

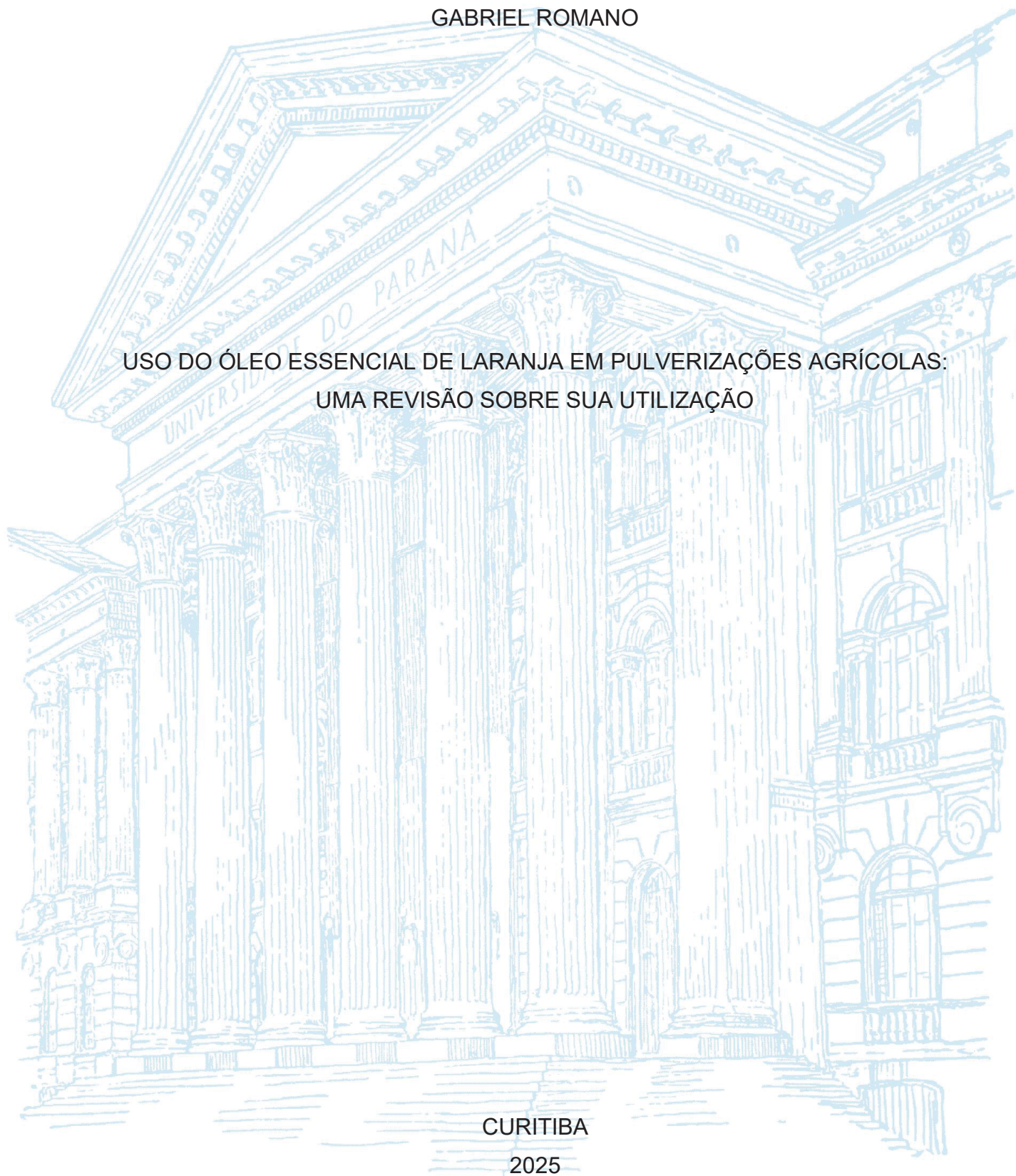
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL ROMANO

USO DO ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA EM PULVERIZAÇÕES AGRÍCOLAS:
UMA REVISÃO SOBRE SUA UTILIZAÇÃO

CURITIBA

2025



GABRIEL ROMANO

USO DO ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA EM PULVERIZAÇÕES AGRÍCOLAS:
UMA REVISÃO SOBRE SUA UTILIZAÇÃO

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador: Prof. Me. Adenilson de Souza da Silva

CURITIBA

2025

Dedico este trabalho a minha família e avós.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, cuja dedicação e apoio incondicional permitiram a realização deste sonho. Agradeço ao meu orientador, Prof. Me. Adenilson de Souza da Silva, por sua orientação paciente e valiosa ao longo deste trabalho. Agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e perseverança para concluir esta etapa da minha vida. Meus sinceros agradecimentos aos meus amigos e colegas de turma, pelo companheirismo e pelas palavras de encorajamento.

“A Terra provê o suficiente para satisfazer as necessidades de todos os
homens, mas não a ganância de todos os homens.”
(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Nas práticas de manejo das culturas agrícolas a aplicação de produtos fitossanitários sempre há desafios, devido a fatores como deriva, evaporação, escoamento e baixa cobertura e baixo depósito do produto comprometem a eficácia dos produtos fitossanitários. Neste contexto, uma das formas de melhorar a prática do manejo nas aplicações, surgem os adjuvantes agrícolas como ferramentas essenciais para melhorar a aplicação de defensivos. No entanto, os adjuvantes convencionais, particularmente os óleos minerais derivados de petróleo, apresentam limitações. Entre as opções, o óleo essencial de laranja (OEO), rico em D-limoneno, merece atenção especial. Por isso o objetivo deste trabalho foi analisar e revisar os desenvolvimentos científicos recentes no uso do óleo essencial de laranja em aplicações agrícolas, destacando sua funcionalidade como uma opção sustentável em relação aos óleos minerais, além de explorar funções adicionais para aprimorar a eficiência no controle fitossanitário. Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão narrativa da literatura científica, com ênfase em publicações recentes e relevantes, com prioridade para publicações no período de 2020 a 2025, de modo a assegurar a atualidade e relevância das informações. O óleo essencial de laranja se apresenta como uma alternativa promissora e sustentável para o manejo fitossanitário na agricultura, destacando-se por sua atividade inseticida, antifúngica e capacidade de atuar como adjuvante. Seu principal composto, o d-limoneno, aliado a outros componentes bioativos, confere eficácia no controle de diversas pragas e doenças, especialmente quando formulado em tecnologias como nanoencapsulamentos e emulsões. Além do desempenho agrônômico, seu uso valoriza resíduos da indústria de sucos, contribuindo para a economia circular e a redução do impacto ambiental. No entanto, sua eficácia pode variar conforme a cultura, o patógeno e as condições ambientais, exigindo padronização, testes prévios e desenvolvimento contínuo de formulações. Apesar de limitações, o óleo de laranja representa uma ferramenta valiosa para substituir ou complementar pesticidas sintéticos, alinhando produtividade agrícola à sustentabilidade.

Palavras-chave: Adjuvantes. Fontes renováveis. Tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

In agricultural crop management practices, the application of phytosanitary products always presents challenges due to factors such as drift, evaporation, runoff, and low coverage and low deposition of the product, which compromise the effectiveness of phytosanitary products. In this context, one way to improve the management practices in applications is through the emergence of agricultural adjuvants as essential tools to enhance the application of pesticides. However, conventional adjuvants, particularly mineral oils derived from petroleum, have limitations. Among the options, orange essential oil (OEO), rich in D-limonene, deserves special attention. Therefore, the objective of this work was to analyze and review recent scientific developments in the use of orange essential oil in agricultural applications, highlighting its functionality as a sustainable option compared to mineral oils, as well as exploring additional functions to enhance efficiency in phytosanitary control. This work was developed through a narrative review of the scientific literature, with an emphasis on recent and relevant publications, prioritizing those from the period of 2020 to 2025, in order to ensure the timeliness and relevance of the information. Orange essential oil presents itself as a promising and sustainable alternative for phytosanitary management in agriculture, standing out for its insecticidal and antifungal activity and its ability to act as an adjuvant. Its main compound, d-limonene, combined with other bioactive components, provides efficacy in controlling various pests and diseases, especially when formulated in technologies such as nanoencapsulation and emulsions. In addition to agronomic performance, its use adds value to waste from the juice industry, contributing to the circular economy and reducing environmental impact. However, its effectiveness may vary depending on the crop, the pathogen, and environmental conditions, requiring standardization, prior testing, and continuous formulation development. Despite its limitations, orange oil represents a valuable tool to replace or complement synthetic pesticides, aligning agricultural productivity with sustainability.

Keywords: Adjuvants. Renewable sources. Application technology.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 17 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 17 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 17 |
| 2 METODOLOGIA | 17 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA..... | 19 |
| 3.1 PRINCIPAIS COMPOSTOS ATIVO DO ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA..... | 19 |
| 3.2 USO DO ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA NA AGRICULTURA | 20 |
| 3.2.1 Controle de pragas e doenças..... | 20 |
| 3.2.2 Uso em formulações de produtos agrícolas..... | 21 |
| 3.2.3 Adjuvante agrícola nas aplicações | 22 |
| 3.3 SEGURANÇA NA SUA UTILIZAÇÃO | 24 |
| 3.4 SUSTENTABILIDADE NO USO DO ÓLEO DE LARANJA | 24 |
| 3.5 LIMITAÇÕES EM SUA UTILIZAÇÃO | 25 |
| 4 DISCUSSÃO | 28 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 31 |
| 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 31 |
| REFERÊNCIAS | 31 |

1 INTRODUÇÃO

Nas práticas de manejo das culturas agrícolas a aplicação de produtos fitossanitários sempre há desafios, devido a fatores como deriva, evaporação, escoamento e baixa cobertura e baixo depósito do produto comprometem a eficácia dos produtos fitossanitários e desta forma, o controle (Liu et al., 2016; Zheng et al., 2018). Um estudo mostra que a estimativa de perdas na produção pode atingir até 40 % devido a pragas, 10 a 40% por doenças e 10 a 76% por plantas daninhas quando o manejo não é adequado (Oerke, 2006; Gharde et al., 2018; Savary et al., 2019). Além disso, a aplicação ineficiente pode levar a pressão de resistência em patógenos, plantas daninhas e pragas, necessitando de doses maiores de produtos fitossanitários, aumentando os custos para a produção e gerando impactos ambientais (Aktar et al., 2009).

Desta forma fatores que influenciam na perda de eficiência na aplicação como a deriva, por exemplo, podem resultar na perda de mais de 90% do produto aplicado, contaminando áreas vizinhas e gerando impactos ambientais (Dassanayake et al., 2021). Já a evaporação e o escoamento reduzem a retenção de gotas nas folhas, diminuindo a absorção de herbicidas sistêmicos como o glyphosate (Zheng et al., 2018). Além disso, o baixo espalhamento das gotas em superfícies cerosas (ex.: folhas de soja e trigo) reduzem a eficiência de fungicidas e inseticidas de contato que necessitam de maior contato e cobertura com o alvo (Hilz et al., 2012).

Neste contexto, uma das formas de melhorar a prática do manejo nas aplicações, surgem os adjuvantes agrícolas como ferramentas essenciais para melhorar a aplicação de defensivos. Essas substâncias desempenham múltiplas funções: reduzem a deriva através da melhora da uniformidade do tamanho de gotas (Dexter, 2001; Heng et al., 2024); melhoram a retenção e espalhamento ao diminuir a tensão superficial (Zhang & Xiong, 2021); melhoria na evaporação gerando um efeito umectante formando uma barreira protetora, desta forma a gota fica por mais tempo sem evaporar (Ellis et al., 1999); melhoram a penetração de ingredientes ativos (Yusoff et al., 2016); reduzem o escoamento através do aumento da viscosidade da calda e entre outros efeitos (Heng et al., 2024). Estudos demonstram que adjuvantes à base de óleo de soja metilado (MSO) e silicones podem melhorar a qualidade da aplicação e certas situações possuem melhores efeitos de eficiência

quando utilizado comparado a outras matérias primas de adjuvantes (Cryer & Altieri, 2017).

No entanto, os adjuvantes convencionais, particularmente os óleos minerais derivados de petróleo, apresentam limitações. Além de serem recursos não renováveis, podem causar fitotoxicidade, especialmente em condições mais extremas para aplicação em relação às condições meteorológicas e também em condições de estresse das plantas (Zhang et al., 2021), e apresentam persistência ambiental preocupante (Aktar et al., 2009). Esses pontos têm impulsionado a busca por alternativas sustentáveis, com destaque para os óleos vegetais e essenciais, que são biodegradáveis, renováveis e menos tóxicos (Isman, 2020).

Entre as opções, o óleo essencial de laranja (OEO), rico em D-limoneno, merece atenção especial. Este subproduto abundante da indústria cítrica apresenta propriedades antifúngicas comprovadas contra *Botrytis cinerea* em uvas (Aguiar et al., 2024) e potencial como adjuvante para redução de deriva quando emulsificado com saponina (Heng et al., 2024). Sua natureza biodegradável (Dassanayake et al., 2021) o torna particularmente atraente para sistemas agrícolas sustentáveis.

Diante deste cenário, esta revisão tem como objetivo consolidar o conhecimento atual sobre o óleo essencial de laranja como adjuvante agrícola, avaliando criticamente sua ação como adjuvante, comparando seu desempenho com adjuvantes convencionais, e discutindo as principais limitações e estratégias para otimizar seu uso.

1.1 JUSTIFICATIVA

A busca por alternativas sustentáveis aos óleos minerais tem ganhado destaque na agricultura, impulsionada pela necessidade de reduzir impactos ambientais, encontrar potenciais usos para modificar fatores da pulverização para melhorar a eficiência no manejo de pragas, doenças e plantas daninhas. Nesse contexto, o óleo essencial de laranja surge como uma opção de grande potencial de utilização na pulverização. Esta revisão busca compilar e analisar pesquisas sobre a utilização do óleo essencial de laranja em aplicações agrícolas, ressaltando seus possíveis benefícios, restrições e analisando os progressos mais recentes neste campo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar e revisar os desenvolvimentos científicos recentes no uso do óleo essencial de laranja em aplicações agrícolas, destacando sua funcionalidade como uma opção sustentável em relação aos óleos minerais, além de explorar funções adicionais para aprimorar a eficiência no controle fitossanitário.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar os compostos ativos predominantes no óleo essencial de laranja e seu potencial para uso na agricultura;

Descrever as funcionalidades presentes em sua utilização nas características físico-químicas nas caldas fitossanitárias;

Efeitos de sinergia com as caldas fitossanitárias;

Sistematizar desafios e limitações da utilização do óleo essencial de laranja.

2 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão narrativa da literatura científica, com ênfase em publicações recentes e relevantes, com o objetivo de reunir, analisar e discutir criticamente as principais evidências disponíveis sobre o uso do óleo essencial de laranja em pulverizações agrícolas. A revisão buscou identificar os benefícios, limitações e aplicações práticas do produto, especialmente em comparação com alternativas convencionais, como os óleos minerais.

A seleção do material bibliográfico abrangeu artigos científicos, livros, dissertações, teses e documentos técnicos, com prioridade para publicações no período de 2020 a 2025, de modo a assegurar a atualidade e relevância das informações. A busca foi conduzida em bases de dados reconhecidas pela comunidade científica, tais como: SciELO, ScienceDirect, Scopus, PubMed, Google Scholar e o portal de Periódicos CAPES.

Foram considerados estudos que abordaram especificamente a aplicação do óleo essencial de laranja, priorizando aqueles que enfocam seu uso como alternativa sustentável aos óleos minerais, além de possíveis funções adjuvantes ou fitoprotetoras que contribuíssem para a melhoria da eficiência das pulverizações e do controle fitossanitário. Foram excluídos estudos que não trataram diretamente da utilização do óleo de laranja em contextos agrícolas.

A estratégia de busca utilizou palavras-chave como: *orange essential oil*, *agricultural spraying*, *limonene*, *vegetable oil*, *orange oil-based adjuvants* e *agricultural adjuvants*. Para otimizar a recuperação dos estudos mais relevantes, foram aplicados operadores booleanos como *AND*, *OR* e *NOT*, permitindo a combinação ou exclusão de termos durante as buscas.

A análise da literatura foi realizada de forma descritiva, interpretativa e crítica, buscando identificar tendências, lacunas e contribuições relevantes sobre o uso do óleo essencial de laranja em pulverizações agrícolas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PRINCIPAIS COMPOSTOS ATIVO DO ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA

O principal composto ativo do óleo essencial de laranja utilizado na agricultura é o d-limoneno, que geralmente representa mais de 90% da composição do óleo. Este composto pertence à classe dos monoterpenos hidrocarbonetos e é o principal responsável pelas propriedades antimicrobianas, antifúngicas e inseticidas do óleo, conferindo grande valor para sua aplicação no controle de pragas e doenças, na preservação de alimentos e como aditivo na ensilagem (Fisher & Phillips, 2008; Bakkali et al., 2008)

Além do d-limoneno, outros compostos ativos presentes em menores concentrações também desempenham papéis relevantes na bioatividade do óleo. Entre eles, destacam-se:

Mirceno (1–4%) – possui propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, α -Pineno – conhecido por sua atividade antimicrobiana e repelente, Sabineno – contribui com propriedades antifúngicas, β -Pineno – atua na defesa contra microrganismos patogênicos, Linalol – tem efeitos sedativos e antibacterianos, γ -Terpineno – potencial antioxidante, Octanal e Decanal – aldeídos que reforçam o efeito antimicrobiano, Valenceno – um sesquiterpeno importante, presente em quantidades menores, mas com atividade repelente e potencial ação antifúngica (Fisher & Phillips, 2008; Bakkali et al., 2008; Dambolena et al., 2016).

Esses compostos secundários, embora estejam presentes em concentrações reduzidas, contribuem significativamente para a bioatividade geral do óleo essencial de laranja, potencializando suas funções antioxidantes, antibacterianas e até mesmo atraentes ou repelentes, dependendo da praga-alvo (Turek & Stintzing, 2013; Sharma et al., 2017).

2.1.1 Fatores que Influenciam a Composição

A composição química do óleo essencial de laranja pode variar significativamente de acordo com:

Método de extração (prensagem a frio, destilação, CO₂ supercrítico, etc.), espécie e variedade da laranja (*Citrus sinensis*, *Citrus aurantium*, etc.), fatores

ambientais (clima, solo, maturação do fruto), armazenamento e processamento do fruto. Esse conjunto de variáveis pode afetar diretamente a proporção dos compostos bioativos, influenciando a eficácia agrônômica e microbiológica do produto final (Turek & Stintzing, 2013; Sharma et al., 2017).

3.2 USO DO ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA NA AGRICULTURA

Óleos essenciais de laranja têm ganhado destaque como alternativas naturais e sustentáveis para o controle de pragas e doenças na agricultura. Seu principal componente, o limoneno, apresenta propriedades inseticidas e antifúngicas, tornando esses óleos promissores para aplicações agrícolas (Mangar et al. 2024).

Óleos essenciais de laranja e outros cítricos são alternativas promissoras aplicação agrícola, oferecendo controle de pragas e doenças, segurança ambiental e aproveitamento de resíduos. Encapsulação e formulações adequadas potencializam sua eficácia, embora o limoneno tenha limitações específicas como adjuvante anti-deriva (De Araújo et al., 2020; Mora-Pauma et al., 2023).

3.2.1 Controle de pragas e doenças

Óleo essencial de laranja tem demonstrado eficácia significativa no controle de diversas pragas e doenças agrícolas, tanto em condições laboratoriais quanto em testes de campo. O óleo essencial de laranja, especialmente em formulações nanoencapsuladas, apresentou alta atividade inseticida contra pulgões (*Aphis gossypii*), uma praga importante em diversas culturas. Em testes de campo, a formulação nano-inseticida baseada em óleo de laranja mostrou boa eficácia, mesmo em concentrações moderadas, embora concentrações muito altas possam causar fitotoxicidade nas plantas tratadas (Carranza et al., 2020).

Em experimentos com tripses (*Thrips flavus*), o óleo de folha de laranja e o óleo de flor de laranja demonstraram alta toxicidade, com controle de até 100% da praga após 7 dias de tratamento em doses elevadas. O principal composto responsável pela atividade inseticida é o D-limoneno (Mangar et al. 2024; Sustrino et al, 2025)

O óleo essencial de laranja também foi eficaz contra o besouro-do-feijão (*Callosobruchus maculatus*), causando mortalidade de até 100% em fêmeas e 96,7% em machos após 48 horas, em doses de 1,0 ml. O efeito é dose-dependente e aumenta com o tempo de exposição (Bora et al., 2020; Mora-Pauma et al., 2023).

Em estudos com encapsulamento em sílica, o óleo de laranja mostrou alta atividade inseticida contra lagartas (*Spodoptera littoralis*) e reduziu significativamente a prole de pulgões, sugerindo potencial para formulações sustentáveis de biopesticidas (De Araújo et al., 2020).

O óleo de laranja também demonstrou ação larvicida contra mosquitos vetores de doenças, como *Aedes aegypti*, embora seja menos tóxico que o óleo de capim-limão (Elhawary et al., 2024).

O óleo essencial de laranja, especialmente quando encapsulado em nanopartículas, inibiu a incidência de fungos fitopatogênicos como *Fusarium* e *Stenocarpella macrospora* durante o armazenamento de sementes de milho agroecológico. O encapsulamento aumentou a eficácia antifúngica em comparação ao óleo não encapsulado (Sánchez et al., 2021).

Em laranjeiras, o óleo essencial de diferentes cultivares foi capaz de inibir completamente o crescimento vegetativo e a germinação de esporos do fungo *alternaria spp.*, com eficácia semelhante ao fungicida Mancozeb. O óleo também reduziu a produção de enzimas degradadoras de parede celular pelos patógenos e diminuiu o índice de doença nas plantas tratadas (Rasyadi et al., 2024).

3.2.2 Uso em formulações de produtos agrícolas

O óleo essencial de laranja pode ser incorporado em diversas formulações para ampliar sua estabilidade, eficácia e aplicações, especialmente em produtos agrícolas, alimentícios e cosméticos. O uso do óleo essencial de laranja em formulações agrícolas — especialmente via encapsulamento, nanoemulsões, emulsões e hidrogéis — representa uma alternativa promissora, sustentável e segura para o controle de pragas e doenças, conservação de sementes e proteção de culturas, reduzindo a dependência de pesticidas sintéticos e minimizando impactos ambientais (Campolo et al., 2020; Nunes et al., 2023; Elghani et al., 2023; De Castro et al., 2025).

Encapsulamento em nanopartículas: O óleo essencial de laranja pode ser encapsulado em nanopartículas de zeína, o que aumenta sua estabilidade, protege os compostos ativos e permite uma liberação controlada. Essa abordagem mostrou alta eficiência no controle de fungos fitopatogênicos, como *Fusarium* e *Stenocarpella macrospora*, durante o armazenamento de sementes de milho agroecológico. O óleo encapsulado foi mais eficaz do que o óleo não encapsulado, contribuindo para a conservação de sementes sem o uso de pesticidas químicos (Nunes et al., 2023).

Nanoemulsões e nanoformulações: O óleo essencial de folhas de laranja, quando formulado em nanoemulsões, demonstrou eficácia como inseticida contra larvas de mosquitos (*Culex pipiens*), com potencial para substituir inseticidas sintéticos. A nanoformulação aumenta a penetração e a estabilidade do óleo, tornando-o mais eficiente e sustentável para uso agrícola (Elghani et al., 2023).

Emulsões: Formulações emulsionadas de óleo essencial de laranja foram testadas como biopesticidas contra pragas como *Tuta absoluta* em tomateiros. Essas emulsões mostraram potencial para o controle de pragas, com impacto mínimo sobre organismos benéficos e sem efeitos negativos sobre a atividade enzimática do solo e das plantas, indicando segurança ambiental (Campolo et al., 2020).

Hidrogéis com liberação controlada: Hidrogéis de polivinil álcool incorporados com óleo essencial de laranja podem ser usados para liberação sustentada de compostos ativos no solo, atuando como repelentes naturais de pragas (como pulgões) e apresentando atividade antifúngica. Essa tecnologia também contribui para a retenção de água no solo, beneficiando o manejo agrícola em regiões de escassez hídrica (De Castro et al., 2025).

A composição do óleo essencial de laranja pode variar conforme a localização agrícola, afetando a concentração de compostos ativos como limoneno, sabineno e linalol. Essa variação pode influenciar a eficácia das formulações agrícolas, sendo importante considerar a origem do óleo para padronização e melhores resultados (Khalid & Ahmed, 2020; Khalid, 2025).

3.2.3 Adjuvante agrícola nas aplicações

O óleo essencial de laranja, como adjuvante agrícola, pode melhorar a deposição e absorção de defensivos, potencializar o efeito de inseticidas, contribuir

para formulações mais sustentáveis e ser incorporado em sistemas inovadores de liberação controlada. Seu uso representa uma alternativa promissora para reduzir o impacto ambiental e aumentar a eficiência das aplicações agrícolas (Zhao et al., 2022; Xu et al., 2023; Heng et al., 2024; De Castro et al., 2025).

O óleo essencial de laranja, especialmente o extraído da casca verde, pode ser utilizado como adjuvante em misturas de tanque para aumentar a deposição, absorção e permeação de soluções pesticidas nas plantas. Em alguns casos, ele se mostrou mais adequado do que adjuvantes sintéticos para melhorar a fixação e a penetração dos defensivos nas folhas, otimizando a utilização dos produtos e potencializando seu efeito (Zhao et al., 2022).

A adição de óleo essencial de laranja em emulsões pode aumentar a espessura da camada interfacial ao redor das gotas, como observado em emulsões de óleo de algas. Isso ocorre devido à interação do óleo de laranja com proteínas (caseína), resultando em maior absorção de proteína na interface (70% com 10% de óleo de laranja versus 57% sem o óleo). Uma camada interfacial mais espessa pode favorecer a adesão e a retenção do produto na superfície das plantas, potencialmente melhorando a deposição e a absorção dos ativos (Xu et al., 2021).

O uso do óleo essencial de laranja como adjuvante em caldas de inseticidas, como o acetamiprido, demonstrou efeito sinérgico no controle de pragas, como o psilídeo *Edentatipsylla shanghaiensis*. O óleo melhora a molhabilidade das folhas, reduz a tensão superficial das gotas e aumenta a adesão do inseticida, resultando em maior eficiência de controle e permitindo a redução da dose de pesticida necessária (Xu et al., 2023).

O aumento da espessura da camada interfacial e a maior estabilidade oxidativa proporcionada pelo óleo essencial de laranja podem contribuir para uma liberação mais controlada e prolongada dos compostos ativos, o que pode favorecer a penetração gradual dos ingredientes nas superfícies tratadas (Xu et al., 2021).

Embora óleos essenciais sejam promissores como adjuvantes naturais para reduzir a deriva de pulverização, o d-limoneno (principal componente do óleo de laranja) não apresentou efeito significativo na redução da deriva em comparação a outros óleos essenciais, como o de orégano. No entanto, o uso de emulsões diluídas de óleo essencial de laranja pode contribuir para formulações mais seguras e sustentáveis, reduzindo o uso de ingredientes sintéticos e o impacto ambiental (Heng et al., 2024).

3.3 SEGURANÇA NA SUA UTILIZAÇÃO

O uso do óleo essencial de laranja é considerado relativamente seguro em diversas aplicações, mas sua segurança depende da via de administração, da dose utilizada e do contexto de uso. O principal componente do óleo essencial de laranja é o D-limoneno, que representa cerca de 67% da composição. Estudos indicam que o D-limoneno não apresenta riscos à saúde quando consumido em grandes quantidades em alimentos. No entanto, ainda não há testes suficientes para determinar sua segurança em todas as formas de uso, especialmente em doses elevadas ou em aplicações não alimentares. Por isso, recomenda-se consultar um profissional de saúde antes do uso, e o produto deve ser mantido fora do alcance de crianças (Olalekan et al., 2025).

Revisões sobre óleos essenciais cítricos destacam que, em geral, eles apresentam baixa toxicidade, não são mutagênicos e não causam efeitos adversos graves quando utilizados em doses adequadas (Padilla-Camberos et al., 2022; Brah et al., 2023). No entanto, há relatos de possíveis reações alérgicas em indivíduos sensíveis, especialmente em aplicações tópicas ou ingestão em grandes quantidades. Por isso, é importante realizar testes de sensibilidade e evitar o uso excessivo (Bora et al., 2020).

Os óleos essenciais cítricos, incluindo o de laranja, são considerados de baixa toxicidade para organismos benéficos e para o ambiente, sendo alternativas viáveis aos pesticidas sintéticos (Mori Mestanza et al., 2025; Agarwal et al., 2022; Simona et al., 2021).

3.4 SUSTENTABILIDADE NO USO DO ÓLEO DE LARANJA

O óleo essencial de laranja é extraído principalmente das cascas, um subproduto da indústria de sucos, promovendo a valorização de resíduos e a economia circular. O aproveitamento desses resíduos reduz a necessidade de descarte e agrega valor à cadeia produtiva, contribuindo para os Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS) e para a implementação de práticas de economia circular no setor agrícola (Da Costa et al., 2022; Shaw et al., 2023).

O uso de resíduos de casca de laranja para extração do óleo contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis e aproveitamento de subprodutos (Dikmetas et al., 2024; Bento et al., 2020).

Técnicas modernas, como extração por fluido supercrítico e hidrodestilação sustentável, permitem obter o óleo essencial de laranja sem o uso de solventes sintéticos, reduzindo o consumo de energia e a emissão de poluentes. Métodos como a extração solar, por exemplo, podem tornar o processo até 34% mais sustentável em comparação com métodos convencionais, além de serem viáveis em pequenas propriedades e indústrias (Al-Hilphy et al., 2022; Shaw et al., 2023; Felicia et al., 2024).

Óleos minerais, amplamente usados como adjuvantes e protetores de plantas, são derivados do petróleo e apresentam riscos ambientais, como contaminação do solo e da água, além de não serem biodegradáveis. O óleo essencial de laranja, por ser de origem vegetal e biodegradável, representa uma alternativa mais ecológica, reduzindo a dependência de insumos fósseis e o impacto ambiental associado ao uso contínuo de óleos minerais (Nunes et al., 2023; Da Costa Gonçalves et al., 2021).

Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) indicam que a produção integrada de óleo essencial e pectina a partir de resíduos cítricos pode ser otimizada para minimizar impactos ambientais, especialmente quando há uso racional de energia e insumos. A escolha de fontes energéticas limpas e o uso eficiente de recursos são fundamentais para maximizar os benefícios ambientais dessa substituição (Da Costa et al., 2022).

3.5 LIMITAÇÕES EM SUA UTILIZAÇÃO

A eficácia do óleo de laranja pode variar conforme a cultura, o patógeno e a formulação utilizada. Por exemplo, em testes pós-colheita, o óleo de laranja não conseguiu controlar o mofo verde (*Penicillium digitatum*) em limões e laranjas, com incidência da doença acima de 90% mesmo após tratamentos prolongados. Já para o mofo cinzento (*Botrytis cinerea*) em ameixas e morangos, a eficácia foi moderada e dependente da concentração e do tipo de formulação, sendo inferior ou apenas

comparável a fungicidas sintéticos em algumas situações (Njombolwana-Swartz et al., 2025).

O óleo essencial de laranja puro pode apresentar baixa eficácia, sendo necessário o desenvolvimento de formulações específicas (como nanopartículas ou emulsões) para aumentar sua estabilidade, liberação controlada e atividade antifúngica. Essas formulações podem ser mais complexas e onerosas, limitando o uso em larga escala (Nunes et al., 2023; Njombolwana-Swartz et al., 2025).

A atividade do óleo de laranja pode ser influenciada por fatores ambientais, como temperatura, tempo de exposição e tipo de cultura. Em morangos, por exemplo, a redução do mofo cinzento foi maior em condições de armazenamento refrigerado, sugerindo que sua eficácia pode ser reduzida em ambientes quentes ou úmidos (Njombolwana-Swartz et al., 2025).

O óleo essencial de laranja pode melhorar a deposição, absorção e permeação de alguns pesticidas em determinadas culturas, mas sua eficácia depende do tipo de pesticida, da cultura e das condições ambientais. Em alguns casos, outros adjuvantes, como trissiloxanos modificados, mostraram-se mais eficientes para reduzir a tensão superficial e melhorar a cobertura foliar, enquanto o óleo de laranja foi mais adequado apenas em situações específicas (Zhao et al., 2022).

Embora óleos essenciais sejam considerados alternativas naturais para reduzir a deriva, o limoneno (principal componente do óleo de laranja) não demonstrou capacidade significativa de aumentar o tamanho das gotas ou reduzir a deriva em comparação a outros óleos essenciais, como o de orégano. Isso limita sua aplicação em situações onde a redução da deriva é fundamental para a segurança ambiental e eficiência da pulverização (Heng et al., 2024).

A estabilidade física das emulsões contendo óleo de laranja pode ser afetada pela escolha do emulsificante. Proteínas vegetais, como as de ervilha, apresentam baixa solubilidade em água, o que pode comprometer a formação de emulsões estáveis e a retenção do óleo durante a secagem por atomização. Isso pode resultar em menor eficiência de encapsulamento e proteção do óleo, impactando sua funcionalidade como adjuvante (Francisco et al., 2020; Aguiar et al., 2020; Gomes, & Kurozawa, 2024).

Óleos essenciais, incluindo o de laranja, podem apresentar fitotoxicidade em doses elevadas, causando danos às plantas. Por isso, é necessário um ajuste

preciso da concentração para evitar efeitos adversos, o que pode limitar sua aplicação em larga escala e exigir testes prévios para cada cultura e condição de uso (Heng et al., 2024).

4 DISCUSSÃO

O óleo essencial de laranja tem se destacado como uma alternativa na agricultura, principalmente com a utilização do principal composto ativo, o d-limoneno. Representando mais de 90% da composição do óleo, o d-limoneno confere propriedades, antifúngicas e inseticidas que o tornam multifuncional no controle fitossanitário. Embora este monoterpene seja o protagonista da bioatividade do óleo, outros compostos secundários também são utilizados, como mirceno, sabineno, β -pineno e linalol, os quais, mesmo em baixas concentrações, contribuem significativamente para um efeito sinérgico e multifuncional em produtos. A diversidade de compostos reflete uma complexidade química que potencializa sua ação sobre pragas e microrganismos patogênicos, além de permitir aplicações complementares como repelente, conservante de sementes e componente de formulações.

A eficácia do óleo essencial de laranja, no entanto, não pode ser analisada de forma isolada, desconsiderando os fatores que influenciam sua composição química. A literatura evidencia que variáveis como a espécie e a variedade de laranja, o método de extração, e as condições ambientais de cultivo impactam diretamente na proporção dos compostos bioativos presentes. Este aspecto reforça a necessidade de padronização na produção e uso do óleo, a fim de garantir eficácia agrônômica consistente, especialmente em aplicações comerciais. Além disso, a forma como o óleo é manipulado, desde o armazenamento até sua formulação, pode influenciar de maneira expressiva seu desempenho, demandando atenção específica quanto à estabilidade e à integridade dos princípios ativos.

No campo do controle de pragas e doenças, a revisão evidencia um amplo espectro de ação do óleo de laranja, tanto em condições laboratoriais quanto em campo. A versatilidade do limoneno é particularmente evidente na mortalidade de pragas como pulgões, tripses, besouros e lagartas, além de vetores de doenças humanas como *Aedes aegypti*. Destaca-se ainda o avanço na aplicação de formulações encapsuladas, especialmente em nanopartículas de sílica ou zeína, que conferem estabilidade e liberação controlada dos compostos ativos. Essas formulações representam um diferencial, não apenas por ampliar a eficácia inseticida e antifúngica do óleo, mas também por minimizar efeitos adversos como a fitotoxicidade, fator limitante observado em concentrações muito elevadas e na

utilização de óleos minerais. O encapsulamento também se mostra eficaz na conservação de sementes e na proteção contra fungos fitopatogênicos, como *Fusarium spp.*

As formulações desenvolvidas a partir do óleo essencial de laranja não apenas ampliam sua aplicabilidade, mas também em formulações mais avançadas, como nanoemulsões, hidrogéis e emulsões funcionais. Estudos com nanoemulsões e hidrogéis demonstraram não apenas eficácia no controle de pragas, mas também benefícios colaterais, como a retenção de água no solo, aspecto relevante em regiões com escassez hídrica. O uso de emulsões, por sua vez, permite manter a atividade biológica do óleo em condições adversas, além de demonstrar seletividade em relação a organismos não-alvo, favorecendo o manejo integrado de pragas.

Outro ponto relevante da revisão está relacionado ao uso do óleo essencial de laranja como adjuvante agrícola. Seu potencial para melhorar a deposição e absorção de defensivos, além de atuar sinergicamente com inseticidas como o acetamiprido, pode significar uma redução no volume total de produtos aplicados. No entanto, o desempenho como adjuvante depende fortemente da formulação e situação. Embora apresente benefícios em relação à umectação, especialmente em emulsões, o limoneno isoladamente não demonstrou potencial expressivo na redução da deriva, quando comparado a outros óleos essenciais. Este dado aponta para a necessidade de uma avaliação criteriosa da composição do óleo e de sua adequação às necessidades específicas de cada sistema de cultivo.

No que se refere à segurança, o óleo essencial de laranja apresenta muitos pontos positivos. Estudos indicam baixa toxicidade para humanos, organismos benéficos e para o meio ambiente, especialmente quando utilizado em concentrações adequadas. Entretanto, relatos de sensibilização e possíveis reações alérgicas, bem como a ausência de testes conclusivos em determinadas formas de uso, reforçam a importância da realização de testes de sensibilidade e da observância das boas práticas de aplicação. É de fato que sua origem natural e sua biodegradabilidade o tornam um substituto viável para produtos derivados do petróleo, como os óleos minerais, os quais têm impactos negativos conhecidos sobre o solo e os recursos hídricos.

Em termos de sustentabilidade, a utilização do óleo essencial de laranja apresenta vantagens em relação a outros materiais. A matéria-prima utilizada, as cascas de laranja, é um subproduto da indústria de sucos, o que permite o

aproveitamento de resíduos e contribui para a economia circular. A adoção de técnicas de extração sustentáveis, como fluido supercrítico e hidrodestilação solar, complementa essa abordagem, reduzindo o consumo energético e as emissões de poluentes. A substituição de adjuvantes sintéticos por óleos essenciais cítricos representa um avanço no alinhamento da agricultura com os princípios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente em relação ao uso responsável de recursos naturais.

Contudo, apesar de seu potencial, o uso do óleo de laranja enfrenta limitações práticas que não devem ser desconsideradas. A variabilidade de sua eficácia em diferentes culturas e contra diferentes patógenos demanda uma abordagem mais precisa na recomendação. A revisão destaca, por exemplo, que o óleo foi ineficaz no controle do mofo verde em frutos cítricos pós-colheita, além de ter demonstrado apenas eficácia moderada contra o mofo cinzento em morangos e ameixas. Esse desempenho limitado reforça a necessidade de aprimoramento das formulações, uma vez que o uso do óleo em estado puro pode não ser suficiente para atingir os níveis desejados de controle.

Além disso, aspectos técnicos relacionados à formulação, como a escolha de emulsificantes e estabilizantes, influenciam diretamente a estabilidade física do produto final. Proteínas vegetais como as de ervilha, por exemplo, podem comprometer a qualidade das emulsões devido à baixa solubilidade em água. A baixa eficácia de encapsulamento pode impactar negativamente a funcionalidade do óleo, principalmente em produtos que dependem de liberação controlada. Também é relevante mencionar a fitotoxicidade observada em determinadas culturas quando o óleo é utilizado em concentrações elevadas, o que restringe sua aplicação universal e exige estudos preliminares para cada caso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo essencial de laranja se apresenta como uma alternativa promissora e sustentável para o manejo fitossanitário na agricultura, destacando-se por sua atividade inseticida, antifúngica e capacidade de atuar como adjuvante. Seu principal composto, o d-limoneno, aliado a outros componentes bioativos, confere eficácia no controle de diversas pragas e doenças, especialmente quando formulado em tecnologias como nanoencapsulamentos e emulsões. Além do desempenho agrônômico, seu uso valoriza resíduos da indústria de sucos, contribuindo para a economia circular e a redução do impacto ambiental. No entanto, sua eficácia pode variar conforme a cultura, o patógeno e as condições ambientais, exigindo padronização, testes prévios e desenvolvimento contínuo de formulações. Apesar de limitações, o óleo de laranja representa uma ferramenta valiosa para substituir ou complementar pesticidas sintéticos, alinhando produtividade agrícola à sustentabilidade.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos voltados a sua utilização em relação a concentração do óleo essencial ao produto final, há muitos produtos no mercado, mas o que os difere é a concentração de óleo em sua formulação, desta forma o estudo ajudaria a compreender esta relação de concentração e efeito em funcionalidades como umectação, espalhamento, penetração do produto no alvo.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, P., SEBGHATOLLAHI, Z., KAMAL, M., DHYANI, A., SHRIVASTAVA, A., SINGH, K., SINHA, M., MAHATO, N., MISHRA, A., & BAEK, K. Citrus Essential Oils in Aromatherapy: Therapeutic Effects and Mechanisms. **Antioxidants**. 2022; 11.

AGUIAR, M., DA SILVA, M., FERNANDES, J., & FORIM, M. Evaluation of the microencapsulation of orange essential oil in biopolymers by using a spray-drying process. **Scientific Reports**. 2020; 10.

AKTAR, M. W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2009.

AL-HILPHY, A., AHMED, A., GAVAHIAN, M., CHEN, H., CHEMAT, F., AL-BEHADLI, T., NOR, M., & AHMAD, S. Solar energy-based extraction of essential oils from cloves, cinnamon, orange, lemon, eucalyptus, and cardamom: A clean energy technology for green extraction. **Journal of Food Process Engineering**. 2022.

BAKKALI, F., AVERBECK, S., AVERBECK, D., & IDAOMAR, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, 46(2), 446–475. 2008

BENTO, R., PAGÁN, E., BERDEJO, D., DE CARVALHO, R., GARCÍA-EMBED, S., MAGGI, F., MAGNANI, M., DE SOUZA, E., GARCÍA-GONZALO, D., & PAGÁN, R. Chitosan nanoemulsions of cold-pressed orange essential oil to preserve fruit juices. **International journal of food microbiology**. 2020;

BORA, H., KAMLE, M., MAHATO, D., TIWARI, P., & KUMAR, P. Citrus Essential Oils (CEOs) and Their Applications in Food: An Overview. **Plants**. 2020; 9.

BRAH, A., ARMAH, F., OBUAH, C., AKWETEY, S., & ADOKOH, C. Toxicity and therapeutic applications of citrus essential oils (CEOs): a review. **International Journal of Food Properties**. 2023; 26.

CAMPOLO, O., PUGLISI, I., BARBAGALLO, R., CHERIF, A., RICUPERO, M., BIONDI, A., PALMERI, V., BAGLIERI, A., & ZAPPALÀ, L. Side effects of two citrus essential oil formulations on a generalist insect predator, plant and soil enzymatic activities. **Chemosphere**. 2020; 257.

CARRANZA, K., RODRIGUEZ, C., ESENARRO, D., VELIZ, M., & ARTEAGA, J. SENSORY Evaluation of a Perfume Made of Orange Essential Oil. **International Journal of Chemical Engineering and Applications**. 2020

CRYER, S. A.; ALTIERI, A. L. ROLE OF LARGE INHOMOGENEITIES IN INITIATING LIQUID SHEET breakup in agricultural atomisation. **Biosystems Engineering**, v. 163, p. 103-115, 2017.

DA COSTA GONÇALVES, D., RIBEIRO, W., GONÇALVES, D., MENINI, L., & COSTA, H. Recent advances and future perspective of essential oils in control *Colletotrichum* spp.: A sustainable alternative in postharvest treatment of fruits.. **Food research international**. 2021

DA COSTA, J., MARANDUBA, H., DE SOUSA CASTRO, S., DE ALMEIDA NETO, J., & RODRIGUES, L. Environmental performance of orange citrus waste as raw material for pectin and essential oil production. **Food and Bioproducts Processing**. 2022

DAMBOLENA, J. S., ZUNINO, M. P., LUCINI, E., & ZYGADLO, J. A. Essential oils composition and bioactivity against fungi and bacteria associated with stored food products. **Agronomy**, 6(2), 21. 2016

DASSANAYAKE, M. K. et al. Synergistic field crop pest management properties of plant-derived essential oils in combination with synthetic pesticides and bioactive molecules: A review. **Foods**, v. 10, n. 9, 2021.

DE ARAÚJO, J., DE SOUZA, E., OLIVEIRA, J., GOMES, A., KOTZEBUE, L., DA SILVA AGOSTINI, D., DE OLIVEIRA, D., MAZZETTO, S., DA SILVA, A., & CAVALCANTI, M. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. **International journal of biological macromolecules**. 2020

DE CASTRO, D., SANTOS, C., SANT'ANA, J., JACQUES, R., POLIDORO, A., DA SILVA, S., GATTO, D., & SANTANA, R. Exploring the Antifungal and Phytotoxic Activity of Polyvinyl Alcohol Hydrogels Incorporated With Essential Oils. **Polymers for Advanced Technologies**. 2025

DEXTER, R. W. The effect of fluid properties on the spray quality from a flat fan nozzle. **ASTM Special Technical Publication**, v. 1400, p. 27-43, 2001.

DIKMETAS, D., DEVECIOGLU, D., KARBANCIOGLU-GULER, F., & KAHVECI, D. Sequential Extraction and Characterization of Essential Oil, Flavonoids, and Pectin from Industrial Orange Waste. *ACS Omega*. 2024; 9.

ELGHANI, E., SAYED, A., EMAM, M., AL-MAHALLAWI, A., TADROS, S., SOLIMAN, F., & YOUSSEF, F. Seasonal metabolic profiling of Valencia orange leaf essential oil using GC coupled with chemometrics, nano-formulation, and insecticidal evaluation: in vivo and in silico. **RSC Advances**. 2023; 13.

ELHAWARY, E., NILOFAR, N., ZENGİN, G., & ELDAHSHAN, O. Variation of the essential oil components of *Citrus aurantium* leaves upon using different distillation techniques and evaluation of their antioxidant, antidiabetic, and neuroprotective effect against Alzheimer's disease. **BMC Complementary Medicine and Therapies**. 2024; 24

ELLIS, M. B., TUCK, C. R., & MILLER, P. C. H. Dilute emulsions and their effect on the breakup of the liquid sheet produced by flat-fan spray nozzles. **Atomization and Sprays**, v. 9, n. 4, p. 385-397, 1999.

FELICIA, W., ROVINA, K., AQILAH, N., & JAZIRI, A. Optimisation of supercritical fluid extraction of orange (*Citrus sinensis* L.) peel essential oil and its physicochemical properties. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**. 2024

FISHER, K., & PHILLIPS, C. A. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? **Trends in Food Science & Technology**, 19(3), 156–164. 2008
GHARDE, Y., SINGH, P. K., DUBEY, R. P., & GUPTA, P. K. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. **Crop Protection**, v. 107, p. 12-18, 2018

FRANCISCO, C., DE OLIVEIRA JÚNIOR, F., MARIN, G., ALVIM, I., & HUBINGER, M. Plant proteins at low concentrations as natural emulsifiers for an effective orange essential oil microencapsulation by spray drying. *Colloids and Surfaces. Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020; 607.

GOMES, M., & KUROZAWA, L. Rice protein hydrolysates as natural emulsifiers for an effective microencapsulation of orange essential oil by spray drying. **Drying Technology**. 2024; 42.

HENG, J., BECHARD, S., LACH, D., ROTHSTEIN, J., WANG, M., UBAL, S., & LU, J. Evaluating essential oils as biocidal anti-drift adjuvants for safe and sustainable agricultural spray enhancement. **Journal of Aerosol Science**, v. 181, 106421, 2024.

HILZ, E., VERMEER, A. W. P., LEERMAKERS, F. A. M., & STUART, M. C.. Spray drift: how emulsions influence the performance of agricultural sprays produced through a conventional flat fan nozzle. **Aspects of Applied Biology**, v. 114, p. 71-78, 2011.

ISMAN, M. B. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. **Phytochemistry Reviews**, v. 19, n. 2, p. 235-241, 2020.

KHALID, K., & AHMED, A. Agriculture Locations Induced Variations in The Essential Oil of Valencia Orange. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**. 2020; 23.

LIU, B., WANG, Y., YANG, F., WANG, X., SHEN, H., CUI, H., & WU, D. Construction of a controlled-release delivery system for pesticides using biodegradable PLA-based microcapsules. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 144, p. 38-45, 2016.

MAGAR P.S., MORE S.R., GAWANDE T.S., SONAWANE G.M. VALAVI P. N.. Formulation of Herbal Mosquito Repellent From Essential Oil Extracted From Citrus Sinensis (Orange). **International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology**. 2024

MORA-PALMA, R., MARTINEZ-MUNOZ, P., CONTRERAS-PADILLA, M., FEREGRINO-PEREZ, A., & RODRIGUEZ-GARCIA, M. Evaluation of water diffusion, water vapor permeability coefficients, physicochemical and antimicrobial properties of thin films of nopal mucilage, orange essential oil, and orange pectin. **Journal of Food Engineering**. 2023

MORI-MESTANZA, D., VALQUI-ROJAS, I., CAETANO, A., CULQUI-ARCE, C., CRUZ-LACERNA, R., CAYO-COLCA, I., CASTRO-ALAYO, E., & BALCÁZAR-

ZUMAETA, C. Physicochemical Properties of Nanoencapsulated Essential Oils: Optimizing D-Limonene Preservation. **Polymers**. 2025; 17.

NJOMBOLWANA-SWARTZ, N., MEITZ-HOPKINS, J., MONTEIRO, S., & LENNOX, C. Orange oil postharvest dips for control of grey mould (*Botrytis cinerea*) of plums and strawberries, and green mould (*Penicillium digitatum*) of citrus. **Phytopathologia Mediterranea**. 2025

NUNES, M., AGOSTINETTO, L., DA ROSA, C., SGANZERLA, W., PIRES, M., MUNARETTO, G., ROSAR, C., BERTOLDI, F., BARRETO, P., VEECK, A., & ZINGER, F. Application of nanoparticles entrapped orange essential oil to inhibit the incidence of phytopathogenic fungi during storage of agroecological maize seeds. **Food research international**. 2023; 175.

OERKE, E.-C. Crop losses to pests. **The Journal of agricultural science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

OLALEKAN, I., AJEROGBA, L., OLATUNJI, A., & AYINDE, A. Levels of concentration of some volatile compositions of a nigeria grown citrus sinensis peel essential oil. **International Journal of Modeling and Applied Science Research**. 2025

PADILLA-CAMBEROS, E., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, I., TORRES-GONZÁLEZ, O., DEL ROSARIO GALLEGOS-ORTIZ, M., MÉNDEZ-MONA, A., BAEZ-MORATILLA, P., & FLORES-FERNÁNDEZ, J. Natural essential oil mix of sweet orange peel, cumin, and allspice elicits anti-inflammatory activity and pharmacological safety similar to non-steroidal anti-inflammatory drugs. **Saudi Journal of Biological Sciences**. 2022; 29.

SÁNCHEZ, A., GARCÍA, M., MARTÍN-PIÑERO, M., MUÑOZ, J., & ALFARO-RODRÍGUEZ, M. Elaboration and characterization of nanoemulsion with orange essential oil and pectin. **Journal of the science of food and agriculture**. 2021

SAVARY, S., WILLOCQUET, L., PETHYBRIDGE, S. J., ESKER, P., MCROBERTS, N., & NELSON, A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, p. 430-439, 2019.

SHARMA, K., MAHATO, N., CHO, M. H., & LEE, Y. R. Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmently friendly approaches. **Nutrition**, 34, 29–46. 2017

SHAW, D., TRIPATHI, A., PAUL, V., AGARWAL, A., MISHRA, P., & KUMAR, M. Valorization of essential oils from citrus peel powder using hydro-distillation. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**. 2023

SIMONA, J., DANI, D., PETR, S., MARCELA, N., JAKUB, T., & BOHUSLAVA, T. Edible Films from Carrageenan/Orange Essential Oil/Trehalose—Structure, Optical Properties, and Antimicrobial Activity. **Polymers**. 2021; 13

SUTRISNO, S., PRIBADI, R., MARFU'AH, S., & PUTRI, D. Essential oil from sweet orange (*Citrus sinensis*) for solid perfumes preparation. **ELECTRONIC PHYSICS INFORMATICS INTERNATIONAL CONFERENCE (EPIIC) 2023**. 2024

TUREK, C., & STINTZING, F. C. Impact of different storage conditions on the chemical composition of essential oils. **Food Research International**, 52(2), 447–453. 2013

XU, N., WU, X., ZHU, Y., MIAO, J., GAO, Y., CHENG, C., PENG, S., ZOU, L., MCCLEMENTS, J., & LIU, W. Enhancing the oxidative stability of algal oil emulsions by adding sweet orange oil: Effect of essential oil concentration. **Food chemistry**. 2021; 355.

XU, G., YAN, D., FANG, W., XU, D., XU, L., WANG, Q., & CAO, A. Synergistic Effect of Orange Oil Adjuvant on Acetamiprid in the Control of *Edentatipsylla shanghaiensis*. **Sustainability**. 2023

YUSOFF, S. N. M., KAMARI, A., & ALJAFREE, N. F. A. A review of materials used as carrier agents in pesticide formulations. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, n. 12, p. 2977-2994, 2016.

ZHANG, X.; XIONG, L. Effect of adjuvants on the spray droplet size of pesticide dilute emulsion. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 619, 126557, 2021.

ZHANG, Z., TAN, Y., & MCCLEMENTS, D. J. (Investigate the adverse effects of foliarly applied antimicrobial nanoemulsion (carvacrol) on spinach. **LWT**, v. 141, 110936, 2021.

ZHAO, P., ZHENG, L., LI, Y., WANG, C., CAO, L., CAO, C., & HUANG, Q. Tank-Mix Adjuvants Regulate the Deposition, Absorption, and Permeation Behavior of Pesticide Solutions on Rice Plant. **Agriculture**. 2022

ZHENG, L., CAO, C., CAO, L., CHEN, Z., HUANG, Q., & SONG, B. Bounce behavior and regulation of pesticide solution droplets on rice leaf surfaces. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 44, p. 11560-11568, 2018.