, apresenta condições propícias à implementação do controlo biológico de conservação.

Esses habitats seminaturais, muitas vezes constituídos por matagais ou prados ruderal espontâneos, podem prover recursos-chave (alimento via néctar e pólen), hospedeiros alternativos e abrigo para predadores e parasitoides, aumentando o controle biológico das pragas na cultura principal (Cota e Souza, 2022). Assim, caracterizar a flora espontânea presente nas imediações das estufas é fundamental para compreender as interações entre plantas e insetos benéficos.

No caso de *P. absoluta*, praga relativamente móvel a nível local, a paisagem circundante afeta tanto a entrada de mariposas nas áreas de cultivo como a disponibilidade de IN.

Estudos com *P. absoluta* em Itália e Grécia indicam que a presença de vegetação natural adjacente e habitats seminaturais pode favorecer populações de IN e reduzir a infestação nas culturas próximas (Campolo *et al.*, 2020; Roditakis *et al.*, 2013).

Em contrapartida, grandes extensões de tomate a céu aberto infestadas podem servir de fonte contínua de mariposas que invadem as estufas, aumentando a pressão da praga (Desneux *et al.*, 2022). Assim, a configuração da paisagem exerce um duplo efeito: pode amplificar o biocontrolo (quando fornece recursos aos IN) ou potenciar a infestação (quando oferece hospedeiros à praga). O desafio do manejo de paisagem consiste em maximizar o primeiro e minimizar o segundo.

A conectividade ecológica entre habitats de IN e a cultura agrícola é importante. Mesmo que existam áreas favoráveis aos IN, estas precisam de estar suficientemente próximas ou interligadas para permitir a migração até à cultura (Tscharntke *et al.*, 2005; Rand *et al.*, 2006). Barreiras físicas ou distâncias excessivas podem impedir esse fluxo. Em estufas de tomate recomenda-se o uso de redes de exclusão com aberturas $\leq 200 \mu\text{m}$; essa dimensão impede a entrada de lepidópteros como *P. absoluta* sem bloquear parasitoides micro-himenópteros (*Diglyphus isaea* e *Eretmocerus eremicus*) que actuam na sua regulação natural (Mani, 2022; Kishore *et al.*, 2024).

Em estufas de modelo aberto, a conectividade é maior; já instalações totalmente fechadas obrigam o produtor a criar pontos de entrada controlada ou a introduzir manualmente agentes benéficos recolhidos no exterior. Uma estratégia prática consiste em implantar faixas floridas contíguas às aberturas das estufas, “guiando” os IN para o interior ao seguirem as fontes de néctar ou presas (Robles-Vallet *et al.*, 2022).

É fundamental, contudo, assegurar que as plantas utilizadas não sejam também hospedeiras da praga. Por isso, evitam-se espécies de *Solanum* silvestres junto ao tomateiro, preferindo-se Apiaceae, Asteraceae, Fabaceae, entre outras. O conceito de “flores funcionais” realça a escolha de espécies que beneficiem os agentes de biocontrolo sem favorecerem a praga (Hyder *et al.*, 2025).

Em conclusão, a paisagem envolvente e as infraestruturas ecológicas implantadas desempenham um papel decisivo na dinâmica entre pragas e IN. Campos florais, habitats seminaturais e conectividade adequada favorecem a entomofauna auxiliar e intensificam o serviço de controlo biológico (Landis *et al.*, 2000; Ardanuy *et al.*, 2022). No manejo de *P. absoluta*, integrar estas componentes, conservando vegetação nativa benéfica e criando faixas atrativas estrategicamente posicionadas, pode ser determinante para alcançar um controlo biológico mais eficaz e duradouro em sistemas

de tomate, incluindo estufas, reforçando a sustentabilidade da gestão integrada da traça-do-tomateiro.

1.7. Monitorização Populacional e Indicadores Ecológicos

A monitorização efetiva das populações de pragas e dos IN é um componente basilar de qualquer programa de MIP, pois permite decisões fundamentadas e avaliação dos resultados das estratégias adotadas. Em tomateiros de estufa, várias técnicas de amostragem e monitorização foram desenvolvidas para acompanhar tanto *P. absoluta* como a sua entomofauna associada.

Uma das técnicas mais difundidas é o emprego de armadilhas de feromona sexual. Estas armadilhas, do tipo delta ou funil com base adesiva, capturam machos da traça e fornecem um índice populacional indireto. Recomenda-se instalar, pelo menos, duas armadilhas por hectare de estufa, posicionadas acima do dossel e inspecionadas semanalmente (Arnó *et al.*, 2021).

Tendências crescentes nas capturas servem de alerta para intervenções antes que ocorram danos económicos. Em programas práticos, um nível de ação comum é > 20 machos/armadilha/semana (Desneux *et al.*, 2022). Contudo, esta informação deve ser complementada com inspeção visual de ovos e minas larvais, garantindo que a decisão não se baseia apenas em machos dispersos.

As inspeções visuais sistemáticas de folhas e frutos mantêm-se fundamentais na amostragem (Cocco *et al.*, 2015). Estudos desses autores indicam que a observação de 17 a 20 folhas por estufa fornece precisão adequada para decisões de intervenção, associando entre 36 e 60 por cento de folhas infestadas a perdas de um a três por cento nos frutos (Cocco *et al.*, 2014). Técnicos podem, portanto, examinar plantas distribuídas aleatoriamente, registando percentagens de folhas com minas, médias de minas por folha e frutos danificados. Esses valores confrontam-se com os limiares económicos propostos por Shiberu e Getu (2018), que sugerem ação a partir de 2,25 larvas por planta, equivalentes a cerca de dois por cento de frutos comprometidos. Durante a inspeção observam-se ainda sinais da atuação de IN, como ovos escurecidos pelo parasitismo de *Trichogramma* (University of California IPM, s.d.) ou larvas mortas após predação por *Macrolophus* spp. (Sadek *et al.*, 2024). Esses indícios qualitativos assinalam se o controlo biológico natural permanece efetivo.

Quanto a indicadores de biodiversidade funcional, avaliam-se parâmetros como riqueza de espécies benéficas, índice de Shannon, razão inimigo:praga e taxas específicas de

parasitismo/predação (Snyder, 2019). Para *P. absoluta*, calculam-se a percentagem de ovos parasitados por *Trichogramma* spp. ou de minas com larvas mortas por parasitoides/predadores. Por exemplo, a colocação de ovos sentinela esterilizados com raios X em cartões, seguida de observação após vinte e quatro a quarenta e oito horas, permite quantificar a remoção por predadores e comparar o serviço de controlo biológico entre tratamentos ou paisagens (Hougardy *et al.*, 2024).

Outro indicador é a diversidade de grupos funcionais de IN. A presença de múltiplos grupos funcionais (predadores de solo, folhagem, parasitoides de ovos e larvas) sinaliza um controlo mais estável (Dainese *et al.*, 2019). Na instalação de infraestruturas ecológicas, compara-se a abundância de benéficos nas faixas floridas com a verificada dentro da cultura para avaliar o *spillover*. Em investigação, recorre-se até a marcadores (pó fluorescente, isótopos estáveis) para confirmar fluxos entre habitats (Robles-Vallet *et al.*, 2022).

Indicadores simples, como o tempo de colonização precoce por predadores, são igualmente úteis; libertações antes do transplante propiciaram o estabelecimento de *N. tenuis* até três semanas antes da presença da praga (Calvo *et al.*, 2012). Nalgumas regiões, programas oficiais de monitorização recorrem a matrizes que integram densidades de pragas e de IN para apoiar a decisão (Zambolim; Quezado-Duval, 2022).

O desempenho de medidas de conservação reflete-se ainda em indicadores indiretos, como redução do número de pulverizações ou manutenção da produtividade com menor insumo químico. Se um produtor reduz 50 % das aplicações contra *P. absoluta* numa área com habitats floridos, é sinal de serviço biológico mensurável (Snyder, 2019). Do mesmo modo, manter a taxa de frutos danificados < 5 % no final da safra confirma a eficácia do manejo.

Portanto, a monitorização de *P. absoluta* e dos IN combina armadilhas de feromona, amostragem visual e, crescentemente, tecnologias automáticas de sensores e visão computacional (Zhang *et al.*, 2023). A conjugação de dados da praga com dados dos inimigos permite decisões inteligentes: muita traça e muitos predadores pode justificar aguardar; traça em aumento e poucos inimigos requer intervenção (Mawcha *et al.*, 2025). A melhoria contínua destas técnicas e indicadores é essencial para tornar o MIP cada vez mais proativo e baseado em evidências, aferindo objetivamente o sucesso das medidas de conservação da biodiversidade na redução das pragas.

1.8. Lacunas no conhecimento e justificação do estudo

Embora os avanços na compreensão e no manejo de *P. absoluta* tenham sido significativos na última década, subsistem lacunas de conhecimento que justificam novas investigações e sustentam a pertinência do presente estudo. Um primeiro ponto crítico diz respeito à eficácia do controlo biológico de conservação em estufas: há relatos de benefícios oriundos de infraestruturas ecológicas, mas os resultados mantêm-se altamente dependentes do contexto (Ardanuy *et al.*, 2019; Hyder *et al.*, 2025). Esta dependência decorre do facto de a eficácia do controlo biológico de conservação resultar da interação entre a ecologia regional, a flora espontânea disponível e a composição das comunidades de IN presentes no sistema de produção. Assim, resultados obtidos noutros países ou regiões, mesmo em cultivos de tomate em estufa, não podem ser transpostos de forma direta para o Entre Douro e Minho, onde o mosaico paisagístico, o clima e a biodiversidade auxiliar são específicos. Torna-se, por isso, crucial caracterizar a fauna auxiliar e a vegetação seminatural locais para avaliar o potencial real desta abordagem no contexto produtivo do EDM. Ainda não se determinou com precisão que combinações de plantas e recursos proporcionam o máximo benefício aos predadores da traça sem favorecer pragas secundárias, o que requer a identificação de espécies vegetais “selecionadoras” aptas a atrair preferencialmente os agentes de biocontrolo alvo.

Outra incerteza prende-se à dinâmica espaço-temporal desses predadores em relação à paisagem circundante. Sabe-se que *Nesidiocoris tenuis* e outros IN migram de habitats externos para as estufas, mas a quantificação e a previsão dessa colonização continuam incipientes (Ardanuy *et al.*, 2022). Faltam modelos capazes de indicar a distância máxima a que uma estufa pode situar-se de uma fonte de benéficos sem perder eficácia ou a densidade mínima de habitats naturais necessária para garantir um fluxo de predadores suficiente.

Não menos importante é a lacuna sobre como integrar de forma ótima o controlo biológico de conservação com outros métodos, nomeadamente a aplicação de inseticidas seletivos. Os produtores mostram dificuldade em estabelecer limiares de intervenção química que não comprometam irremediavelmente a fauna auxiliar (Desneux *et al.*, 2022), e existe carência de orientações sobre a compatibilidade de produtos biorracionais, bem como sobre estratégias de reforço com libertações pontuais de predadores coordenadas com a oferta de recursos florais.

Há, além disso, dúvidas quanto à resiliência do sistema ao longo do tempo. Não se sabe até que ponto as comunidades de IN se recompõem após perturbações climáticas ou alterações no manejo, nem se a praga desenvolve respostas comportamentais que lhe permitam evadir a predação (Blassioli-Moraes *et al.* 2022). Investigações de longa duração que considerem cenários de perturbação continuam escassas, tal como escassa é a informação sobre indicadores padronizados que permitam comparar a eficácia ecológica e económica de diferentes programas de conservação (Snyder, 2019).

Neste contexto, a investigação proposta procura avaliar empiricamente o efeito de habitats seminaturais adjacentes às estufas sobre a ocorrência de predadores de *P. absoluta* em tomate de estufa, analisar a influência da paisagem circundante nessa interação, identificar obstáculos ou necessidades de ajuste nas práticas atuais. o estudo visa fortalecer o arcabouço teórico-prático do controlo biológico de conservação, contribuindo para sistemas de produção de tomate mais sustentáveis, resilientes e menos dependentes de pesticidas.

2. Material e Métodos

No âmbito desta dissertação, foram realizados trabalhos de campo em três estufas comerciais de tomate na região do Entre Douro e Minho, entre maio e agosto dos anos de 2023 e 2024. As atividades incluíram a monitorização de *P. absoluta*, o levantamento de IN (predadores e parasitoides) no interior das estufas e a caracterização da flora espontânea em habitats seminaturais adjacentes (Figura 2)

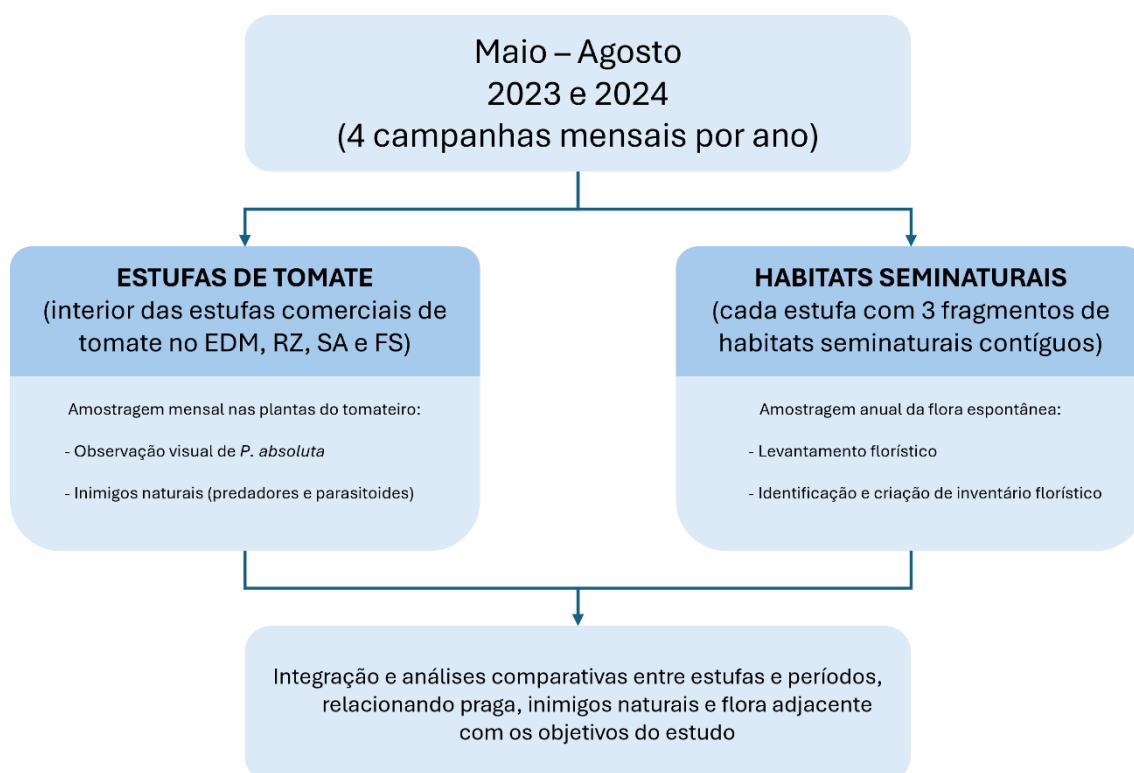


Figura 2. Desenho metodológico geral do estudo.

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo situa-se na freguesia de Novais, concelho de Vila Nova de Famalicão, no Entre Douro e Minho (noroeste de Portugal), onde se localizam três estufas comerciais de tomate, doravante designadas como Estufa RZ, Estufa SA e Estufa FS. A localização geográfica aproximada dessas estufas encontra-se apresentada na Tabela 1. A designação das empresas agrícolas permanecerá anónima, por uma questão de confidencialidade dos dados.

Tabela 1. Localização das estufas comerciais de tomate utilizadas no estudo, em Novais (Vila Nova de Famalicão, Portugal)

Estufa	Coordenadas decimais	Coordenadas DMS
RZ	41.3898 N, 8.4583 W	41°23'23.2"N; 8°27'30.0"W
SA	41.3916 N, 8.4365 W	41°23'29.9"N; 8°26'11.4"W
FS	41.3891 N, 8.4335 W	41°23'20.8"N; 8°26'00.7"W

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a região enquadra-se no tipo **Csb** (clima temperado oceânico, com verão seco e ameno), conforme ilustrado na Figura 3 (Peel *et al.*, 2007). A temperatura média anual ronda 14–15 °C, com precipitação anual média entre 1200 e 1600 mm, concentrada sobretudo no outono e inverno. Durante o período estival, que coincide com o ciclo do tomateiro, a precipitação é baixa e as temperaturas diurnas médias variam entre 20 e 28 °C, enquanto as mínimas noturnas oscilam entre 12 e 16 °C.

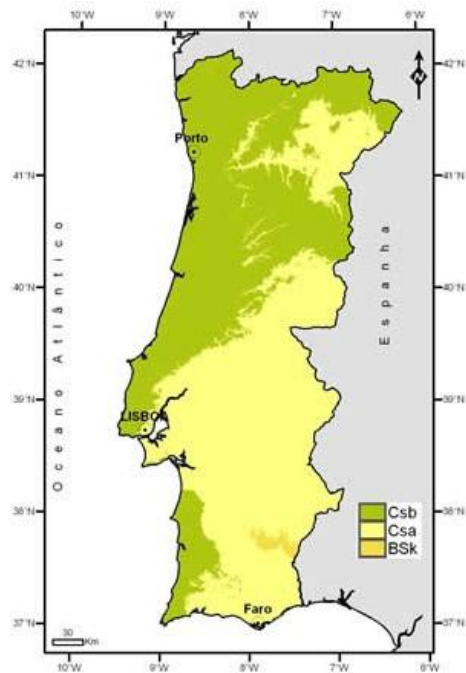


Figura 3. Mapa de Portugal continental segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, com destaque para as regiões Csa (mediterrânico de verão quente), Csb (mediterrânico de verão ameno) e BSk (semiárido frio). Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera [IPMA] (2025).

As estufas eram do tipo túnel plástico com ventilação lateral, com cerca de 3–4 m de altura, cobertas por polietileno e dotadas de janelas laterais que permaneceram abertas durante o período experimental para ventilação natural. Cada estufa tinha dimensões aproximadas de 0,1–0,2 ha (1000–2000 m²) e encontrava-se inserida em MIP, ou seja, sob manejo com base no conceito de Proteção Integrada de Culturas: o que implica

práticas culturais semelhantes entre si, uso parcimonioso de inseticidas e incentivo ao controlo biológico das pragas. As três estufas alvo de amostragem eram rodeadas por fragmentos de vegetação espontânea.

As práticas agrícolas (rega, fertilização, tutoramento das plantas) foram equivalentes nas três unidades, minimizando diferenças artificiais entre elas. Importa ainda referir que, enquanto a Estufa RZ era conduzida em solo, as estufas SA e FS adotavam sistema de semi-hidroponia em substrato de fibra de coco, constituindo a principal diferença estrutural entre as explorações. A Figura 4a apresenta uma fotografia da Estufa RZ registada durante a campanha do tomate de 2024 e, de forma complementar, a Figura 4b ilustra a Estufa SA no mesmo período.



Figura 4. Sistemas de cultivo observados nas estufas comerciais incluídas no estudo: (a) Estufa RZ, conduzida em solo; (b) Estufa SA, conduzida em sistema de semi-hidroponia em substrato de fibra de coco. Fotografias obtidas durante a campanha experimental de 2024.

Adjacentes a cada estufa existiam fragmentos de habitat seminatural que, durante o período de amostragem, não foram sujeitos a mobilização do solo nem a aplicações de herbicidas. Especificamente, em torno de cada estufa foram identificados três fragmentos de vegetação espontânea, localizados junto a cada lado ou extremidade da

estufa. Cada fragmento consistia num prado espontâneo com aproximadamente 100 m², contendo uma grande variedade de plantas herbáceas espontâneas.

Estas plantas compreendiam gramíneas e dicotiledóneas ruderais típicas de margens agrícolas, incluindo espécies floríferas que fornecem recursos a insetos (e.g., *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, entre outras). Antes do início da campanha do tomate, foi realizado um corte inicial da vegetação, coincidente com a remoção da cultura anterior (alface) e a preparação das estufas para a instalação da nova cultura. Após esse primeiro corte, acordou-se com os produtores que os habitats seminaturais adjacentes permaneceriam sem intervenção ao longo do ciclo do tomateiro, de modo a manter um habitat estável para a fauna auxiliar. Contudo, em duas das explorações verificou-se um corte adicional, não programado, em pequenas parcelas dessas áreas, motivado pela necessidade operacional de permitir a passagem de tratores. A disposição espacial das estufas e dos respetivos fragmentos seminaturais adjacentes, que foram subdivididos em três unidades (A, B e C) para o levantamento florístico, encontra-se ilustrada nas Figuras 5a–c.



Figura 5a. Vista aérea da Estufa SA com a área da estufa delimitada a verde (contorno amarelo) e três fragmentos seminaturais adjacentes identificados pelas letras A, B e C, acompanhadas de um ícone de planta. Fonte: Google Earth Pro (imagem editada pelo autor, 2025)



Figura 5b. Vista aérea da Estufa RZ, com a área da estufa delimitada a verde (contorno amarelo) e três fragmentos seminaturais adjacentes identificados pelas letras A, B e C, acompanhadas de um ícone de planta. Fonte: Google Earth Pro (imagem editada pelo autor, 2025).



Figura 5c. Vista aérea da Estufa FS, com a área da estufa delimitada a verde (contorno amarelo) e três fragmentos seminaturais adjacentes identificados pelas letras A, B e C, acompanhadas de um ícone de planta. Fonte: Google Earth Pro (imagem editada pelo autor, 2025).

Dada esta caracterização da área de estudo, torna-se possível compreender o delineamento experimental adotado, que define a forma como as amostragens foram organizadas no espaço e no tempo, conforme descrito na secção seguinte.

2.2. Delineamento experimental

O delineamento do experimento foi concebido para caracterizar a flora dos habitats seminaturais adjacentes às estufas de tomate e, em paralelo, avaliar a fauna de IN e a presença de *P. absoluta* no interior das estufas comerciais, ao longo do tempo, de forma a explorar potenciais relações entre a flora exterior e a fauna observada no interior. Adotou-se um arranjo amostral fatorial em espaço e tempo, com dois habitats (interior da estufa vs. exterior seminatural) avaliados mensalmente entre maio e agosto, durante dois anos consecutivos (2023 e 2024).

O período de amostragem de campo decorreu de maio a agosto nos anos de 2023 e 2024, abrangendo os meses de primavera/verão em que a cultura do tomateiro se encontra instalada e em produção. Em cada ano, foram realizadas 4 campanhas mensais de amostragem da fauna no interior das estufas (uma em cada mês), totalizando 8 repetições temporais ao longo de todo o estudo. Nos habitats seminaturais adjacentes, a flora foi caracterizada apenas uma vez em cada ano, totalizando 2 levantamentos independentes. As datas de amostragem situaram-se aproximadamente a meio de cada mês (± 5 dias), escolhendo-se dias sem chuva e preferencialmente com céu pouco nublado para padronizar as condições meteorológicas.

Foram selecionadas 3 estufas comerciais de tomate, identificadas como RZ, SA e FS, situadas em locais distintos, mas dentro da mesma região agrícola. Cada estufa constituiu uma unidade experimental do fator “local” e possuía três fragmentos seminaturais adjacentes, conforme descrito na secção anterior. Assim, totalizando nove habitats seminaturais (3 por exploração comercial de tomate) considerados como unidades de amostragem para a flora dos habitats seminaturais.

Para fins de comparabilidade espacial, cada estufa foi virtualmente dividida em 3 setores internos, correspondentes às linhas de tomate mais periféricas, localizadas junto a cada fragmento exterior.

Dentro de cada estufa, o tomateiro (*Solanum lycopersicum*) era cultivado em linhas, com densidade aproximada de 2 plantas/m². Foram utilizadas variedades de tomateiro de crescimento contínuo (indeterminado), com frutos do tipo redondo, destinadas ao consumo direto no mercado fresco, cultivadas em estufa durante o ciclo primavera–

verão. Em cada estufa, e em cada campanha, foram amostradas 30 plantas de tomate, selecionadas aleatoriamente e distribuídas equitativamente pelos três setores (10 plantas por setor).

A seleção dos tomateiros restringiu-se às fileiras voltadas para o exterior, abrangendo aproximadamente até a décima planta no sentido borda–interior da estufa. Esta escolha visou contemplar a interface entre o cultivo protegido e o ambiente exterior, onde se pressupõe maior intercâmbio de artrópodes (Neto *et al.*, 2024). Dessa forma, estabeleceu-se uma associação direta entre cada fragmento seminatural e um setor específico da estufa contígua. Este pareamento assegurou a comparabilidade espacial entre os fragmentos exteriores e os setores internos contíguos, permitindo explorar a eventual influência da flora adjacente sobre a comunidade de artrópodes observada no interior das estufas.

Nos habitats seminaturais, cada um dos 9 fragmentos adjacentes foi delimitado com uma quadrícula de amostragem de 100 m² (aproximadamente 10 m × 10 m), posicionada contígua à margem da estufa correspondente. Esse tamanho de parcela visou abranger suficientemente a comunidade de plantas espontâneas relevante para os insetos. Os fragmentos eram dominados por vegetação herbácea e mantidos em pousio, apresentando elevada diversidade florística. Para caracterização da flora, procedeu-se ao levantamento florístico qualitativo em cada fragmento.

As condições climáticas médias registadas durante as amostragens foram semelhantes nos dois anos, típicas do verão atlântico: temperaturas do ar entre 20 e 30 °C e humidade relativa moderada (50–70% ao meio-dia), sem ocorrência de eventos extremos de calor ou precipitação nos dias de campo.

Em suma, o delineamento experimental contemplou comparações entre locais (três explorações distintas) e entre épocas (meses e anos), tendo como foco a caracterização da flora espontânea nos fragmentos seminaturais adjacentes e, em paralelo, a presença e abundância de IN da *P. absoluta* no interior das estufas. Adicionalmente, em cada campanha registou-se a infestação da praga nas plantas de tomate, possibilitando relacionar a sua dinâmica populacional com a ocorrência dos IN. Nos subcapítulos seguintes serão descritos em detalhe os métodos de amostragem florística e faunística adotados neste trabalho.

2.3. Amostragem da vegetação espontânea

A caracterização da vegetação espontânea nos habitats seminaturais adjacentes às estufas foi realizada com o objetivo de compreender de que forma estes fragmentos de vegetação espontânea podem influenciar a ocorrência de IN no interior da cultura.

A flora espontânea foi caracterizada através do método *pint-quadrat* posicionados aleatoriamente no fragmento. Em cada fragmento seminatural adjacente à estufa, amostraram-se 10 quadrados de 0,25 m² (molduras de 50 × 50 cm) (Figura 6), totalizando 30 quadrados por exploração e 90 no conjunto do estudo. O procedimento foi realizado uma vez por ano, durante os meses de maio de 2023 e 2024, perfazendo dois levantamentos completos da flora ao longo do estudo. O posicionamento aleatório do quadrado garante que a seleção das áreas amostradas seja imparcial, cobrindo a variabilidade espacial da comunidade vegetal (Lima *et al.*, 2017). O quadrado foi construído em fio (barbante), constituindo uma adaptação metodológica do “quadrado de madeira” descrito por Cavalcante *et al.* (2018). Esse tamanho de 0,25 m² mostrou-se apropriado em outros estudos fitossociológicos de plantas infestantes por capturar a diversidade local de espécies herbáceas sem tornar a identificação inviável (Lima *et al.*, 2017).



Figura 6. Quadrado de amostragem (0,25 m²) utilizado no levantamento da flora espontânea nos fragmentos seminaturais. Fotografia registada durante a campanha experimental.

Em cada quadrado todas as espécies de flora presentes foram registradas por fotografia. Estas fotografias das plantas (incluindo detalhes de folhas e flores) serviram de suporte para identificação taxonômica posterior.

A identificação baseou-se na comparação das características observadas com descrições e imagens disponibilizadas em repositórios digitais especializados, nomeadamente a Flora Digital de Portugal do Jardim Botânico da UTAD e a plataforma Flora-On (da Sociedade Portuguesa de Botânica). Essas bases de dados *online* oferecem fotografias, informação da distribuição geográfica em Portugal e informações taxonômicas e biológicas que permitiram confirmar a identidade das espécies registradas. Sempre que necessário, recorreu-se também a manuais florísticos e obras especializadas na flora portuguesa e europeia (por exemplo, Flora Ibérica), sobretudo para grupos de plantas de identificação mais complexa.

Uma vez identificadas, todas as espécies encontradas foram catalogadas e inventariadas em uma planilha, contemplando diferentes atributos relevantes. Para cada registo, anotou-se: (i) a exploração agrícola (estufa comercial) onde foi amostrada; (ii) o fragmento seminatural onde foi amostrada; (iii) a numeração ordinal do quadrado onde foi amostrada; (iv) o nome científico da espécie e respetiva família botânica; (v) o estágio fenológico observado no momento da amostragem; e (vi) a época de floração típica da espécie.

A determinação do estágio fenológico baseou-se na presença de estruturas reprodutivas, classificando-se cada ocorrência em quatro categorias: crescimento vegetativo, pré-floração, floração e frutificação. Já a época de floração refere-se ao período do ano em que a espécie geralmente floresce sob condições normais nesta região.

Essa informação foi obtida através do portal Flora Digital de Portugal do Jardim Botânico da UTAD, que indica os meses habituais de floração para cada planta. O registo de dados fenológicos é importante, pois a disponibilidade de recursos florais (néctar e pólen) ao longo do tempo está diretamente ligada ao suporte oferecido aos insetos benéficos.

Este inventário florístico servirá de base para análises posteriores, permitindo correlacionar a composição e fenologia da flora espontânea com a dinâmica de insetos benéficos e pragas observada nas estufas.

2.4. Amostragem e identificação de insetos

A amostragem dos IN foi realizada no interior das estufas de tomate, com ênfase nos grupos de interesse para o controlo biológico, em particular os IN (potenciais predadores e parasitoides) de *P. absoluta*. As amostragens foram conduzidas mensalmente durante a época primavera-verão (de maio a agosto de 2023 e 2024), coincidindo tanto com o período de maior atividade de pragas como com o ciclo do tomateiro em estufa na região do estudo.

Dentro de cada estufa, a amostragem de insetos concentrou-se nas linhas periféricas de plantas, ou seja, as fileiras de tomateiro mais próximas das aberturas laterais e da interface com o habitat externo. Essa escolha se deve ao fato de muitos IN colonizarem a cultura a partir das bordaduras vegetadas, sendo esperada uma maior abundância desses organismos nas plantas próximas à orla da estufa.

Em cada estufa, foram selecionadas 30 plantas de tomate de forma aleatória dentro dessas linhas periféricas para servirem de unidades amostrais. Cada planta selecionada foi então submetida a dois procedimentos de amostragem complementares: a observação visual e a técnica das pancadas.

Para a observação visual, cada planta foi inspecionada durante um período de 5 minutos. Foram examinados todos os estratos da planta, folhas (superfície superior e inferior), caules, flores e frutos, em busca de insetos ou outros artrópodes presentes. Todos os indivíduos avistados foram contabilizados e, quando possível, coletados com auxílio de um aspirador entomológico, especialmente se fossem necessários para posterior identificação taxonômica precisa (por exemplo, insetos muito pequenos ou de morfologia difícil de distinguir a olho nu).

A observação visual permitiu detetar organismos que eventualmente passem despercebidos por outros métodos, incluindo formas imóveis (ovos, pupas) e espécies com hábitos mais sésseis ou crípticos que não se deslocariam mesmo com perturbação. No entanto, reconhece-se que este método pode subestimar artrópodes muito móveis ou de coloração camuflada, além de ser influenciado pela experiência do observador. Para aumentar a eficiência e a abrangência da amostragem, a inspeção visual foi aliada a um método ativo de derrube de insetos da planta, conforme descrito a seguir.

A técnica das pancadas (Teixeira *et al.*, 2000), também conhecida como pano-de-batida ou guarda-chuva entomológico, consistiu em sacudir mecanicamente os ramos das plantas, de forma padronizada, para desalojar os artrópodes presentes, que eram então

recolhidos num anteparo colocado logo abaixo da folhagem (Figura 7). Para este estudo utilizou-se um dispositivo adaptado, constituído por uma moldura retangular de madeira e metal (aprox. 1 m²) sobre a qual se fixou um pano branco em formato de funil. Na extremidade inferior do funil encontrava-se acoplado um frasco de vidro removível, onde os artrópodes caíam após as pancadas. Esta configuração em funil permitiu direcionar e concentrar a captura, reduzindo perdas e facilitando a recolha subsequente com aspirador entomológico ou pincel.



Figura 7. Aplicação em campo do dispositivo adaptado da técnica do pano-de-batida, constituído por uma moldura de madeira e metal (aprox. 1 m²), com pano branco em formato de funil acoplado a um frasco de vidro removível na base, utilizado para a captura de artrópodes em plantas de tomateiro.

Em seguida, deu-se uma série de pancadas ou abanões vigorosos nos ramos da planta (evitando danos excessivos à cultura), de modo que os insetos presentes caíssem sobre o pano. No protocolo deste estudo, aplicaram-se 15 pancadas no terço inferior (base) e 15 no terço médio de cada planta, totalizando 30 pancadas por unidade amostral.

Esse procedimento padronizado baseia-se no utilizado por Neto *et al.* (2024) e visa cobrir diferentes partes da planta onde os insetos possam estar abrigados (próximo ao solo vs. na parte aérea). Cada 30 plantas geraram assim uma amostra conjunta de indivíduos coletados pelo método de pancadas.

Paralelamente à recolha de IN, procedeu-se ao registo da infestação por *P. absoluta* nas mesmas 30 plantas de tomate por estufa e por mês. A metodologia de quantificação das larvas diferiu entre os dois anos de estudo. Em 2023, a amostragem consistiu na contagem absoluta do número total de larvas vivas encontradas nas 30 plantas, resultando num valor agregado por estufa e por mês. Em 2024, a avaliação foi realizada individualmente por planta, atribuindo-se a cada uma, uma classe de infestação ordinal (0=0 larvas; 1=1–20; 2=21–40; 3=41–80; 4=>80). Adicionalmente, em ambos os anos foi registada a presença de adultos de *P. absoluta* nas plantas amostradas, como indicador complementar da pressão da praga.

Após cada sessão de amostragem em campo (seja pelo método visual ou por pancadas), procedeu-se à organização e conservação das amostras coletadas. Os insetos capturados foram transferidos para frascos de vidro, contendo uma etiqueta interna com informações básicas (código da amostra, data, local).

Para assegurar a morte rápida dos espécimes e evitar danos por canibalismo dentro do frasco, os recipientes foram preenchidos com etanol 96% e mantidos no frigorífico (aprox. 4 °C) para posterior identificação à lupa binocular.

No laboratório, realizou-se a triagem e identificação dos artrópodes coletados. Inicialmente, os conteúdos de cada frasco foram vertidos em uma placa de Petri com álcool 96%, para facilitar a manipulação. Em seguida, utilizando uma lupa estereoscópica binocular (microscópio estereoscópico), os indivíduos foram examinados individualmente.

Com auxílio de pincéis finos e pinças, procedeu-se à separação dos espécimes por morfotipos e grupos taxonômicos. A identificação taxonómica dos espécimes recolhidos foi realizada até ao nível mais específico possível. Sempre que a morfologia do exemplar o permitiu, tentou-se identificar o organismo até ao género, com base em descrições da literatura especializada (Aquino, de Aguiar-Menezes & de Queiroz, 2006).

Após a identificação, os espécimes foram preservados novamente em etanol 96% como material testemunho.

Adicionalmente, atribuiu-se a cada espécime uma categoria de função ecológica (predador, parasitoide, fitófago ou indiferente) de acordo com a literatura de controlo biológico de conservação (Cota e Souza, 2022). Esta abordagem permite quantificar e comparar a abundância de IN face à de pragas e de outros insetos, produzindo

indicadores objetivos do potencial da vegetação seminatural para promover o controlo biológico nas estufas estudadas.

Apesar de ter sido empreendido um esforço de identificação taxonómica tão detalhado quanto possível (com apoio especializado para grupos de difícil distinção) e de cada espécime ter sido categorizado segundo a sua função ecológica (predador, parasitoide, etc.), optou-se por apresentar os IN apenas até ao nível de ordem taxonómica. Esta decisão deveu-se ao facto de nem todos os exemplares terem podido ser identificados a níveis inferiores, privilegiando-se assim a coerência e comparabilidade dos dados, ao considerar a ordem como unidade taxonómica operacional. Na triagem laboratorial procedeu-se ainda à separação dos insetos recolhidos em fitófagos e IN; os primeiros foram excluídos das análises e os segundos foram agrupados por ordem taxonómica para a apresentação dos resultados.

2.5. Análise dos dados

Todos os dados foram organizados em folhas de cálculo Microsoft Excel® (versão 365), a partir das quais se procederam às análises estatísticas e de biodiversidade. Para a caracterização da fauna auxiliar, foram calculadas métricas de abundância total, riqueza de ordens (riqueza α) e índice de diversidade de Simpson ($1-D$). A diferenciação entre comunidades de IN entre estufas foi avaliada através do índice de dissimilaridade de Sørensen ($\beta_{Sør}$).

As fórmulas utilizadas foram as seguintes:

- **Índice de Simpson (1-D):**

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

onde p_i corresponde à proporção de indivíduos da i -ésima ordem e S ao número total de ordens.

- **Índice de Sørensen ($\beta_{Sør}$):**

$$\beta_{Sør} = 1 - \frac{2a}{2a + b + c}$$

em que a representa o número de ordens comuns entre duas estufas, b o número de ordens exclusivas da primeira estufa e c o número de ordens exclusivas da segunda.

Optou-se pelo índice de Simpson ($1-D$) em vez do índice de Shannon-Wiener, por ser menos sensível a variações no esforço de amostragem e mais robusto em comunidades dominadas por poucos grupos, como neste estudo. Para a diversidade β , foi utilizado o índice de Sørensen, baseado em presença/ausência, adequado para avaliar diferenças na composição entre estufas independentemente da abundância relativa.

Os levantamentos da flora espontânea adjacente às estufas foram tratados de forma descritiva, apresentando-se a composição florística e a sua potencial relação com a fauna auxiliar.

Dada a natureza observacional do estudo em ambiente comercial, a ausência de réplicas verdadeiras e a natureza ordinal de algumas variáveis, optou-se por uma abordagem de estatística descritiva e análise comparativa, sem recurso a testes de inferência estatística formais.

3. Resultados e Discussão

3.1. Dinâmica de *Phthorimaea absoluta*

Entre maio e agosto observaram-se dinâmicas populacionais distintas de *P. absoluta* em cada estufa e ano (Figuras 8a e 8b; Tabelas 2a e 2b). Globalmente, não se observou um padrão estacional recorrente entre anos: cada estufa evidenciou flutuações próprias e picos em momentos distintos.

Diferenças metodológicas entre anos e harmonização dos dados

A quantificação de larvas de *P. absoluta* diferiu entre os anos. Em 2023, registou-se a contagem absoluta total por estufa/mês (soma de 30 plantas). Em 2024, registou-se a classe de infestação por planta. Para permitir uma análise comparativa, foi necessário harmonizar os dados de 2023, convertendo-os para o sistema de classes de 2024. A abordagem consistiu em, para cada registo de 2023 (estufa × mês), calcular a média de larvas por planta (larvas totais / 30 plantas) e, em seguida, classificar essa média de acordo com os intervalos de 2024. Esta abordagem permite comparar as classes de infestação entre anos, reconhecendo-se que a metodologia de 2023, ao basear-se numa média, tende a suavizar a variabilidade e a atribuir classes potencialmente mais baixas do que uma avaliação planta a planta.

Padrões de infestação (2023)

Em 2023, a dinâmica da infestação, exibiu padrões distintos (figura 8a e tabela 2a). A estufa FS apresentou um pico de infestação tardio, atingindo a classe 4 (>80 larvas em média por planta) em agosto, um valor muito superior ao das restantes estufas. A estufa SA atingiu o seu pico em junho, mas manteve-se na classe 1 (0-20 larvas/planta), decrescendo para classe 0 em agosto com o final da cultura. A estufa RZ manteve-se consistentemente na classe 1 ao longo de todo o período, indicando uma baixa pressão da praga.

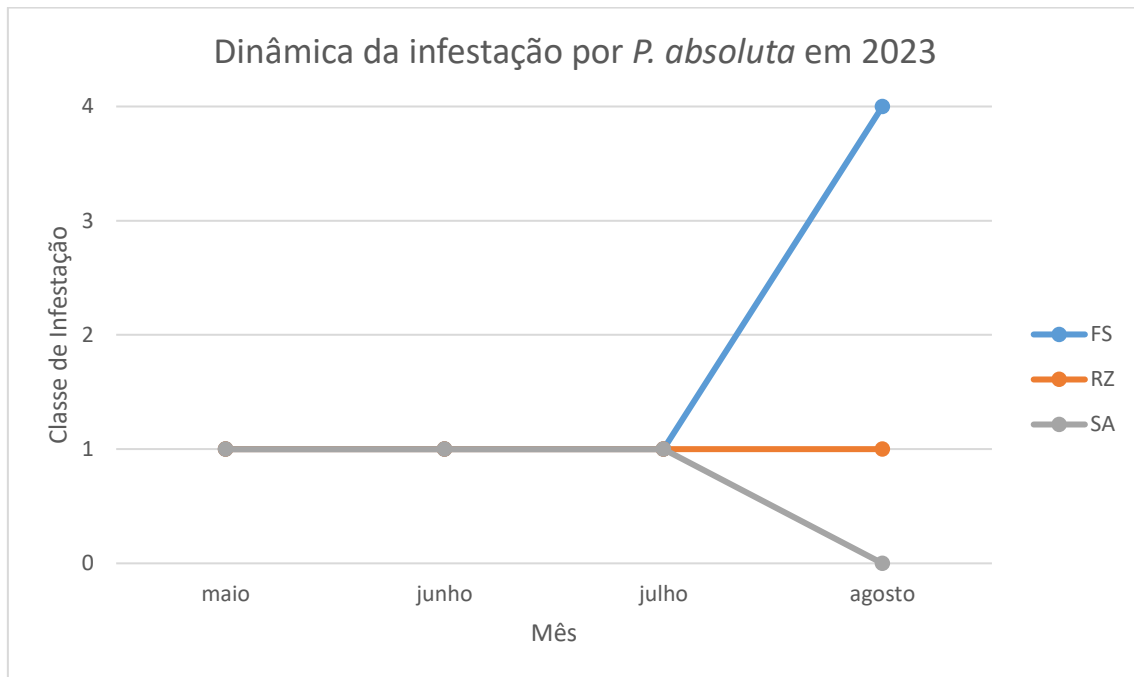


Figura 8a. Dinâmica mensal da infestação por *P. absoluta* nas estufas FS, SA e RZ em 2023. Os valores representam a classe de infestação (escala 0–4) calculada a partir da contagem total de larvas em 30 plantas por estufa.

Tabela 2a. Dinâmica de *Phthorimaea absoluta* nas estufas em 2023: classe de infestação (calculada a partir da contagem total de larvas) e adultos observados ($n=30$ plantas estufa⁻¹ mês⁻¹)

Estufa	Mês	Classe de infestação ²	Adultos
FS	Maio	1	3
	Junho	1	77
	Julho	1	28
	Agosto	4	21
SA	Maio	1	2
	Junho	1	12
	Julho	1	23
	Agosto	0	0
RZ	Maio	1	0
	Junho	1	1
	Julho	1	4
	Agosto	1	5

Padrões de infestação (2024)

Em 2024, a análise da distribuição das classes de infestação por planta (Tabela 2b, Figura 8b) revelou um padrão de pressão crescente na estufa FS, onde a classe modal

² A classe de infestação em 2023 foi calculada a partir da contagem total de larvas vivas nas 30 plantas, dividida por 30 para obter a média por planta, e posteriormente classificada de acordo com os intervalos: 0=0 larvas; 1=1–20; 2=21–40; 3=41–80; 4=>80.

progrediu de 1 em maio/junho para 2 em julho/agosto, indicando um agravamento da infestação. Em SA, a infestação foi praticamente nula em maio (classe modal 0), mas estabeleceu-se na classe 1 nos meses seguintes. A estufa RZ manteve-se como a de menor infestação, com a classe modal a ser 0 na primeira metade do ciclo e 1 na segunda.

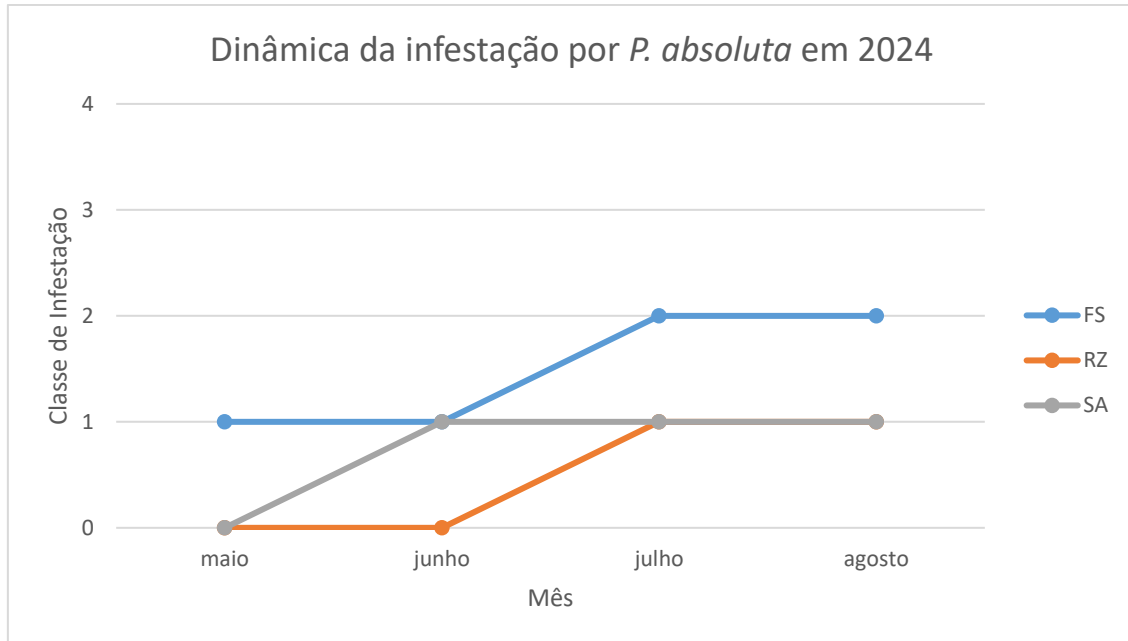


Figura 8b. Dinâmica mensal da infestação por *P. absoluta* nas estufas FS, SA e RZ em 2024. Os valores representam a classe de infestação modal (escala 0–4), correspondente à classe mais frequente em 30 plantas por estufa.

Tabela 2b. Dinâmica de *Phthorimaea absoluta* nas estufas em 2024: classe de infestação modal (mais frequente) e adultos observados ($n=30$ plantas estufa⁻¹ mês⁻¹)

Estufa	Mês	Classe de infestação ³	Adultos
FS	Maio	1	5
	Junho	1	15
	Julho	2	11
	Agosto	2	86
SA	Maio	0	0
	Junho	1	1
	Julho	1	10
	Agosto	1	9
RZ	Maio	0	0
	Junho	0	0
	Julho	1	0
	Agosto	1	4

³ A classe de infestação em 2024 corresponde à moda (classe mais frequente) observada nas 30 plantas amostradas.

Fatores ecológicos e de paisagem

Os dados evidenciam diferenças entre estufas. Em 2023, a FS apresentou um pico tardio de *P. absoluta*, enquanto a RZ manteve densidades baixas. A literatura indica que *P. absoluta* pode desenvolver-se continuamente em estufa quando não controlada, alcançando várias gerações anuais em contextos sem inverno rigoroso, em grande parte devido à ausência de diapausa obrigatória e à disponibilidade de hospedeiros (Adams *et al.*, 2023).

Na FS, a menor contenção inicial, potencialmente associada a baixa pressão de IN precoces, poderá ter permitido o aumento populacional observado ao longo do ciclo. Em contraste, a RZ apresentou níveis consistentemente baixos, um padrão que pode estar associado à presença de IN desde o início do ciclo (ver Secção 3.2), sugerindo um potencial efeito de contenção da praga. Isto está alinhado com o conceito de precocidade de colonização por IN, documentado por Ardanuy *et al.* (2019), em que estufas próximas de vegetação nativa mediterrânica são ocupadas mais cedo por predadores mirídeos que reduzem os focos iniciais da praga.

A maior conectividade ecológica da RZ com habitats naturais circundantes pode ter facilitado a imigração precoce (e.g., *Nesidiocoris tenuis*). A FS, mais isolada e com menos refúgios adjacentes, poderá ter registado menor pressão de controlo biológico no início do ciclo.

A configuração da paisagem pode afetar o biocontrolo: habitats seminaturais próximos tendem a favorecer predadores, enquanto áreas extensas de monocultura podem aumentar a pressão de praga (Campolo *et al.*, 2020; Roditakis *et al.*, 2013; Desneux *et al.*, 2022). Diferenças locais de contexto ecológico, não quantificadas neste ensaio, poderão ter contribuído para as divergências observadas em 2023.

Fatores microclimáticos e fenológicos

Fatores microclimáticos e fenológicos podem ter influenciado a dinâmica de *P. absoluta*. O cultivo protegido de tomate favorece o aumento de pragas: temperaturas amenas e humidade elevada criam condições propícias à multiplicação rápida de insetos, exigindo monitorização rigorosa (Messelink *et al.*, 2021; Doepler *et al.*, 2023). Em particular, *P. absoluta* desenvolve-se mais rapidamente entre 25–30 °C, podendo completar o estágio larvar em 2 semanas e originar várias gerações por campanha (Pandey *et al.*, 2023).

Durante junho–agosto, as temperaturas terão permanecido, em geral, no intervalo favorável ao desenvolvimento da praga, potenciando ciclos mais rápidos. Ondas de

calor ($>30\text{ }^{\circ}\text{C}$) podem ter efeitos mistos, reduzindo a sobrevivência de ovos/larvas e afetando a eficácia de predadores (Siscaro *et al.*, 2019); estes fatores não foram medidos no presente estudo.

Siscaro *et al.* (2019) reportam redução na sobrevivência de alguns IN acima de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e baixa atividade predatória abaixo de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. No presente estudo não há evidência de supressão da praga por calor excessivo; no entanto, ondas de calor pontuais poderão ter afetado temporariamente predadores (Ziaei Madbouni *et al.*, 2017; Siscaro *et al.*, 2019).

Síntese interpretativa

Em síntese, verificou-se variação interanual e entre estufas na intensidade de infestação por *P. absoluta*: na FS, a dinâmica da infestação alterou-se significativamente: em 2023, observou-se um pico extremo no final do ciclo (classe 4), enquanto em 2024 a infestação foi elevada mas mais distribuída ao longo do tempo, com predominância de classes 1 e 2. Na SA, a infestação foi superior em 2024 comparativamente a 2023, estabelecendo-se na classe 1. A RZ manteve-se como a estufa com menor pressão da praga em ambos os anos. Estes padrões sugerem influência conjunta de população remanescente, pressão migratória, microclima e IN, aspetos discutidos adiante.

Em contextos temperados sem inverno rigoroso, *P. absoluta* pode persistir entre campanhas, em hospedeiros secundários ou como pupa em abrigos, dada a ausência de diapausa obrigatória (Biondi *et al.*, 2018). Há registos de sobrevivência invernal e reemergência na primavera seguinte (Desneux *et al.*, 2022; Mawcha *et al.*, 2025). Em FS, a elevada população de 2023 poderá ter contribuído para pressão residual (pupas em solo, hospedeiros secundários) e reinfestação precoce em 2024. A possibilidade de imigração externa precoce é consistente com a observação de adultos nas plantas em maio–junho (Tabelas 2a e 2b). Quando existem campos de tomate infestados nas imediações, estes podem atuar como fonte de mariposas para estufas próximas (Desneux *et al.*, 2022).

Em contraste, a SA em 2024 apresentou infestação inicial nula em maio e aumento gradual até agosto. A colonização terá ocorrido mais tardiamente (sem deteções relevantes até junho), atingindo níveis moderados no final do verão. Predadores generalistas (ver Secção 3.2) aumentaram sobretudo a partir de julho, o que poderá ter limitado a eficácia do controlo em fases iniciais. A literatura enfatiza a importância do *timing* de colonização por IN (Ardanuy *et al.*, 2019), uma vez que chegadas tardias reduzem o potencial de contenção da praga. Assim, os padrões observados parecem

resultar da interação entre população remanescente, pressão migratória, fatores microclimáticos e presença de IN. Estes aspetos serão analisados em maior detalhe na Secção 3.2, dedicada à comunidade auxiliar.

3.2. Comunidade de inimigos naturais

A comunidade de IN associada ao tomateiro variou entre estufas e anos, tanto em abundância total como na distribuição por ordens. Para facilitar a interpretação, os resultados são apresentados separadamente para 2023 (Tabela 3a e Figura 9a) e 2024 (Tabela 3b e Figura 9b).

A riqueza local (α).

Os valores das Tabelas 3a e 3b correspondem ao número de indivíduos registados por ordem e mês em cada estufa, combinando os dois métodos aplicados no interior das estufas (*observação visual e técnica das pancadas*).

Tabela 3a. Abundância mensal de inimigos naturais por ordem taxonómica, em cada estufa (FS, SA, RZ), de maio a agosto de 2023. Valores correspondem ao número de indivíduos observados combinando os métodos de campo usados neste estudo (observação visual e técnica das pancadas)

Ordem	Estufa	Maio	Junho	Julho	Agosto
Hemiptera	FS	5	3	0	11
	SA	1	15	8	0
	RZ	57	9	10	78
Hymenoptera	FS	10	4	4	4
	SA	3	4	8	0
	RZ	3	9	8	14
Coleoptera	FS	1	0	0	0
	SA	0	0	0	0
	RZ	0	0	1	0
Diptera	FS	1	0	0	2
	SA	0	3	2	0
	RZ	1	3	3	2
Neuroptera	FS	0	1	1	0
	SA	0	0	0	0
	RZ	0	0	3	0

Tabela 3b. Abundância mensal de inimigos naturais por ordem taxonómica, em cada estufa (FS, SA, RZ), de maio a agosto de 2024. Valores correspondem ao número de indivíduos observados combinando os métodos de campo usados neste estudo (observação visual e técnica das pancadas).

Ordem	Estufa	Maio	Junho	Julho	Agosto
Hemiptera	FS	0	2	5	1
	SA	0	4	1	13
	RZ	0	14	2	4
Hymenoptera	FS	5	18	14	6
	SA	0	4	6	4
	RZ	0	2	8	7
Coleoptera	FS	1	3	14	0
	SA	2	0	4	0
	RZ	0	2	13	0
Diptera	FS	5	5	3	3
	SA	1	0	4	0
	RZ	0	3	2	3
Neuroptera	FS	0	0	4	7
	SA	0	1	5	0
	RZ	0	3	9	4

Em 2023, registaram-se IN das ordens Hemiptera (percevejos predadores, predominantemente mirídeos e anthocorídeos), Hymenoptera (parasitoides de pequenas dimensões), Diptera (sobretudo sirfídeos, cujas larvas são predadores generalistas), Coleoptera (joaninhas e um estafilínídeo pontual) e Neuroptera (larvas de crisopídeos).

A riqueza local (α) em 2023 variou: RZ e FS apresentaram quatro a cinco ordens ao longo do período, enquanto SA registou três ordens (Hemiptera, Hymenoptera e Diptera). Em 2024, todas as estufas apresentaram registos das cinco ordens. Em particular, na SA foram observadas Coleoptera e Neuroptera (ausentes em 2023). Em 2023, a abundância total (maio–agosto) foi superior em RZ em comparação com FS e SA (Tabela 3a). Em 2024, os totais aproximaram-se mais entre estufas (Tabela 3b).

Composição relativa (2023).

A Figura 9a apresenta a composição relativa por ordem em 2023 (totais de maio–agosto) para cada estufa. Observou-se, de forma descritiva, predominância de Hemiptera na RZ, enquanto na FS e SA a comunidade incluiu proporções relevantes de Hymenoptera, Diptera, Coleoptera e Neuroptera em menor expressão ou ausentes em alguns casos.

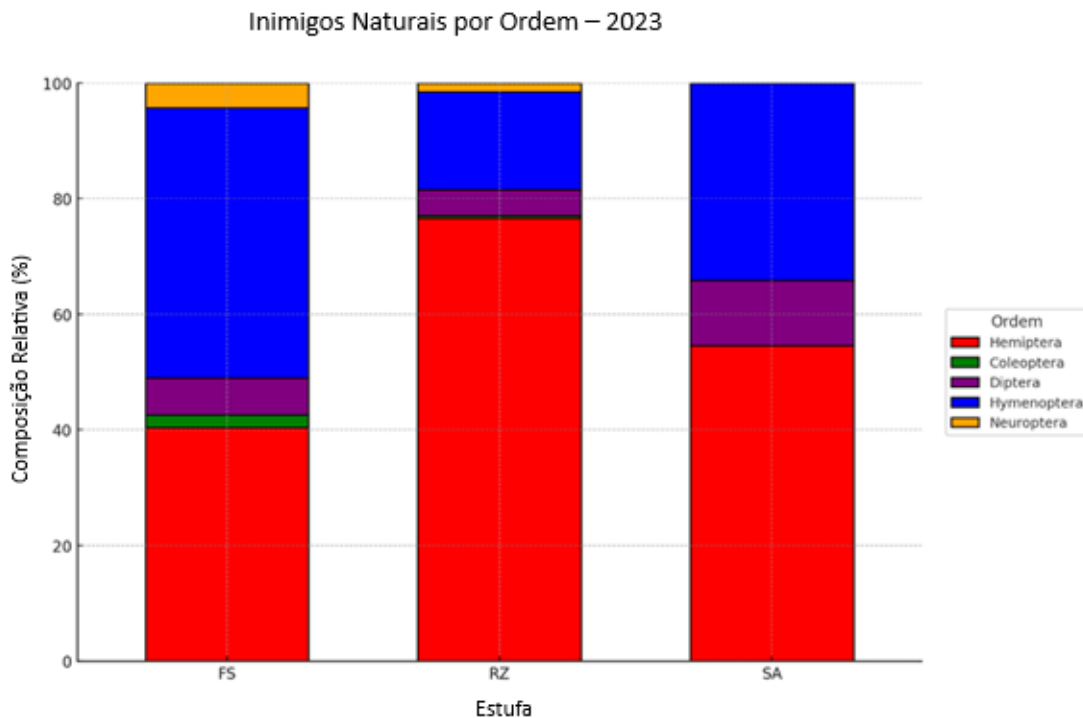


Figura 9a. Composição relativa (%) por ordem taxonómica dos inimigos naturais em 2023 (totais maio–agosto) para cada estufa (RZ, SA, FS).

Na figura 9a nota-se o domínio de Hemiptera, predadores de ovos/larvas, (vermelho) em RZ, contrastando com FS e SA onde Hymenoptera, parasitoides, (azul) e Hemiptera dividem protagonismo. Diptera (roxo), Coleoptera (verde) e Neuroptera (laranja) tiveram participações menores ou nulas em algumas estufas.

Composição relativa (2024).

A Figura 9b mostra a composição relativa por ordem em 2024 (totais de maio–agosto). Nas três estufas, a comunidade de IN evidenciou maior equilíbrio entre ordens, com Hemiptera, Hymenoptera, Coleoptera, Diptera e Neuroptera presentes em todas as estufas no cômputo anual. O enriquecimento biológico em SA pode ajudar a explicar por que, apesar da praga ter aumentado em 2024, não atingiu níveis tão elevados quanto os da FS no ano anterior: havia pelo menos algum contingente de predadores de reforço no final do ciclo (Hemiptera, Neuroptera, etc.) que pode ter limitado a densidade da praga.

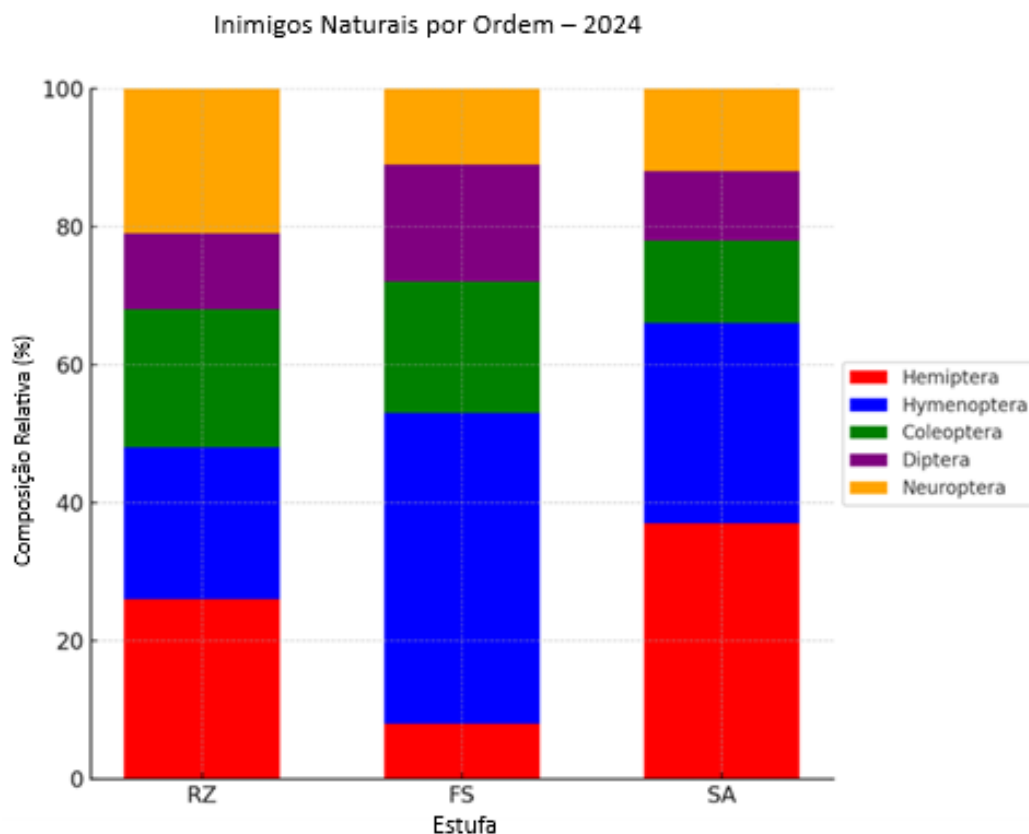


Figura 9b. Composição relativa (%) por ordem taxonômica dos inimigos naturais em 2024 (totais maio–agosto) para cada estufa (RZ, SA, FS).

Na figura 9b, observa-se que todas as estufas exibiram maior equilíbrio entre grupos funcionais em relação a 2023. Em RZ observa-se distribuição quase uniforme entre Hemiptera (vermelho), Hymenoptera (azul), Coleoptera (verde) e Neuroptera (laranja), refletindo maior diversidade funcional. FS manteve parasitoides como grupo principal, mas com presença marcante de outros predadores (joaninhas, sirfídeos, crisopas). SA aumentou a participação de coleópteros e neurópteros face ao ano anterior, além de contar com percevejos e parasitoides.

Diversidade (Simpson 1–D).

A análise do índice de Simpson (1–D), resumida na Tabela 4, evidenciou diferenças entre anos e estufas. Em 2023, a diversidade foi relativamente baixa em todas as estufas, com destaque para RZ, onde a dominância acentuada de Hemiptera resultou numa estrutura comunitária pouco equilibrada. Já em 2024 observou-se aumento consistente da diversidade em todas as estufas, sobretudo em SA, cuja comunidade passou a apresentar maior uniformidade na distribuição das ordens.

Tabela 4. Valores médios do índice de diversidade de Simpson (1-D) calculados ao nível de ordem taxonómica para as comunidades de inimigos naturais observadas nas três estufas comerciais de tomate (FS, RZ e SA), durante os anos de 2023 e 2024

Estufa	Simpson (1-D) 2023	Simpson (1-D) 2024
FS	0,51	0,69
RZ	0,54	0,65
SA	0,57	0,82

Na perspetiva de controlo biológico, diversidade funcional elevada tende a corresponder a maior estabilidade e resiliência no controlo de pragas (Letourneau *et al.*, 2011; Blassioli-Moraes *et al.*, 2022). Essa diversidade funcional é considerada um fator chave para assegurar maior estabilidade do controlo biológico, uma vez que diferentes grupos de IN atacam a praga em distintos estádios de desenvolvimento ou micro-habitats (Dainese *et al.*, 2019). Assim, o padrão observado em 2024, que exhibe comunidades mais heterogéneas e equilibradas ao nível taxonómico, sugere um sistema potencialmente mais resiliente, em contraste com a situação de 2023, quando a forte dominância de um único grupo (Hemiptera em RZ, parasitoides em FS) poderia deixar o agroecossistema mais vulnerável a falhas no serviço de controlo biológico.

Dissimilaridade β (Sørensen).

Os valores de dissimilaridade β -Sørensen, calculados com base na presença/ausência de ordens de IN, encontram-se na Tabela 5. Em 2023, a estufa SA apresentou menor similaridade em relação às demais, refletindo a ausência de alguns grupos (Coleoptera e Neuroptera), enquanto FS e RZ partilharam a totalidade das ordens. Em 2024, todas as estufas exibiram as cinco ordens, resultando em $\beta = 0,00$ em todas as comparações.

Tabela 5. Valores de dissimilaridade β -Sørensen (1 – índice de Sørensen) entre pares de estufas (FS, SA, RZ) nos anos de 2023 e 2024.

Comparação entre estufas	β -Sørensen 2023	β -Sørensen 2024
FS – SA	0,25	0
SA – RZ	0,25	0
FS – RZ	0	0

Este padrão confirma a homogeneização da composição taxonómica entre estufas no segundo ano, associada a uma maior uniformidade funcional do sistema ecológico. Na perspetiva da ecologia aplicada, a redução das diferenças entre comunidades locais traduz uma **convergência funcional** que tende a aumentar a estabilidade dos serviços de regulação biológica (Rusch *et al.*, 2023). Em termos práticos, significa que nenhuma

estufa permaneceu desprovida de grupos funcionais relevantes, o que reduz a vulnerabilidade a explosões populacionais da praga.

Além disso, este resultado é consistente com estudos que demonstram que paisagens agrícolas dotadas de habitats complementares, como sebes, matos e faixas floridas, favorecem uma colonização mais homogênea de IN entre parcelas adjacentes (Dainese *et al.*, 2019; Schellhorn *et al.*, 2014). A uniformização observada em 2024 é, portanto, indicativa de uma maior conectividade ecológica, que facilita o movimento e a persistência dos IN no agroecossistema. Além disso, esta estabilização das populações pode também ser explicada pela mudança na gestão dos habitats seminaturais feita pelos produtores, nestas explorações. Anteriormente a este estudo, estes habitats eram geridos através da aplicação de herbicidas, e diversos cortes da vegetação ao longo do ciclo. A partir do primeiro ano do estudo passou a ser efetuado apenas um corte no início do ciclo da cultura, e cortes pontuais em pequenas faixas contidas para passagem de máquinas, o que contribuiu para uma estabilização da comunidade vegetal, uma permanência constante de recursos florísticos disponíveis e levou a uma sucessiva colonização desses habitats por insetos benéficos.

Em síntese, os resultados evidenciam que em 2023 a composição e abundância de IN diferiram entre estufas, com maior predominância de Hemiptera em RZ. Em 2024, verificou-se um aumento consistente da diversidade (Simpson 1–D) e uma maior uniformidade na composição taxonómica em todas as estufas, refletida também pela redução da dissimilaridade β (Sørensen) entre pares ($\beta = 0,00$). Estes padrões sugerem um sistema mais equilibrado e resiliente no segundo ano.

Importa referir que a análise foi conduzida ao nível de ordem, devido a limitações de identificação específica (ex.: indivíduos imaturos e grupos morfológicamente difíceis). Esta abordagem implica menor resolução taxonómica, mas é adequada para captar diferenças estruturais e funcionais entre comunidades, permitindo inferir implicações ecológicas relevantes com base em grupos funcionais amplos (predadores generalistas e parasitoides).

3.3. Relação entre a flora adjacente e os predadores

Composição e riqueza da flora adjacente

Nos fragmentos de vegetação adjacentes às estufas foi registada uma diversidade elevada de plantas espontâneas e subespontâneas, pertencentes a várias famílias botânicas, com destaque para Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Brassicaceae,

Caryophyllaceae, Geraniaceae e Apiaceae. Esta composição incluiu tanto espécies de floração primaveril-estival (ex.: *Coleostephus myconis*, *Trifolium pratense*) como espécies de ciclo mais longo ou tardio (ex.: *Stellaria media*, *Daucus carota*), cobrindo diferentes fases do ano agrícola.

A riqueza específica variou entre fragmentos e anos, oscilando aproximadamente entre 12 e 55 espécies. Em alguns casos, como no fragmento FS.A, a riqueza aumentou de 2023 para 2024, enquanto noutros fragmentos (ex.: RZ.A e C, SA.B) observou-se redução, possivelmente associada a distúrbios locais ou variações sazonais. Em síntese, a composição florística foi heterogénea, mas em todos os fragmentos verificou-se um conjunto diversificado de espécies potencialmente relevantes para os IN (Figura 10).

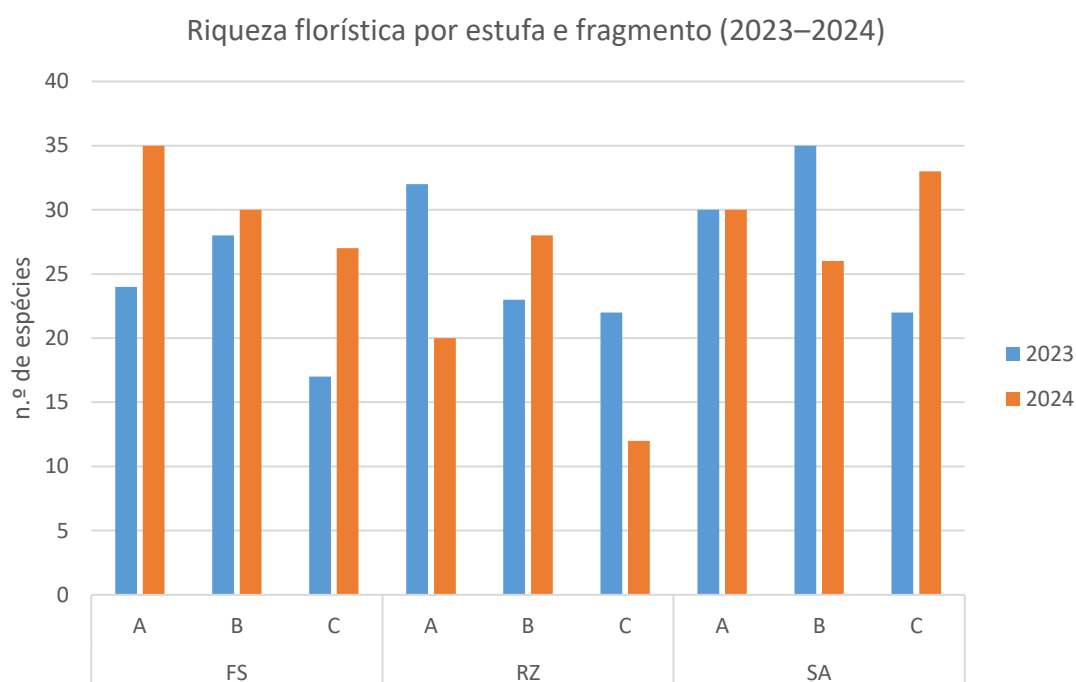


Figura 10. Riqueza florística (nº de espécies) por habitat seminatural e ano, em cada estufa.

Fenologia da floração e oferta de recursos

Para avaliar a disponibilidade de recursos florais, analisou-se a percentagem de espécies em floração por fragmento e mês. Os resultados mostraram uma complementaridade fenológica entre espécies, assegurando que em todos os fragmentos havia flores disponíveis de maio a agosto. A proporção de espécies em floração variou entre fragmentos e meses, atingindo valores máximos em junho–julho e diminuindo em agosto–setembro. Nenhum fragmento apresentou ausência total de

espécies em flor durante o ciclo cultural do tomate, indicando continuidade no fornecimento de recursos florais.

Este padrão confirma a importância da diversidade temporal da flora, que funcionou de forma semelhante a faixas floridas escalonadas, garantindo néctar e pólen durante todo o ciclo da cultura (Barda *et al.*, 2025; Landis *et al.*, 2000). Estudos prévios demonstram que tal continuidade aumenta a sobrevivência e a fecundidade de predadores e parasitoides (Wäckers & van Rijn, 2012), e foi observado que as Famílias Apiaceae (ex.: *Foeniculum vulgare*) e Asteraceae (ex.: *Calendula arvensis*) contribuíram para essa oferta estendida.

Relação com inimigos naturais

A literatura documenta que habitats seminaturais e faixas floridas junto a culturas agrícolas atuam como reservatórios de IN, fornecendo recursos tróficos e locais de abrigo (Schellhorn *et al.*, 2014; Dainese *et al.*, 2019; Landis *et al.*, 2000). No presente estudo, os fragmentos adjacentes podem ter desempenhado função semelhante, favorecendo a presença de predadores e parasitoides observados no interior das estufas.

Espécies com longos períodos de floração (ex.: Asteraceae) forneceram pólen abundante a joaninhas e crisopídeos, enquanto Apiaceae como *Foeniculum vulgare* disponibilizaram néctar acessível a parasitoides e sirfídeos. Além dos recursos florais, algumas espécies (ex.: *Oxalis corniculata*, *Anagallis arvensis*) hospedam presas alternativas como afídeos, que podem ter sustentado predadores durante períodos de baixa abundância de *P. absoluta*. Esta dinâmica é consistente com o conceito de *banker plants*, que permitem manter populações de IN ativas em momentos de escassez da praga (Doehler *et al.*, 2023).

Embora o delineamento deste estudo não permita estabelecer uma relação de causalidade, a maior diversidade e abundância de IN observada em 2024 coincide com a manutenção dos habitats florísticos adjacentes, um padrão consistente com a literatura que documenta os benefícios de infraestruturas ecológicas para a fauna auxiliar. (Ardanuy *et al.*, 2019; Barda *et al.*, 2025).

Esta dinâmica reforça a estabilidade do agroecossistema, uma vez que as populações de IN não sofrem quebras drásticas mesmo com flutuações da praga, configurando um típico efeito de *banker plants* (Doehler *et al.*, 2023; Landis *et al.*, 2000).

Não obstante, é preciso ter em conta que nem todas as plantas espontâneas são benéficas no contexto da gestão de pragas. Algumas solanáceas silvestres podem atuar como hospedeiras de *P. absoluta*. No entanto, estas espécies não foram registadas de forma relevante nos habitats seminaturais que foram alvo de amostragem, reduzindo o risco de amplificação da praga a partir destes habitats. Ainda assim, a seleção e o manejo da vegetação adjacente devem considerar este potencial risco (Nicholls & Altieri, 2018).

Outra limitação do presente estudo foi a ausência de quantificação direta da abundância de presas alternativas e da visitação floral por IN, restringindo as inferências possíveis. As interpretações aqui apresentadas baseiam-se na composição florística e na literatura disponível.

Síntese interpretativa

Em síntese, os fragmentos de vegetação adjacentes caracterizaram-se por elevada diversidade florística e oferta contínua de recursos florais ao longo do ciclo do tomateiro. Estes habitats podem ter contribuído para a manutenção e diversidade dos IN registados, em concordância com a literatura sobre conservação biológica em agroecossistemas (Landis *et al.*, 2000; Schellhorn *et al.*, 2014; Dainese *et al.*, 2019).

Embora não seja possível atribuir causalidade direta, os resultados obtidos sugerem que a presença de flora adjacente heterogénea contribuiu para maior estabilidade das comunidades auxiliares em 2024, reforçando o papel destes habitats na sustentabilidade do sistema de proteção integrada.

3.4. Integração entre *Phthorimaea absoluta*, inimigos naturais e flora adjacente

Dinâmica temporal entre *P. absoluta* e inimigos naturais

Nesta secção, explora-se a dinâmica populacional de *P. absoluta* e da comunidade de predadores auxiliares ao longo dos meses de amostragem, para cada estufa e ano de estudo. As Figuras 11a e 11b apresentam a evolução da classe de infestação da praga em sobreposição com a abundância total de predadores, permitindo uma análise visual do potencial resposta funcional destes agentes de controlo biológico à pressão da praga.

Dinâmica mensal de classe de infestação de *P. absoluta* e abundância de predadores (2023)

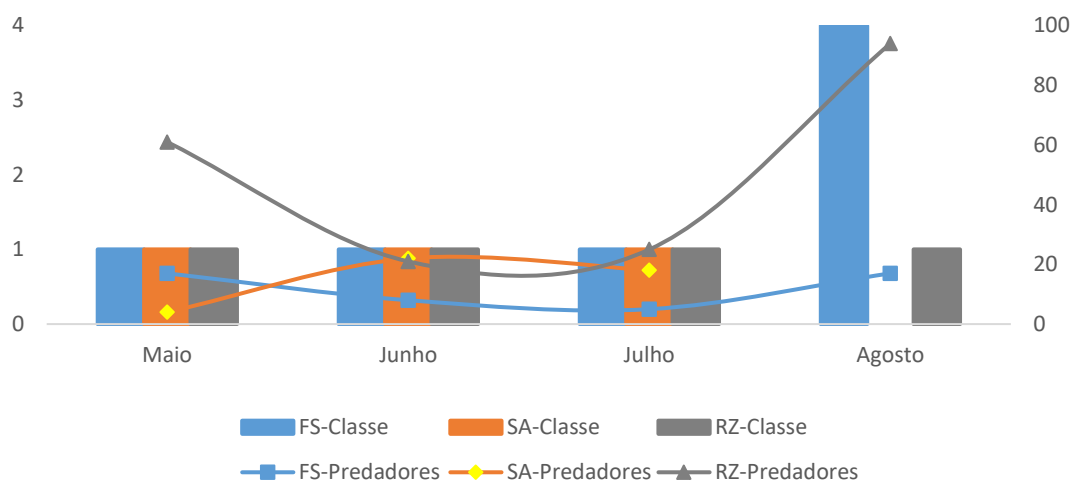


Figura 11a. Dinâmica mensal da classe de infestação de *P. absoluta* (colunas, eixo esquerdo) e da abundância de predadores auxiliares (linhas, eixo direito) nas estufas FS, SA e RZ durante o ano de 2023. A abundância de predadores corresponde à soma dos indivíduos recolhidos por observação visual e pelo método de pancadas⁴.

Em 2023 (Figura 11a), a dinâmica praga-predador exibiu padrões distintos entre as estufas. Na estufa RZ, uma elevada e sustentada abundância de predadores ao longo de todo o ciclo parece ter contribuído para manter a infestação de *P. absoluta* num nível consistentemente baixo (classe 1). Em contraste, na estufa FS, a abundância de predadores foi marcadamente inferior, não sendo capaz de impedir o pico de infestação da praga em agosto, que atingiu a classe 4. Na estufa SA, observou-se uma aparente resposta numérica dos predadores, cujo pico de abundância em junho sucedeu o estabelecimento da praga, antecedendo uma redução da mesma em julho.

⁴ A ausência de dados para a estufa SA em agosto deve-se ao término antecipado do ciclo cultural.

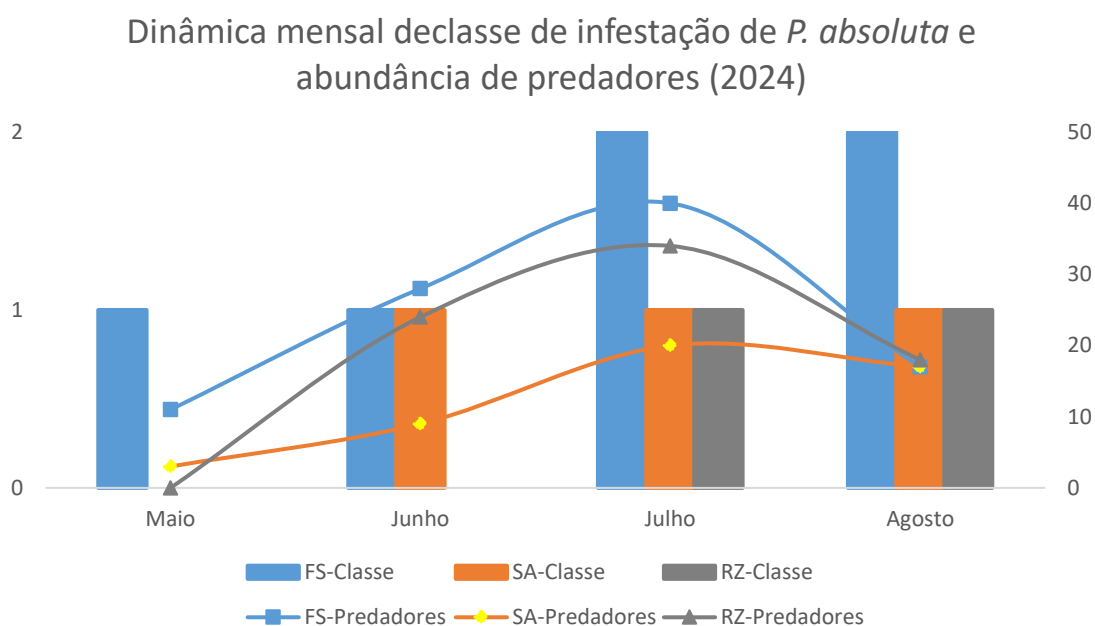


Figura 11b. Dinâmica mensal da classe de infestação de *P. absoluta* (colunas, eixo esquerdo) e da abundância de predadores auxiliares (linhas, eixo direito) nas estufas FS, SA e RZ durante o ano de 2024. A abundância de predadores corresponde à soma dos indivíduos recolhidos por observação visual e pelo método de pancadas.

Durante o ano de 2024 (Figura 11b), a interação entre as populações manteve-se heterogénea. A estufa FS registou a maior abundância de predadores, com um pico em julho que coincidiu com o aumento da classe de infestação da praga para o nível 2, sugerindo uma resposta à densidade da presa. Na estufa SA, a infestação manteve-se baixa (classes 0-1), acompanhada por uma comunidade de predadores com menor abundância, mas presente ao longo de todo o ciclo. A estufa RZ, por sua vez, apresentou a menor pressão da praga, com a infestação a estabelecer-se apenas em julho, o que foi acompanhado por um aumento tardio da população de predadores.

A análise conjunta de ambos os anos revela que, embora não se observe uma relação causal direta e universal, a presença de uma comunidade de predadores abundante e estabelecida desde o início do ciclo, como verificado na estufa RZ em 2023 pode estar associada a menores níveis de infestação por *P. absoluta*. Picos de infestação da praga, como o ocorrido na estufa FS, parecem estar ligados a uma menor abundância inicial de IN. Estes resultados reforçam a importância de estratégias de manejo que promovam a instalação e permanência de predadores generalistas no agroecossistema como forma de potenciar o controlo biológico da praga.

Implicações ecológicas e para o MIP

Do ponto de vista ecológico, a dinâmica observada sugere que a regulação de *P. absoluta* pelos IN é um processo dependente do tempo, onde a eficácia do controlo está ligada à capacidade da comunidade de predadores responder numericamente ao aumento da presa. O desfasamento temporal entre o pico da praga e o pico dos IN, evidente em alguns cenários, é um fenómeno clássico em interações presa-predador e sublinha a vulnerabilidade do sistema no início do ciclo cultural. Em termos de Manejo Integrado de Pragas (MIP), estes resultados reforçam a importância de estratégias preventivas que assegurem a presença de populações funcionais de IN antes que a praga atinja níveis elevados. Ações como a instalação de *banker plants* ou a realização de libertações inoculativas precoces são consistentes com esta necessidade. Adicionalmente, a maior diversidade funcional de IN observada em 2024, associada a uma maior estabilidade, corrobora a teoria de que sistemas com múltiplos grupos funcionais de predadores são mais resilientes a surtos de pragas. (Rusch *et al.*, 2023; Blassioli-Moraes *et al.*, 2022).

Síntese comparativa por estufa

A análise comparativa entre as estufas revela respostas distintas. Na estufa FS, a dinâmica sugere uma resposta dos IN com um desfasamento temporal, onde o aumento da sua abundância sucede os picos de infestação de *P. absoluta*. Na estufa SA, a infestação manteve-se em níveis moderados, com a comunidade de IN a apresentar um crescimento mais gradual ao longo da estação. Por fim, na estufa RZ, onde a pressão da praga foi consistentemente a mais baixa, a abundância de IN também se manteve em níveis mais discretos, o que é coerente com uma menor disponibilidade de presas. Em conjunto, estes padrões heterogéneos sugerem que a dinâmica local é fortemente modulada por fatores intrínsecos a cada estufa, como a população inicial de pragas e IN, o microclima e a sua interação com a paisagem circundante.

Integração com flora adjacente

A análise dos dados agregados (Tabela 6) revela uma dinâmica complexa.

Tabela 6. Tabela 6. Integração entre *P. absoluta*, IN e flora adjacente nas estufas. Infestação expressa como classe média de infestação (escala 0–4); diversidade de predadores pelo índice de Simpson (1–D, média bianual); riqueza florística como número total de espécies vegetais registadas (2023–2024)

Estufa	Classe de infestação média (2023)	Classe de infestação média (2024)	Predadores (Simpson 1–D, média)	Riqueza florística (nº espécies, 2023–24)
FS	1,75	2,14	0,6	126
RZ	1,00	0,42	0,6	67
SA	0,75	0,84	0,7	93

A estufa FS, apesar da maior riqueza florística (126 spp.), apresentou consistentemente a maior infestação por *P. absoluta* em ambos os anos (classe média de 1.75 em 2023 e 2.14 em 2024). Em contrapartida, a estufa SA, com a maior diversidade de predadores (Simpson 1-D = 0,70), apresentou níveis de infestação intermédios e semelhantes entre anos (classe média de 0.75 e 0.84). A estufa RZ, com a menor riqueza florística, manteve a menor pressão da praga, com uma redução na classe média de 2023 para 2024. Estes resultados sugerem que a simples riqueza florística não é o único fator a determinar o controlo da praga, e que a composição específica da flora, o tipo de sistema de cultivo (solo vs. hidroponia) e outros fatores de manejo podem ter um papel preponderante.

Implicações do sistema de cultivo

Considerando o tipo de sistema, observou-se, de forma descritiva, que a estufa em solo (RZ) apresentou, em média, menor infestação por *P. absoluta* do que as estufas em semi-hidroponia (SA/FS), enquanto as diferenças na diversidade de IN foram modestas entre sistemas (Tabela 6). Esta leitura é limitada por n=1 no nível “solo” e pela ausência de medições microclimáticas, não devendo ser extrapolada. Na literatura, variações de microclima e permeabilidade das estruturas podem afetar pragas e auxiliares em ambiente protegido (Messelink *et al.*, 2021), e comunidades com maior biodiversidade funcional tendem a apresentar regulação mais estável (Letourneau *et al.*, 2011; Rusch *et al.*, 2023).

Resultados em sistemas agrícolas diversos apontam benefícios da vegetação de suporte na promoção de predadores e na mitigação de pragas (Barda *et al.*, 2025). Para *P. absoluta*, integrações de recursos florais no MIP têm sido propostas como via para potenciar a ação de predadores no local (Hyder *et al.*, 2025).

Limitações e tendências interanuais

Os resultados foram obtidos em contexto comercial, sujeito a variação microclimática e de manejo, o que aconselha prudência interpretativa (Desneux *et al.*, 2022). Ainda assim, em 2024 verificou-se convergência na composição por ordens entre estufas ($\beta_S\sigma r = 0,00$), compatível com maior uniformização funcional. Paisagens mais complexas tendem a sustentar diversidade superior de inimigos e menor pressão de pragas (Dainese *et al.*, 2019), e comunidades funcionalmente diversas tendem a ser mais resilientes (Rusch *et al.*, 2023; Blassioli-Moraes *et al.*, 2022).

Ainda assim, o facto de em 2024 todas as estufas terem apresentado comunidades de IN muito semelhantes em composição ($\beta_S\sigma r = 0,00$) sugere que, na ausência de distúrbios maiores, a dinâmica natural tende para um equilíbrio comum ditado pela disponibilidade de recursos e pelas características da praga. Essa leitura é consistente com evidências de que paisagens agrícolas mais complexas (com mosaicos de culturas e habitats seminaturais) sustentam maior diversidade de inimigos e menor pressão de pragas (Dainese *et al.*, 2019). Ao mesmo tempo, a literatura sobre biodiversidade funcional salienta que o essencial é garantir a presença de nichos funcionais complementares na comunidade de inimigos (e não apenas aumentar a riqueza específica), o que favorece estabilidade e reduz a dependência de um único agente (Rusch *et al.*, 2023; Blassioli-Moraes *et al.*, 2022).

Entre 2023 e 2024 observou-se aumento da diversidade (Simpson 1–D) e uniformização por ordens em todas as estufas. Embora não se infira causalidade, o padrão é coerente com melhorias de base ecológica que favorecem a estabilização das comunidades auxiliares.

Síntese aplicada

Em síntese, a manutenção de habitats adjacentes, associada à monitorização contínua e a práticas seletivas de MIP, mostrou-se compatível com comunidades de IN mais diversas e com maior estabilidade na regulação de *P. absoluta* (Dainese *et al.*, 2019; Desneux *et al.*, 2022; Scarlato *et al.*, 2023). Em termos aplicados, a promoção de vegetação de suporte nas imediações das estufas pode contribuir para reduzir a

frequência de intervenções químicas (Biondi *et al.*, 2018; European Commission, 2020), reforçando a sustentabilidade do sistema.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo aprofundar o conhecimento sobre as interações entre *P. absoluta*, os IN e a flora adjacente em estufas de tomate no EDM, no âmbito da proteção biológica de conservação. Foram definidos três objetivos específicos: (i) caracterizar a comunidade de predadores nas estufas e a sua diversidade funcional; (ii) descrever a riqueza e a fenologia da flora dos habitats seminaturais adjacentes; e (iii) integrar a dinâmica da praga, dos IN e da flora circundante através de indicadores ecológicos operacionais.

A dinâmica populacional de *P. absoluta* revelou-se heterogénea, variando consideravelmente entre estufas e anos, sem um padrão sazonal uniforme. No entanto, a análise integrada com a comunidade de IN sugere a ocorrência de respostas com desfaseamento temporal, onde picos de abundância de predadores sucederam, em vários casos, o aumento dos níveis de infestação da praga. A comunidade auxiliar incluiu várias ordens de predadores e parasitoides, apresentando maior diversidade funcional em 2024. Essa diversidade acrescida coincidiu com sinais de maior estabilidade no controlo biológico, em associação com a acumulação temporal e com a flora adjacente.

A flora adjacente apresentou elevada riqueza e complementaridade fenológica, garantindo a presença contínua de flores entre maio e agosto. Este mosaico florístico, dominado por famílias como Apiaceae, Asteraceae e Fabaceae, constituiu fonte de néctar, pólen e presas alternativas, favorecendo a manutenção de IN ao longo do ciclo cultural.

A integração dos resultados sugere que a diversidade funcional da comunidade de IN é um fator relevante para a estabilidade do sistema. O aumento da diversidade e da equitabilidade entre ordens de IN, observado em 2024, coincidiu com uma regulação aparentemente mais estável da praga em comparação com 2023, onde comunidades dominadas por um único grupo taxonómico foram mais comuns. A flora adjacente, rica e fenologicamente complementar, atuou como uma infraestrutura ecológica crucial, potencialmente sustentando estas comunidades de IN.

Do ponto de vista aplicado, três aspetos merecem destaque: (i) a continuidade de recursos florais adjacentes está associada a comunidades mais diversas e estáveis de auxiliares; (ii) a diversidade funcional de IN mostrou-se mais relevante do que a

predominância de um único grupo; e (iii) métricas operacionais como a razão IN:praga podem apoiar decisões no MIP.

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. O número reduzido de anos (2023 e 2024) e de locais (três estufas) limita a extrapolação dos resultados. As diferenças de manejo comercial, a ausência de controlo experimental completo e as restrições metodológicas de amostragem também introduzem incerteza. Apesar disso, os padrões observados foram consistentes e oferecem bases para hipóteses e estudos futuros em maior escala.

Em síntese, os resultados deste estudo, embora de natureza observacional, são consistentes com a hipótese de que a conservação de habitats seminaturais adjacentes reforça o potencial de controlo biológico de *P. absoluta* em estufas de tomate, ao promover comunidades de IN mais diversas e funcionalmente equilibradas. A integração de práticas de conservação com monitorização sistemática e reforços táticos pontuais constitui uma via promissora para reduzir a dependência de inseticidas e contribuir para sistemas de produção mais sustentáveis na horticultura protegida.

Referências Bibliográficas

- Adams, B., Yusuf, A. A., Torto, B., & Khamis, F. M. (2023). Non-host plant odors influence the tritrophic interaction between tomato, its foliar herbivore *Tuta absoluta* and mirid predator *Nesidiocoris tenuis*. *Frontiers in Plant Science*, 14, Artigo 1014865. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1014865>
- Almeida, K. C., Resende, J. T. V., Hata, F. T., Oliveira, L. V. B., & Garcia Neto, J. (2023). *Characterization of Solanum sp. Lycopersicon section for density and types of leaf trichomes and resistance to whitefly and tomato pinworm*. *Scientia Horticulturae*, 310, 111746. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111746>
- Al-Naabi, S. J. (2024). *Using natural enemies to control greenhouse pests*. *American Journal of Environmental Sciences*, 20, 22-30. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2024.22.30>
- Aquino, A. M., de Aguiar-Menezes, E. L., & de Queiroz, J. M. (2006). Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (*"pitfall-traps"*) (Circular Técnica No. 18). Embrapa Agrobiologia. Recuperado em 12 jun. 2025, de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/628430/1/cit018.pdf>
- Ardanuy, A., Figueras, M., Matas, M., Arnó, J., Agustí, N., Alomar, Ò., & Albajes, R. (2022). Banker plants and landscape composition influence colonisation precocity of tomato greenhouses by mirid predators. *Journal of Pest Science*, 95(1), 447–459. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01387-y>
- Ardanuy, A., Figueras, M., Matas, M., Madeira, F., Arnó, J., Alomar, Ò., Albajes, R., & Gabarra, R. (2019). Local and landscape context influence precocity of tomato greenhouse colonization by predatory mirid bugs. *IOBC-WPRS Bulletin*, 147, 62–68. <https://iobc-wprs.org/product/local-and-landscape-context-influence-precocity-of-tomato-greenhouse-colonization-by-predatory-mirid-bugs>
- Arnó, J., Molina, P., Aparicio, Y., Denis, C., Gabarra, R., & Riudavets, J. (2021). Natural enemies associated with *Tuta absoluta* and functional biodiversity in vegetable crops. *BioControl*, 66(5), 613–623. <https://doi.org/10.1007/s10526-021-10097-4>
- Bacci, L., Silva, É. M., Silva, G. A., Silva, L. J., Rosado, J. F., Samuels, R. I., & Picanço, M. C. (2019). Natural mortality factors of tomato leafminer *Tuta absoluta* in open-field tomato crops in South America. *Pest Management Science*, 75(3), 736–743. <https://doi.org/10.1002/ps.5173>
- Barda, M. S., Karamaouna, F., Kati, V., & Perdikis, D. (2025). *Flowering plant strips to support conservation biological control in apple orchards*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 381, 109405. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109405>
- Barda, M., Karamaouna, F., Kati, V., & Perdikis, D. (2023). *Do patches of flowering plants enhance inset pollinators in apple orchards?* *Insets*, 14(2), 208. <https://doi.org/10.3390/insets14020208>
- Bavithra, C. M. M. L., Murugan, M., Balasubramani, V., Harish, S., & Prakash, K. (2024). *Baseline susceptibility of an A1 quarantine pest—the South American tomato pinworm Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) to insecticides: Past incidents and*

future probabilities in line to implementing successful pest management. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1404250. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404250>

Biondi, A., Guedes, R. N. C., Wan, F.-H., & Desneux, N. (2018). *Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, Tuta absoluta: Past, present, and future*. *Annual Review of Entomology*, 63, 239-258. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-034933>

Blassioli-Moraes, C., Venzon, M., Paterno Silveira, L. C., Moreira Gontijo, L., Brum Togni, P. H., Ryoiti Sujii, E., Mendes Haro, M., Borges, M., Fernandes Furtado Michereff, M., Ferreira Santos de Aquino, M., Laumann, R. A., Caulfield, J., & Birkett, M. A. (2022). Companion and smart plants: Scientific background to promote conservation biological control. *Neotropical Entomology*, 51, 171–187. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00939-2>

Cabello, T., Gamez, M., Gallego, J. R., Lopez, I., Sanchez, C., & Garay, J. (2024). Non-Herbivore-Induced Plant Organic Volatiles of Tomato Cultivars and Their Effect on Pest Biological Control. *AgriEngineering*, 6(2), 1497-1510. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020085>

Calixto, A. A. M., Bueno, V. H. P., Montes, F. C., & van Lenteren, J. C. (2014). Development and thermal requirements of the Nearctic predator *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Geocoridae) reared at constant and alternating temperatures. *European Journal of Entomology*, 111(4), 521–527. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.074>

Calvo, F. J., Lorente, M. J., Stansly, P. A., & Belda, J. E. (2012). Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisia tabaci* in greenhouse tomato. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 143, 111-119. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01238.x>

Calvo, J., Bolckmans, K., Stansly, P. A., & Urbaneja, A. (2009). Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato. *BioControl*, 54(2), 237–246. <https://doi.org/10.1007/s10526-008-9164-y>

Campolo, O., Puglisi, I., Barbagallo, R. N., Cherif, A., Ricupero, M., Biondi, A., & Zappalà, L. (2020). *Side effects of two citrus essential oil formulations on a generalist insect predator, plant and soil enzymatic activities*. *Chemosphere*, 257, 127252. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127252>

Campos Herrera, R., Vicente Díez, I., Galeano, M., Chelkha, M., González Trujillo, M. del M., et al. (2021). *Virulência intraespecífica de nematóides entomopatogénicos contra as pragas Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) e *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Nematology*, 53(1). <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-102>

Cascone, P., Tabebordbar, F., Cencetti, G., Michelozzi, M., Shishehbor, P., Guerrieri, E., & Giorgini, M. (2024). *Phytophagy of Nesidiocoris tenuis triggers the response of Trichogramma achaeae to tomato plants infested by Tuta absoluta*. *Journal of Pest Science*, 97, 323-333. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01647-z>

Cavalcante, I. T. R., Clementino, R. H., Alencar, E. J. S., Netto, A. J., Macêdo, A. J. de S., Pinto, M. de S. de C., Bem, F. A. M., & Alves, W. S. (2018). Fitossociologia das espécies herbáceas em Catolé do Rocha-PB. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 19.

- Chanthini, K. M.-P., Senthil-Nathan, S., Pavithra, G.-S., Asahel, A.-S., Malarvizhi, P., Murugan, P., Deva-Andrews, A., Sivanesh, H., Stanley-Raja, V., Ramasubramanian, R., Ghaith, A., Abdel-Megeed, A., & Krutmuang, P. (2023). The macroalgal biostimulant improves the functional quality of tomato fruits produced from plants grown under salt stress. *Agriculture*, 13(1), 6. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010006>
- Chaker Bennour, A., Ben Belgacem, A., Hamza, H., & Nasr, H. B. (2021). A review of the management of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) with special reference to biological control using plant extracts. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(5), 1–7. <https://doi.org/10.22271/j.ento.2021.v9.i5a.8822>
- Chen, X., Jaworski, C. C., Dai, H., Liang, Y., Guo, X., Wang, S., Zang, L.-S., & Desneux, N. (2022). *Combining banker plants to achieve long-term pest control in multi-pest and multi-natural enemy cropping systems*. *Journal of Pest Science*, 95, 685-697. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01428-6>
- Cherif, A., Mansour, R., Attia-Barhoumi, S., Zappalà, L., & Grissa-Lebdi, K. (2019). *Effectiveness of different release rates of Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) contra *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) em culturas de tomate protegidas e ao ar livre na Tunísia. *Biocontrol Science and Technology*, 29(2), 149-161. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1542485>
- Chouikhi, S., Assadi, B. H., Ettaib, R., Grissa Lebdi, K., & Belkadhi, M. S. (2023). *Effectiveness of mating disruption applied alone or in combination with bioinsecticides against Tuta absoluta em estufas aquecidas de tomate-cereja do sul da Tunísia*. *Phytoparasitica*, 51, 521-532. <https://doi.org/10.1007/s12600-023-01080-z>
- Cocco, A., Serra, G., Lentini, A., Deliperi, S., & Delrio, G. (2015). Spatial distribution and sequential sampling plans for *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops. *Pest Management Science*, 71(9), 1311–1323. <https://doi.org/10.1002/ps.3931>
- Colmenárez, Y. C., Vásquez, C., de Freitas Bueno, A., Cantor, F., Hidalgo, E., Corniani, N., & Lagrava, J. J. (2022). Sustainable management of the invasive *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): An overview of case studies from Latin American countries participating in Plantwise. *Journal of Integrated Pest Management*, 13(1), 15. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmac012>
- Cota e Souza, M. E. (2022). Bioecologia de pragas carpófagas da castanha e controlo microbiológico de *Cydia splendana* (Lepidoptera, Tortricidae) e *Curculio elephas* (Coleoptera, Curculionidae) [Dissertação de mestrado, Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança]. Repositório Científico do IPB. Recuperado em 14 jun. 2025, de <http://hdl.handle.net/10198/25848>
- Coutinho, C. (2007). Artrópodes auxiliares na agricultura. Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte. <https://www.advid.pt/uploads/DOCUMENTOS/Subcategorias/Comunicacao/auxiliares-ARTROPODES.pdf>
- Dainese, M., Martin, E. A., Aizen, M. A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., Carvalheiro, L. G., Chaplin-Kramer, R., Gagic, V., Garibaldi, L. A., Ghazoul, J., Grab, H., Jonsson, M., Karp, D. S., Kennedy, C. M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D. A., Letourneau, D. K., ... Steffan-Dewenter, I. (2019). A global synthesis reveals

biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5(10), eaax0121. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>

Degrande, P. E., de Oliveira, M. A., Ribeiro, J. F., Barros, R., Nogueira, R. F., Rodrigues, A. L. L., & Fernandes, M. G. (2003). Avaliação de métodos para quantificar predadores de pragas do algodoeiro. *Arquivos do Instituto Biológico*, 70(3), 291–294. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v70p2912003>

Denis, C., Riudavets, J., Alomar, Ó., Agustí, N., Gonzalez-Valero, H., Cubí, M., Matas, M., Rodríguez, D., & van Achterberg, K. (2022). *Naturalized Dolichogenidea gelechiidivoris complement the resident parasitoid complex of Tuta absoluta in North-eastern Spain*. *Journal of Applied Entomology*, 146, 461–464. <https://doi.org/10.1111/jen.12994>

Desneux, N., Han, P., Mansour, R., Arnó, J., Brévault, T., Campos, M. R., Chailleux, A., & Biondi, A. (2022). Integrated pest management of *Tuta absoluta*: Practical implementations across different world regions. *Journal of Pest Science*, 95(1), 17–39. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01442-8>

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. <https://doi.org/10.1007/s10340-011-0398-6>

Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A. G., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C. A., González-Cabrera, J., Catalán Ruescas, D., Tabone, E., Frandon, J., Pizzol, J., Poncet, C., Cabello, T., & Urbaneja, A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83, 197–215. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0321-6>

Doehler, M., Chauvin, D., Le Ralec, A., Vanespen, É., & Outreman, Y. (2023). *Effect of the landscape on insect pests and associated natural enemies in greenhouse crops: The strawberry study case*. *Insets*, 14(3), 302. <https://doi.org/10.3390/insets14030302>

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2009, September). [First report of *Tuta absoluta* in Portugal] [EPPO Reporting Service no. 09-2009/171]. <https://gd.eppo.int/media/data/reporting/rs-2009-09-en.pdf>

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2025). *Tuta absoluta* (GNORAB) – Distribution map. EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB/distribution>

Erasmus, R., van den Berg, J., & du Plessis, H. (2021). Susceptibility of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) pupae to soil applied entomopathogenic fungal biopesticides. *Insets*, 12(6), 515. <https://doi.org/10.3390/insets12060515>

Estação de Avisos de Entre Douro e Minho. (2023). Circular n.º 18/2023. Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte. Disponível em: https://portal.drapnorte.gov.pt/divulgacao/centro-de-documentacao/2-estacao-de-avisos-agricolas-do-entre-douro-e-minho/253-circular-n-10-2024?utm_source=chatgpt.com

European Commission. (2020). A Farm to Fork strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system (COM/2020/381 final).

https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/communication-com2020381-farm-fork-strategy-fair-healthy-environmentally-friendly-food_en

Evans, E. W. (2009). Lady beetles as predators of insets other than Hemiptera. *Biological Control*, 51, 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.011>

Ghoneim, K. (2014). Predatory insets and arachnids as potential biological control agents against the invasive tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): Perspective and prospects. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(2), 52–71.

Gobierno de Navarra. (2020). Reglamento técnico para la producción integrada del tomate de invernadero en Navarra (Ordem Foral 46/2020, de 3 de março). Boletín Oficial de Navarra, 94, 1-12. <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/731FBD5D-6C97-43C1-8A30-0318F154E27F/462473/OFPITOMATEINVERNADERO2020.pdf>

Gonthier, J. (2023). Improving the efficiency of biological control with parasitoids for *Tuta absoluta* pest management [Tese de doutoramento, Universidade de Berna]. BORIS Theses. <https://doi.org/10.48549/5200>

Guerri, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R., Ruckelshaus, M., Bateman, I. J., Duraiappah, A., Elmqvist, T., Feldman, M. W., Folke, C., Hoekstra, J., Kareiva, P. M., Keeler, B. L., Li, S., McKenzie, E., Ouyang, Z., Reyers, B., ... Vira, B. (2015). Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(24), 7348–7355. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503751112>

Hammad, A. M. A., Bashir, H. A. A., Abdelbagi, A. O., Ishag, A. E. S. A., Ali, M. M. Y., Bashir, M. O., Hur, J. H., & Laing, M. D. (2022). Efficacy of indigenous entomopathogenic fungi for the control of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) in Sudan. *International Journal of Tropical Inset Science*, 42, 1449–1459. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00663-9>

Hougardy, E. H., Haff, R. P., & Hogg, B. N. (2024). Improving the efficiency and safety of sentinel stink bug eggs using X-rays. *Insets*, 15(10), 767. <https://doi.org/10.3390/insets15100767>

Hyder, M., Ul Haq, I., Younas, M., Ghafar, M. A., Akhtar, M. R., Ahmed, Z., Bukero, A., & Hou, Y. (2025). Floral resource integration: Enhancing biocontrol of *Tuta absoluta* within sustainable IPM frameworks. *Plants*, 14(3), 319. <https://doi.org/10.3390/plants14030319>

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2025). Normais climatológicas. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>

Ismoilov, K., Wang, M., Jalilov, A., Zhang, X., Lu, Z., Saidov, A., Sun, X., & Han, P. (2020). First report using a native lacewing species to control *Tuta absoluta*: From laboratory trials to field assessment. *Insets*, 11(5), 286. <https://doi.org/10.3390/insets11050286>

Ivezić, A., Popović, T., Trudić, B., Krndija, J., Barošević, T., Sarajlić, A., Stojčić, I., & Kuzmanović, B. (2025). Biological control agents in greenhouse tomato production (*Solanum lycopersicum* L.): Possibilities, challenges and policy insights for Western Balkan region. *Horticulturae*, 11(2), 155. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020155>

- Jézéquel, M. C. (2016). Sebes e paisagem: Caso de estudo: Planalto Mirandês [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa]. Repositório da Universidade de Lisboa. Recuperado em 21 mai. 2025, de https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/12173/1/Sebes%20e%20Paisagem.%20Caso%20de%20estudo_Planalto%20Mirand%C3%AAs.pdf
- Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Meehan, T. D., Martin, E. A., DeClerck, F., Grab, H., Gratton, C., Hunt, L., Larsen, A. E., Martínez-Salinas, A., O'Rourke, M. E., Rusch, A., Poveda, K., Jonsson, M., Rosenheim, J. A., Schellhorn, N. A., Tscharrntke, T., Wratten, S. D., Zhang, W., ... Zou, Y. (2018). Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), E7863–E7870. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800042115>
- Kishore, S. M., Shalini, K. S., Sachin, M. S., Saini, A., Sudharsanan, N., Niranjana, M. V., Sowmya, K., & Bharthisha, S. M. (2024). Advances and challenges in pest management for protected cultivation in India: Integrative approaches and future prospects. *Journal of Advances in Microbiology*, 24(10), 19–28. <https://doi.org/10.9734/jamb/2024/v24i10854>
- Konan, K. A. J., Monticelli, L. S., Ouali-N'goran, S.-W. M., Ramirez-Romero, R., Martin, T., & Desneux, N. (2021). Combination of generalist predators, *Nesidiocoris tenuis* and *Macrolophus pygmaeus*, with a companion plant, *Sesamum indicum*: What benefit for biological control of *Tuta absoluta*? *PLOS ONE*, 16(9), e0257925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257925>
- Krache, F., Boualem, M., Fernandez-Triana, J. L., Bass, A., Arnó, J., & Benourad, F. (2021). First record in Africa of the parasitoid *Dolichogenidea gelechiidivoris* (Hymenoptera: Braconidae) on tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) from tomato fields in Algeria. *Journal of Hymenoptera Research*, 88, 115-131. <https://doi.org/10.3897/jhr.88.75279>
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). *Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture*. *Annual Review of Entomology*, 45, 175-201. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175>
- Letourneau, D. K., Armbrrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Carmona, E. J., Constantino, L. M., da Silva, J. M., & Torres, A. M. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, 21(1), 9–21. <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>
- Li, S., Jaworski, C. C., Hatt, S., Zhang, F., Desneux, N., & Wang, S. (2021). Flower strips adjacent to greenhouses help reduce pest populations and insecticide applications inside organic commercial greenhouses. *Journal of Pest Science*, 94, 679-689. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01285-9>
- Li, X., Li, D., Zhang, Z., Huang, J., Zhang, J., Hafeez, M., Wang, L., & Lu, Y. (2020). Supercooling capacity and cold tolerance of the South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, a newly invaded pest in China. *Journal of Pest Science*, 94, 845-858. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01301-y>
- Lima, R. S., São José, A. R., Soares, M. R. S., Moreira, E. S., Araujo Neto, A. C., Cardoso, A. D., & Moraes, O. M. (2017). Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi no município de Vitória da Conquista-BA. *Magistra*,

28(3–4), 390–402. Recuperado em 02 jun. 2025, de <https://www3.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/3855>

Mama Sambo, S., Akutse, K. S., du Plessis, H., Aigbedion-Atalor, P. O., Mohamed, S. A., & Ndlela, S. (2022a). Interactions between the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* ICPE 20 and the endoparasitoid *Dolichogenidea gelechiidivoris*, and implications for combined biocontrol of *Tuta absoluta*. *Biology*, 11(9), 1323. <https://doi.org/10.3390/biology11091323>

Mama Sambo, S., Ndlela, S., du Plessis, H., Obala, F., & Mohamed, S. (2022b). Ratio dependence effects of the parasitoid *Dolichogenidea gelechiidivoris* on its associated host *Tuta absoluta*. *Biocontrol Science and Technology*, 32(4), 497–510. <https://doi.org/10.1080/09583157.2022.2033702>

Mani, M. (2022). Pest management in horticultural crops under protected cultivation. In M. Mani (Ed.), *Trends in Horticultural Entomology* (pp. 387–417). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0343-4_12

Mansour, R., Brévault, T., Chailleux, A., Cherif, A., Grissa-Lebdi, K., Mohamed, S. A., et al. (2018). *Occurrence, biology, natural enemies and management of Tuta absoluta in Africa*. *Entomologia Generalis*, 38(2), 83–112. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0749>

Mawcha, K. T., Kinyanjui, G., Berhe, D. H., Hategekimana, A., Joelle, K., & Ndolo, D. (2025). An overview of sustainable management strategies for *Tuta absoluta*. *International Journal of Pest Management*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/09670874.2025.2456590>

Messelink, G. J., Bennison, J., Alomar, O., Ingegno, B. L., Tavella, L., Shipp, L., et al. (2014). *Approaches to conserving natural enemy populations in greenhouse crops: Current methods and future prospects*. *BioControl*, 59, 377–393. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9579-6>

Messelink, G. J., Lambion, J., Janssen, A., & van Rijn, P. C. J. (2021). *Biodiversity in and around greenhouses: Benefits and potential risks for pest management*. *Insets*, 12(10), 933. <https://doi.org/10.3390/insets12100933>

Mohammadpour, M., Hosseini, M., Karimi, J., & Hosseininaveh, V. (2019). Effect of age-dependent parasitism in eggs of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on intraguild predation between *Nabis pseudoferus* (Hemiptera: Nabidae) and *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Inset Science*, 19(3), 27. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez040>

Morandin, L. A., Long, R. F., & Kremen, C. (2014). *Hedgerows enhance beneficial insets on adjacent tomato fields in an intensive agricultural landscape*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.030>

Neto, J., Aguiar, A., Rebelo, M. T., & Figueiredo, E. (2024). Exploring the potential of conservation biological control of *Phthorimaea absoluta*: Arthropod predators in tomato greenhouses of NW-Portugal – A preliminary study. In *Book of Proceedings – X International Congress of Agroecology, World's Ecology: United to face global crises* (pp. 320–326). <https://biblios.ciencias.ulisboa.pt/detalhes/62961>

- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2018). Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(10), 1170-1193. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>
- Pandey, M., 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(6), e16474. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16474>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Pérez-Hedo, M., & Urbaneja, A. (2016). *The zoophytophagous predator Nesidiocoris tenuis: a successful but controversial biocontrol agent in tomato crops*. In A. R. Horowitz & I. Ishaaya (Eds.), *Advances in Inset Control and Resistance Management* (pp. 121-138). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43229-1_8
- Rand, T. A., Tylianakis, J. M., & Tscharntke, T. (2006). *Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized inset natural enemies into adjacent natural habitats*. *Ecological Entomology*, 31, 35–45. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00911.x>
- Robles-Vallet, C., Foronda, J., Ruano, F., Moreno-Rojas, J. M., Rodríguez, E., Barranco, P., & González-Fernández, M. (2022). Isotopic marking of natural enemies fed on C4 honey for habitat management studies in agroecosystems. *Agricultural and Forest Entomology*, 25(2), 228-236. <https://doi.org/10.1111/afe.12546>
- Roditakis, E., Skarmoutsou, C., & Staurakaki, M. (2013). *Toxicity of insecticides to populations of tomato borer Tuta absoluta (Meyrick) from Greece*. *Pest Management Science*, 69, 834–840. <https://doi.org/10.1002/ps.3442>
- Roditakis, E., Vasakis, E., García-Vidal, L., Martínez-Aguirre, M. R., Rison, J. L., Haxaire-Lutun, M. O., Nauen, R., Tsagkarakou, A., & Bielza, P. (2018). *A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner Tuta absoluta in the European/Asian region*. *Journal of Pest Science*, 91(1), 421-435. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0900-x>
- Rosenheim, J. A., Bidegaín, G., Karp, D. S., ... (2022). Increasing crop field size does not consistently exacerbate pest problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119, e2208813119. DOI 10.1073/pnas.2208813119
- Rouaux, J., Cabrera, N., Martínez, A. S., Posse, M. C., & Luna, M. G. (2020). Diversity and phenology of epigeal Coleoptera assemblages in lettuce and tomato crops in Northern Buenos Aires province, Argentina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(Suppl. 1), e20181391. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181391>
- Rusch, A., D'Ottavio, M., Hénon, N., Joubard, B., Thiéry, D., & Muneret, L. (2023). *Functional identity of dominant species in a predator community prevails over functional diversity in shaping the top-down control of herbivores*. *Functional Ecology*, 37(10), 2666-2676. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14427>
- Sadek, H. E., Ebadah, I. M. A., & Moawad, S. S. (2024). Assessment of development and consumption rate of *Macrolophus caliginosus* predator on different prey stages.

Bulletin of the National Research Centre, 48(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01215-0>

Saeidi, Z., & Raeesi, M. (2021). Integração de variedade resistente e agente biológico para controlar a traça-do-tomateiro, *Tuta absoluta* (Meyrick), em condições de estufa. Bulletin of Entomological Research, 111(3), 357–363. <https://doi.org/10.1017/S0007485320000735>

Sarmah N., Kaldis A., Taning C. N. T., Perdakis D., Smagghe G., & Voloudakis A. (2021). *dsRNA-mediated pest management of Tuta absoluta is compatible with its biological control agent Nesidiocoris tenuis*. Insects, 12(4), 274. <https://doi.org/10.3390/insects12040274>

Scarlato, M., Bao, L., Rossing, W. A. H., Dogliotti, S., Bertoni, P., & Bianchi, F. J. J. A. (2023). Flowering plants in open tomato greenhouses enhance pest suppression in conventional systems and reveal resource saturation for natural enemies in organic systems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 347, 108389. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108389>

Schellhorn, N. A., Bianchi, F. J. J. A., & Hsu, C. L. (2014). Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: Links to pest suppression. Annual Review of Entomology, 59, 559-581. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-161952>

Shiberu, T., & Getu, E. (2018). Determination of the economic threshold level of *Tuta absoluta* under glasshouse conditions. Journal of Horticulture and Forestry, 10(2), 14–20.

Silva, R. S., Kumar, L., Shabani, F., & Picanço, M. C. (2017). Assessing the impact of global warming on worldwide open field tomato cultivation through CSIRO-Mk3-0 global climate model. The Journal of Agricultural Science, 155(3), 407–420. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000654>

Siscaro, G., Lo Pumo, C., Tropea Garzia, G., Tortorici, S., Gugliuzzo, A., Ricupero, M., et al. (2019). *Temperature and tomato variety influence the development and the plant damage induced by the zoophytophagous mirid bug Nesidiocoris tenuis*. Journal of Pest Science, 92, 825–838. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01096-7>

Snyder, W. E. (2019). Give predators a complement: Conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol. Biological Control, 135, 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.017>

Sridhar, V., Rami Reddy, P. V., Vidyashree, L. K., Sree Chandana, P., & Hadapad, A. B. (2023). *Standardisation of gamma-irradiation dose for Sterile Inset Technique a fim de gerir a traça-do-tomateiro Phthorimaea (Tuta) absoluta (Meyrick)*. Journal of Horticultural Sciences, 18(2), 453-459. <https://doi.org/10.24154/jhs.v18i2.2303>

Stathakis, T., Economou, L., Barda, M., Angeliodakis, T., Kati, V., & Karamaouna, F. (2023). *Potential of hedgerows with aromatic plants as reservoirs of natural enemies of pests in orange orchards*. Insects, 14(4), 391. <https://doi.org/10.3390/insects14040391>

Stattegger, S. R., Tscheulin, T., Mescher, M. C., Kizos, T., De Moraes, C. M., & Meyer, S. (2023). The presence of native aromatic species in understory plant communities predicts reduced infestation by olive fruit flies in olive orchards on Lesbos Island. Journal of Applied Entomology, 147(10), 1045-1056. <https://doi.org/10.1111/jen.13200>

- Steckelberg, R. M. B., & Conceição, E. C. da. (2025). Panorama sobre o tomate, benefícios do licopeno à saúde e aproveitamento sustentável de subprodutos. *Research, Society and Development*, 14(2), e10214248276. <https://doi.org/10.33448/rsd-v14i2.48276>
- 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. *Insets*, 11(11), 764. <https://doi.org/10.3390/insets11110764>
- Teixeira, R., Bento, A., & Gonçalves, M. (2000). Avaliação da fauna auxiliar associada ao olival em produção biológica em Trás-os-Montes. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 26(4), 629–636. Recuperado em 11 jun. 2025, de <https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/plagas/BSVP-26-04-Adenda-629-636.pdf>
- Tscharntke, T., Klein, A.-M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). *Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management*. *Ecology Letters*, 8, 857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- University of California Statewide Integrated Pest Management Program. (s.d.). *Trichogramma parasitoids*. Disponível em: <https://ipm.ucanr.edu/natural-enemies/trichogramma-parasitoids/>.
- Urbaneja, A., González-Cabrera, J., Arnó, J., & Gabarra, R. (2012). Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin. *Pest Management Science*, 68(9), 1215–1222. <https://doi.org/10.1002/ps.3344>
- Urbaneja, A., Montón, H., & Mollá, O. (2009). Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. *Journal of Applied Entomology*, 133(4), 292–296. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01319.x>
- van Lenteren, J. C., Lanzoni, A., Hemerik, L., Bueno, V. H. P., Bajonero Cuervo, J. G., Biondi, A., Burgio, G., Calvo, F. J., de Jong, P. W., López, S. N., Luna, M. G., Montes, F. C., Nieves, E. L., Osa Aigbedion-Atalor, P., Riquelme Virgala, M. B., Sánchez, N. E., & Urbaneja, A. (2021). The pest kill rate of thirteen natural enemies as aggregate evaluation criterion of their biological control potential of *Tuta absoluta*. *Scientific Reports*, 11, 10756. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90034-8>
- Wäckers, F. L., van Rijn, P. C. J. (2012). Pick and mix: Selecting flowering plants to meet the requirements of target biological control insects. In G. M. Gurr, S. D. Wratten, & W. E. Snyder (Eds.), *Biodiversity and insect pests: Key issues for sustainable management* (pp. 139–165). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118231838.ch9>
- Zambolim, L., & Quezado-Duval, A. M. (2022). Produção integrada do tomateiro tutorado (Cap. 12: Pragas e seu controlo). UFV/CEAD. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1149470/1/Producao-Integrada-Tomate-Tutorado-Modulo-3-Apostila-compressed.pdf>.
- Zappalà, L., Biondi, A., Alma, A., Al-Jboory, I. J., Arnò, J., Bayram, A., Chailleux, A., El-Arnaouty, A., Gerling, D., Guenaoui, Y., Shaltiel-Harpaz, L., Siscaro, G., Stavrínides,

M., Tavella, L., Vercher Aznar, R., Urbaneja, A., & Desneux, N. (2013). Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies. *Journal of Pest Science*, 86, 635–647. <https://doi.org/10.1007/s10340-013-0531-9>

Zhang, X., Bu, J., Zhou, X., & Wang, X. (2023). Automatic pest identification system in the greenhouse based on deep learning and machine vision. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1255719. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1255719>

Ziaei Madbouni, M. A., Samih, M. A., Namvar, P., & Biondi, A. (2017). Temperature-dependent functional response of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) to different densities of pupae of cotton whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *European Journal of Entomology*, 114, 325–331. <https://doi.org/10.14411/eje.2017.040>