

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 29/11/2025.



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVAS NO CONTROLE DO CANCRO
CÍTRICO**

VÍTOR RODRIGUES MARIN



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVAS NO CONTROLE DO CANCRO
CÍTRICO**

VÍTOR RODRIGUES MARIN

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada).

Orientadora: Dra. Daiane Cristina Sass

M337o Marin, Vítor Rodrigues
Óleos essenciais como alternativas no controle do cancro cítrico /
Vítor Rodrigues Marin. -- Rio Claro, 2023
188 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientadora: Daiane Cristina Sass

1. fitossanidade. 2. controle biológico. 3. biopesticidas. 4.
xanthomonas. 5. microbiologia agrícola. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Óleos essenciais como alternativas no controle do Câncer cístico

AUTOR: VÍTOR RODRIGUES MARIN

ORIENTADORA: DAIANE CRISTINA SASS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada), área: Microbiologia Aplicada pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. DAIANE CRISTINA SASS (Participação Presencial)
Departamento de Biologia Geral e Aplicada / Unesp - IB Rio Claro

Prof. Dr. HENRIQUE FERREIRA (Participação Presencial)
Departamento de Biologia Geral e Aplicada / UNESP - IB de Rio Claro

Prof. Dr. BEN-HUR MATTIUZ (Participação Presencial)
Departamento de Biologia Geral e Aplicada / Unesp - IB Rio Claro

Prof. Dr. GUILHERME DILARRI (Participação Virtual) 
Departamento de Engenharia de Pesca e Ciências Biológicas / Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Profa. Dra. SIMONE DA COSTA MELLO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / ESALQ - USP

Rio Claro, 29 de novembro de 2023

Agradecimentos

Aos meu pais Ângelo e Marta, e minha irmã Thais, pela educação e carinho, por estarem sempre presentes e acreditarem que a jornada vale a pena;

À Profa. Dra. Daiane Cristina Sass, minha orientadora, pelo espaço e tempo cedidos ao longo desses seis anos, pelo trabalho realizado, pela atenção e conselhos as vezes além da vida acadêmica, pela amizade e parceria;

À Profa. Dra. Derlene Attili de Angelis, minha coorientadora, pela assistência e tempo cedido durante a realização do trabalho;

Aos meus companheiros do Laboratório de Química e Biotecnologia de Microrganismos: Gabrielle, Juliano, Lucas, Eduarda, Vitória, Ana, Maria, Caroline, Ângelo e Isabela, pelo tempo compartilhado, trabalho e amizades ao longo desses seis anos;

Ao Prof. Dr. Henrique Ferreira, pelo espaço cedido em seu laboratório, parceria e assistência na realização do trabalho.

Aos companheiros do Laboratório de Genética de Bactérias: Caio, Giovane, Natalia, Mario, Guilherme, Igor, Giovana, pela amizade, assistência e parceria na realização do trabalho.

Aos meus amigos, Caio, Carolina, Matheus, Juliana, Marina, Fernando, Thiago, Rafaela, Karina, Felipe, Marina Abreu e tanto outros que compartilharam risadas, lágrimas, dias, noites, experiências boas e ruins.

Ao Prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz, pelos conselhos e auxílio no desenvolvimento da etapa final do trabalho.

A empresa Andrade SunFarms, nas pessoas de Aline Andrade, proprietária, e Dra. Renata Imperato, representante científica, pelas portas abertas, suporte e auxílio na realização do projeto.

A equipe técnica do Depto. de Biologia Geral e Aplicada, antigo Depto. de Bioquímica e Microbiologia: Adriano, Carmen, Fátima, pela sempre pronta ajuda durante a realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudos e auxílio financeiro que possibilitaram a dedicação integral ao programa de pós-graduação e a execução do projeto;

A todos que estiveram presentes nesta etapa de minha vida.

“I’d take the awe of understanding over the awe of ignorance any day.”

-Douglas Adams

Resumo

Desde que os seres humanos praticam agricultura, fitopatógenos têm sido um obstáculo na produção de alimentos. Esses patógenos podem reduzir o montante de alimento produzido mundialmente, fazendo com que produtores se dependam de pesticidas tradicionais, tornando estes, um dos pilares da agricultura moderna. Ainda que efetivos, seu uso contínuo pode levar a efeitos adversos. Trabalhadores rurais e produtores, expostos regularmente a esses produtos, podem desenvolver condições de saúde severas, e descobertas mais recentes descrevem os riscos para os consumidores finais. Ainda, os impactos ambientais são inegáveis, com acumulação de químicos no solo, corpos d'água e pela cadeia alimentar. Adicionalmente, seu uso recorrente pode levar ao surgimento de resistência microbiana, pressionando produtores a usarem maiores quantidades de pesticidas. Neste contexto, mudanças recentes na percepção do público sobre os riscos dos pesticidas levaram a busca por soluções mais “verdes”. Portanto, a busca por produtos eficientes e sustentáveis passa pela diversidade dos produtos naturais como ingredientes ativos. Esse documento descreve o uso de óleos essenciais (OEs) como ativos no controle da bactéria *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (*X. citri*), uma praga quarentenária e causador conhecido do cancro cítrico (CC). CC pode afetar tanto a quantidade, devido à queda prematura, quanto a qualidade dos frutos em função do surgimento de lesões que depreciam seu valor e limitam as opções de comercialização. O **Capítulo 1** compreende uma sucinta revisão sistemática sobre OEs como agentes no controle de fitopatógenos fúngicos e bacterianos. Foram elaboradas buscas com palavras chaves na plataforma *Scopus* rendendo 132 trabalhos publicados, sendo reduzidos a 93 após as etapas de seleção. Os artigos foram analisados e informações como espécie vegetal que origina o OE, fitopatógeno, método de análise *in vitro* e as concentrações inibitórias provenientes foram coletadas. Os resultados obtidos indicaram que fitopatógenos fúngicos são os mais

comumente estudados, especialmente gêneros com *Fusarium*, *Colletotrichum* e *Alternaria*, e as espécies vegetais dos gêneros *Origanum*, *Thymus*, *Cymbopogon* e *Mentha* são as fontes de OEs mais comumente estudadas. O **Capítulo 2** descreve o desenvolvimento de formulações compostas pelos OEs para a sanitização de limas ácidas do tipo “Tahiti” contaminadas por *X. citri*, uma etapa requerida na produção de citros devido a barreiras sanitárias impostas para impedir a disseminação da doença. Ensaios *in vitro* iniciais revelaram que os OEs de orégano (*Origanum vulgare*) e capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*) apresentaram as menores concentrações inibitórias (0.03% (v/v)) e foram selecionados para desenvolvimento das formulações. Os tratamentos das limas ácidas contaminadas artificialmente com células de *X. citri* revelaram que as formulações contendo OE de orégano à 1% (v/v) e capim-limão à 2% (v/v) foram capazes de remover células viáveis da bactéria sem alterar as características visuais dos frutos após durante o período de armazenagem. O **Capítulo 3** é referente a um artigo já publicado que relata um estudo aprofundado sobre OE de *O. vulgare* e seus principais componentes, os monoterpenos isoméricos: timol e carvacrol. Ambos apresentaram atividade antibacteriana em concentrações similares (100 e 114 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente) e tem a membrana bacteriana como seu principal alvo celular. Porém, ensaios em mudas de citros revelaram ação distinta entre os compostos. Tanto o timol, quanto o OE de *O. vulgare*, composto majoritariamente por carvacrol, foram capazes de reduzir o surgimento de lesões de CC, enquanto o carvacrol apresentou efeito não significativo, indicando uma possível ação sinérgica entre os compostos e os demais componentes do OE. Finalmente, o **Capítulo 4** descreve as diferenças entre os OEs de quatro espécies do gênero *Cymbopogon* (*C. martini*, *C. schoenanthus*, *C. citratus*, *C. winterianus*) em relação a sua atividade antibacteriana contra *X. citri*, e sua composição. Os OEs avaliados apresentaram concentrações inibitórias que variaram entre 139 e 301 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ e tiveram como principal alvo a membrana celular bacteriana. Os OEs de *C.*

martinii e *C. schoenanthus* também foram capazes de reduzir o número de células viáveis de *X. citri* da superfície de limas ácidas do tipo “Tahiti” quando preparados em soluções aquosas, revelando seu potencial para aplicação no processamento de frutos cítricos.

Palavras-chave: Produtos naturais; fitopatógenos; biopesticidas; *Xanthomonas*

Abstract

As long as humans practice agriculture, phytopathogens have been an obstacle to food production. These pathogens can reduce the amounts of food produced worldwide, making producers rely on traditional pesticides, turning these products into one of the pillars of modern agriculture production chain. While effective, the continuous use of these chemicals may lead to adverse effects. Farmers and producers, more regularly exposed to these chemicals, can develop severe health conditions, and more recent findings describe the risks for consumers. Moreover, the environmental impacts are undeniable, with chemicals accumulating in the soil, water bodies, and along the food chain. In addition, its recurrent use leads to the emergence of microbial resistance, pressuring farmers to use larger quantities of pesticides. In this light, recent changes in perception about the risks of pesticides led to the search for “greener” choices. Therefore, the search for efficient and sustainable pesticides passes through the diversity of natural active ingredients. This document describes the use of essential oils (EOs) as active substances in the control of the bacterium *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (*X. citri*), a quarentenary disease and known causer of citrus canker (CC). CC can affect both the quantity, due to premature drop, and quality of citrus fruit due to the emergence of lesions that depreciate fruit value and limit commercialization options for producers. **Chapter 1** comprises a succinct systematic review of articles relating EOs as control agents for fungal and bacterial phytopathogens. Searches were made in the *Scopus* database though the use of keywords, resulting in 132 published works, reduced to 93 after selection step. The papers were analyzed and information such as plant species from where the EO was obtained, phytopathogens, *in vitro* techniques and inhibitory concentrations were extracted. The results indicate that fungal phytopathogens are more commonly studied, specially from genus like *Fusarium*, *Colletotrichum* and *Alternaria*, and the EOs from *Origanum*, *Thymus*, *Cymbopogon*

and *Mentha* are the most studied genus. **Chapter 2** describes the development of two formulations containing EOs for sanitization of acid limes of the “Tahiti” variety contaminated with *X. citri*, a required process in citrus fruit production due to sanitary regulations imposed by agencies to prevent disease spreading. *In vitro* assays revealed that the EOs of oregano (*Origanum vulgare*) and lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) presented the lowest inhibitory concentration (0.03% (v/v)) and were selected for formulation development. The treatments of acid limes artificially contaminated by *X. citri* revealed that formulations containing the EO of oregano at 1% (v/v) and lemongrass at 2% (v/v) could remove viable cells without altering any visual characteristics of fruit during the storage period. **Chapter 3** is a published article relating an in-depth study of the EO of *Origanum vulgare* and its main components, the isomeric monoterpenes thymol and carvacrol. Both compounds presented antibacterial activity with similar inhibitory concentrations (100 and 114 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, respectively), and had the bacterial membrane as their main cellular target. Although, assays with citrus nursery trees revealed distinct action between compounds. Both thymol and the EO of *O. vulgare*, majorly composed of carvacrol, could significantly inhibit the development of CC lesions, while carvacrol alone did not show significant effect, which indicates a possible synergistic action between the EO compounds.

Finalmente, o **Capítulo 4** descreve as diferenças entre os OEs de quatro espécies do gênero *Cymbopogon* (*C. martini*, *C. schoenanthus*, *C. citratus*, *C. winterianus*) em relação a sua atividade antibacteriana contra *X. citri*, e sua composição. Os OEs avaliados apresentaram concentrações inibitórias que variaram entre 139 e 301 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ e tiveram como principal alvo a membrana celular bacteriana. Os OEs de *C. martinii* e *C. schoenanthus* também foram capazes de reduzir o número de células viáveis de *X. citri* da superfície de limas ácidas do tipo “Tahiti” quando preparados em soluções aquosas, revelando seu potencial para aplicação no processamento de frutos cítricos.

Finally, **Chapter 4** describes the differences in EOs of four species of the *Cymbopogon* genus (*C. martini*, *C. schoenanthus*, *C. citratus*, *C. winterianus*), relating their *in vitro* antibacterial activity, and composition. The EOs present inhibitory concentrations between 139 and 301 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ and had the cellular membrane as their main bacterial target. The EOs of *C. martini* and *C. schoenanthus* were capable of reducing the number of viable *X. citri* cells from acid limes were prepared in aqueous solution, revealing their potential in citrus fruit processing.

Keywords: Natural products; phytopathogens; biopesticides; *Xanthomonas*

Sumário

Introdução Geral.....	15
Revisão Bibliográfica	19
A Revolução Verde e o combate a fome	19
Pestes, pragas e patógenos	22
Agroquímicos, agrotóxicos e defensivos	24
Produtos Naturais, óleos essenciais e o desenvolvimento de “biopesticidas”	29
Referências.....	33
Capítulo 1.....	40
Introduction	43
Material and Methods	45
Search strategy	45
Selection step.....	46
Results	47
Selection and exclusion steps.....	47
Extraction Step and Selected articles	49
Discussion.....	70
Essential oils as antibacterial agents	70
Essential oils as antifungal agents	74
Conclusion	77
References	78
Capítulo 2.....	89
1. Introdução	92
2. Objetivos	97
2.1. Objetivo Geral	97
2.2. Objetivos específicos.....	97
3. Material e Métodos	98
3.1. Microrganismos.....	98
3.2. Óleos Essenciais	98
3.3. Avaliação de atividade antibacteriana contra <i>X. citri</i>	99

3.3.1. Avaliação da atividade antimicrobiana dos OEs enquanto princípios ativos da formulação.....	101
3.4. Ensaio de toxicidade em sementes	102
3.5. Inibição da formação de biofilme.....	104
3.6 Capacidade de permeabilização da membrana celular bacteriana	106
3.7. Potencial dos OEs em reduzir a formação de lesões do cancro cítrico	107
3.8. Avaliação da capacidade sanitizante das formulações em limas ácidas	108
3.7.1. Diferenciação dos morfotipos bacterianos	111
3.9. Avaliações físicas dos frutos após aplicação dos tratamentos.....	112
4.Resultados.....	114
4.1. Atividade antibacteriana dos óleos essenciais contra <i>X. citri</i>	114
4.2. Composição dos óleos essenciais (OE) de orégano e de capim-limão	115
4.3. Interferência dos óleos essenciais de orégano e capim-limão na formação de biofilme de <i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i>	116
4.4. Efeitos dos óleos essenciais de orégano e capim-limão na permeabilização da membrana celular de <i>X. citri</i>	117
4.5. Avaliação da capacidade protetiva dos óleos essenciais de orégano e capim-limão em mudas de <i>Citrus sinensis</i> , contra a formação de lesões de cancro cítrico.	120
4.6. Óleos essenciais de orégano e capim-limão como princípios ativos da formulação.	121
4.7. Fitotoxicidade das formulações contendo Óleos essenciais de Orégano e Capim limão como princípios ativos em sementes de alface (<i>Lactuca sativa</i>) e tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	124
4.8. Sanitização de limas ácidas “Tahiti” por formulações contendo óleos essenciais de orégano e de capim-limão como princípios ativos.....	125
4.8.1. Diferenciação dos morfotipos bacterianos obtidos.....	128
4.9. Avaliação das características físicas de limas ácidas “Tahiti” após aplicação das formulações contendo os OEs de orégano e capim-limão como princípios ativos.....	131
4.9.1. Simulação em ambiente de laboratório	131
4.9.2. Ensaio realizado em linha de beneficiamento	133
5. Discussão.....	138
6. Conclusão.....	142
7. Referências.....	143
Capítulo 3.....	151

Capítulo 4.....	154
Introduction.....	156
Material and Methods	158
Bacterial strain.....	158
Essential Oils.....	158
Bacterial growth inhibition assay	159
Live-dead microscopy	160
Acid limes sanitization assay	160
Results	162
EOs composition	162
EOs from species of the <i>Cymbopogon</i> genus inhibit <i>X. citri</i> growth.....	162
<i>Cymbopogon</i> EOs target the bacterial membrane.	164
Citrus sanitization.....	167
Discussion.....	171
Conclusion	175
References	184
Considerações finais.....	188

Introdução Geral

Pestes e patógenos são conhecidos como obstáculos importantes a uma produção regular e confiável de alimentos (Savary *et al.*, 2017, 2019). De acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO), agência coordenada pela Organização das Nações Unidas (ONU), entre 20 e 40% da produção de alimento global é perdida devido a doenças e pragas (FAO, 2017; Savary *et al.*, 2019). Estas doenças são causadas por uma variedade de fatores, dentre os bióticos, por exemplo, temos bactérias, fungos, vírus, oomicetos, nematoides e outras espécies vegetais parasitas (Strange; Scott, 2005).

Uma das culturas nacionais de maior expressão e destaque, em caráter internacional, é a citricultura. As áreas produtoras estão distribuídas por todo território e diversificadas tanto em tamanho, desde pequenos produtores a até grandes latifúndios, quanto em sistemas de produção (De Oliveira *et al.*, 2018). Segundo levantamento feito pelo Fundo da Defesa da Citricultura (FUNDECITRUS) as estimativas para a safra da laranja de 2023/2024 se encontram na casa das 300 milhões de caixas, apenas no cinturão citrícola, região que compreende o estado de São Paulo e o Triângulo Sudoeste Mineiro, e que apresenta os maiores números de produção de citros do país (FUNDECITRUS, 2022). Estes valores demonstram a capacidade produtiva do país frente a diversos problemas fitossanitários que afetam a produção, causando perdas na quantidade e qualidade de frutos, bem como uma redução no número de árvores em pomares (De Oliveira *et al.*, 2018).

Dentre as várias doenças que afetam a cultura de citrus, destaca-se o cancro cítrico, considerado como praga quarentenária, responsável por grandes danos à produtividade e qualidade dos frutos obtidos. A bactéria *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (*X. citri*), também classificada como praga quarentenária no Brasil, é a causadora do cancro cítrico, conhecido por atacar uma ampla

variedade de citros de importância comercial (Sanches *et al.*, 2014). Em seus estágios iniciais, a doença provoca pequenas manchas no interior das folhas, que podem se desenvolver em lesões necróticas de coloração marrom, podendo também afetar os frutos, o que reduz seu valor de mercado. A progressão dos sintomas pode levar a desfolha da planta comprometendo seu desenvolvimento, a queda prematura dos frutos e devido ao caráter epidemiológico da doença, o tanto vendas no mercado interno quanto sua exportação se tornam limitadas (FUNDECITRUS, 2019).

Na tentativa de reduzir o impacto econômico causado pelo cancro cítrico, um método de manejo integrado foi implementado pelas agências regulatórias brasileiras. O manejo integrado se baseia em práticas como instalação de quebra-ventos entre pomares, uso de mudas, cultivares e porta-enxertos resistentes e saudáveis, aplicação de compostos bactericidas, usualmente a base de cobre, e a formação de barreiras sanitárias para impedir que a doença atinja novos pomares (FUNDECITRUS, 2019). Ainda que os métodos de controle sejam eficientes em muitos casos, quando há um inóculo elevado da bactéria, altas temperaturas e umidade, as condições para disseminação se tornam ideais, suprimindo os esforços de (De Oliveira *et al.*, 2011).

Ao considerar o modelo de agronegócio empregado atualmente, baseado em monoculturas intensivas, com cultivares de alta produtividade e geneticamente homogêneos, cria-se uma pressão seletiva que pode levar a emergência de novas pragas, o que, em conjunto com o comércio globalizado, permite o surgimento de novas interações entre plantas e patógenos e sua disseminação para várias regiões do globo (De Silva *et al.*, 2019; Strange; Scott, 2005; Stukenbrock; McDonald, 2008). Ambientes como este, associados ao uso indiscriminado de métodos de controle como a inserção de genes de resistência em espécies vegetais e a aplicação

de pesticidas químicos, também contribuem para a instabilidade das lavouras possibilitando o surgimento de epidemias (Savary *et al.*, 2019).

A última abordagem possibilita o surgimento de patógenos resistentes, fato já relatado pela literatura em diversos patógenos, inclusive em bactérias do gênero *Xanthomonas* (FERENCE *et al.*, 2018), o que leva produtores desinformados a aplicarem tratamentos em maior volume e frequência. Ademais, a aplicação de tais compostos, como os cúpricos, comuns a culturas de *Xanthomonas*, encontram cada vez mais limitações em grandes mercados consumidores, como a União Europeia e Estados Unidos, que tem feito esforços legais para a redução de pesticidas químicos, o que acaba por limitar as opções disponíveis aos produtores (Behlau *et al.*, 2011; Jacquet *et al.*, 2022). O cobre insolúvel, comumente utilizado, é capaz de causar efeitos tóxicos a própria planta, provocando danos ao sistema radicular das plantas, o que é dificilmente detectado, mas acarreta a uma queda na absorção de nutrientes, e em consequência um desbalanço nutricional (FUNDECITRUS, 2018). Ademais, o uso destes pesticidas causa preocupações devido aos riscos a trabalhadores rurais, acumulação na cadeia alimentar e contaminação de corpos de água, que podem causar danos à saúde da população em geral, além de possíveis agravamentos socioeconômicos (Andersson; Hughes, 2011; Bonner; Alavanja, 2017; Dayan *et al.*, 2009; Gavrilescu, 2005; Oerke, 2006; Stukenbrock; McDonald, 2008).

Ainda, de acordo com previsões de crescimento populacional global, é possível que até 2050 o mundo seja povoado por 9 bilhões de pessoas, criando uma demanda de 70% de aumento na produção de alimentos (Clay, 2011; Cohen, 2005; Crist *et al.*, 2017). Este aumento cria uma demanda por novas soluções que permitam o aumento na produção alimentar e respeitem as preocupações acerca do uso de substâncias químicas. Faz-se necessário que novas estratégias no combate de doenças na agricultura devam assegurar um desenvolvimento sustentável entre

produção e ambiente (De Silva *et al.*, 2019; Weller *et al.*, 2014). Neste contexto, o uso de óleos essenciais tem ganhado destaque em pesquisas recentes para aplicação em diversas áreas que envolvam o controle de microrganismos. Óleos essenciais (OEs) são descritos como líquidos oleosos, hidrofóbicos, aromáticos e voláteis, que podem ser obtidos de praticamente toda a planta (flores, raízes, folhas, frutos e demais partes) (Falleh *et al.*, 2020; Pandey *et al.*, 2017).

Essas substâncias são consideradas, em geral, como GRAS (*Generally Recognized As Safe*, ou Geralmente Reconhecido como Seguro) pelo órgão de regulação americano (*Food and Drug Administration* – FDA), e como permitidas na agricultura orgânica pela União Européia (*European Commission* – Regulation 2018/848), por não apresentarem efeitos de tolerância quando usados como aditivos alimentares. Em geral, os componentes ativos de OEs mostram baixa toxicidade para mamíferos e uma persistência reduzida no ambiente devido à sua volatilidade (Isman *et al.*, 2011). Estas características, associadas ao amplo espectro de atividades, como anti-inflamatória, antioxidante, antifúngica e antibacteriana, colocam os óleos essenciais como candidatos viáveis a serem explorados no desenvolvimento de soluções contra patógenos como a bactéria *X. citri*.

Referências

- Ali, E.O.M.; Shakil, N. A.; Rana, V. S.; Sarkar, D. J.; Majumder, S.; Kaushik, P.; Singh, B. B.; Kumar, J. Antifungal activity of nano emulsions of neem and citronella oils against phytopathogenic fungi, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii*. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 108, p. 379–387, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092666901730448X>.
- Aljaafari, M. N.; Alali, A. O.; Baqais, L.; Alqubaisy, M.; Alali, M.; Molouki, A.; Ong-Abdullah, J.; Abushelaibi, A.; Lai, K. S.; Lim, S. H. E. An overview of the potential therapeutic applications of essential oils. **Molecules**, [s. l.], v. 26, n. 3, 2021.
- Andersson, D. I.; Hughes, D. Persistence of antibiotic resistance in bacterial populations. **FEMS Microbiology Reviews**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 901–911, 2011. Disponível em: <https://academic.oup.com/femsre/article-lookup/doi/10.1111/j.1574-6976.2011.00289.x>.
- Antonioli, G.; Fontanella, G.; Echeverrigaray, S.; Paula, A.; Delamare, L.; Pauletti, G. F.; Barcellos, T. Poly (lactic acid) nanocapsules containing lemongrass essential oil for postharvest decay control : In vitro and in vivo evaluation against phytopathogenic fungi. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 326, n. May, p. 126997, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126997>.
- Arora, M.; Kiran, B.; Rani, S.; Rani, A.; Kaur, B.; Mittal, N. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 111, n. 4, p. 811–815, 2008.
- Bailey, H. D.; Infante-Rivard, C.; Metayer, C.; Clavel, J.; Lightfoot, T.; Kaatsch, P.; Roman, E.; Magnani, C.; Spector, L. G.; Th. Petridou, E.; Milne, E.; Dockerty, J. D.; Miligi, L.; Armstrong, B. K.; Rudant, J.; Fritschi, L.; Simpson, J.; Zhang, L.; Rondelli, R.; Baka, M.; Orsi, L.; Moschovi, M.; Kang, A. Y.; Schüz, J. Home pesticide exposures and risk of childhood leukemia: Findings from the childhood leukemia international consortium. **International Journal of Cancer**, [s. l.], v. 137, n. 11, p. 2644–2663, 2015.
- Bebber, D. P.; Holmes, T.; Gurr, S. J. The global spread of crop pests and pathogens. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 23, n. 12, p. 1398–1407, 2014.
- Behlau, F.; Canteros, B. I.; Minsavage, G. V.; Jones, J. B.; Graham, J. H. Molecular characterization of copper resistance genes from *Xanthomonas citri* subsp. *citri* and *Xanthomonas alfalfae* subsp. *citrumelonis*. **Applied and Environmental Microbiology**, [s. l.], v. 77, n. 12, p. 4089–4096, 2011.
- Bonner, M. R.; Alavanja, M. C. R. Pesticides, human health, and food security. **Food and Energy Security**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 89–93, 2017.
- Braga, A. R. C.; De Rosso, V. V.; Harayashiki, C. A. Y.; Jimenez, P. C.; Castro, Í. B. Global health risks from pesticide use in Brazil. **Nature Food**, [s. l.], v. 1, n. 6, p. 312–314, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-020-0100-3>.
- Burdon, J. J.; Thrall, P. H.; Ericson, L. Genes, communities & invasive species: Understanding

the ecological and evolutionary dynamics of host-pathogen interactions. **Current Opinion in Plant Biology**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 400–405, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2013.05.003>.

Burney, J. A.; Davis, S. J.; Lobell, D. B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 107, n. 26, p. 12052–12057, 2010.

Clay, J. Freeze the footprint of food. **Nature**, [s. l.], v. 475, n. 7356, p. 287–289, 2011.

Cobb, R. C.; Filipe, J. A. N.; Meentemeyer, R. K.; Gilligan, C. A.; Rizzo, D. M. Ecosystem transformation by emerging infectious disease: Loss of large tanoak from California forests. **Journal of Ecology**, [s. l.], v. 100, n. 3, p. 712–722, 2012.

Cohen, J. E. No Title. **Scientific American**, [s. l.], v. 293, n. 3, p. 48–55, 2005.

Crist, E.; Mora, C.; Engelman, R. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. **Science**, [s. l.], v. 356, n. 6335, p. 260–264, 2017. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aal2011>.

Dayan, F. E.; Cantrell, C. L.; Duke, S. O. Natural products in crop protection. **Bioorganic and Medicinal Chemistry**, [s. l.], v. 17, n. 12, p. 4022–4034, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046>.

De Andrade, J. C.; Galvan, D.; Kato, L. S.; Conte-Junior, C. A. Consumption of fruits and vegetables contaminated with pesticide residues in Brazil: A systematic review with health risk assessment. **Chemosphere**, [s. l.], v. 322, n. February, p. 138244, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138244>.

De Clerck, C.; Maso, S. D.; Parisi, O.; Dresen, F.; Zhiri, A.; Haissam Jijakli, M. Screening of antifungal and antibacterial activity of 90 commercial essential oils against 10 pathogens of agronomical importance. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 10, 2020.

De Oliveira, R. P.; Girardi, E. A.; Sulzsbach, M.; Schwarz, S. F.; Carvalho, F. L. C.; Bernardi, L. de M. **Tecnologias para Prevenção e Manejo do Huanglongbing (HLB) em Polos de Citricultura de Base Familiar**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1101890/1/DOCUMENTO471.pdf>.

De Oliveira, A. G.; Murate, L. S.; Spago, F. R.; Lopes, L. de P.; Beranger, J. P. de O.; Martin, J. A. B. S.; Nogueira, M. A.; Mello, J. C. P. de; Andrade, C. G. T. de J.; Andrade, G. Evaluation of the antibiotic activity of extracellular compounds produced by the *Pseudomonas* strain against the *Xanthomonas citri* pv. *citri* 306 strain. **Biological Control**, [s. l.], v. 56, n. 2, p. 125–131, 2011.

De Silva, N. I.; Brooks, S.; Lumyong, S.; Hyde, K. D. Use of endophytes as biocontrol agents. **Fungal Biology Reviews**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 133–148, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2018.10.001>.

Devi, P. I.; Manjula, M.; Bhavani, R. V. Agrochemicals, Environment, and Human Health.

Annual Review of Environment and Resources, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 399–421, 2022.

Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-environ-120920-111015>.

Dubey, A.; Mailapalli, D. R. Nanofertilisers, Nanopesticides, Nanosensors of Pest and Nanotoxicity in Agriculture. [s. l.], n. February 2017, p. 307–330, 2016.

Essiedu, J. A.; Adepoju, F. O.; Ivantsova, M. N. Benefits and limitations in using biopesticides: A review. **AIP Conference Proceedings**, [s. l.], v. 2313, n. December, 2020.

Evenson, R. E.; Gollin, D. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. **Science**, [s. l.], v. 300, n. 5620, p. 758–762, 2003.

Falleh, H.; Ben Jemaa, M.; Saada, M.; Ksouri, R. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 330, n. January, p. 127268, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>.

Ference, C. M.; Gochez, A. M.; Behlau, F.; Wang, N.; Graham, J. H.; Jones, J. B. Recent advances in the understanding of *Xanthomonas citri* ssp. *citri* pathogenesis and citrus canker disease management. **Molecular Plant Pathology**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 1302–1318, 2018.

Friedrich, K.; Da Silveira, G. R.; Amazonas, J. C.; Do Monte Gurgel, A.; De Almeida, V. E. S.; Sarpa, M. International regulatory situation of pesticides authorized for use in Brazil: Potential for damage to health and environmental impacts. **Cadernos de Saude Publica**, [s. l.], v. 37, n. 4, 2021.

FUNDECITRUS. Pesquisadores do FUNDECITRUS e IAC recomendam uso racional do cobre para controle do cancro cítrico. Comunicação Fundecitrus, 2018. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/pesquisadores-do-fundecitrus-e-iac-recomendam-uso-racional-do-cobre-para-controle-do-cancro-citrico/764>. Acessado em 13 de dezembro de 2023.

Gavrilescu, M. Fate of Pesticides in the Environment and its Bioremediation. **Engineering in Life Sciences**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 497–526, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/elsc.200520098>.

Haris, M.; Hussain, T.; Mohamed, H. I.; Khan, A.; Ansari, M. S.; Tauseef, A.; Khan, A. A.; Akhtar, N. Nanotechnology – A new frontier of nano-farming in agricultural and food production and its development. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 857, n. October 2022, p. 159639, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159639>.

Hintz, T.; Matthews, K. K.; Di, R. The Use of Plant Antimicrobial Compounds for Food Preservation. **BioMed Research International**, [s. l.], v. 2015, 2015.

Holt-Giménez, E.; Altieri, M. A. Agroecology, food sovereignty, and the new green revolution. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 90–102, 2013.

Huang, D.; Gao, L.; Zhu, S.; Qiao, L.; Liu, Y.; Ai, Q.; Xu, C.; Wang, W.; Lu, M.; Zheng, M. Target and non-target analysis of organochlorine pesticides and their transformation products in an agrochemical-contaminated area. **Chemosphere**, [s. l.], v. 324, n. March, p. 138314, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138314>.

Hüter, O. F. Use of natural products in the crop protection industry. **Phytochemistry Reviews**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 185–194, 2011.

Isman, M. B.; Miresmailli, S.; Machial, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 197–204, 2011. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11101-010-9170-4>.

Jacquet, F.; Jeuffroy, M. H.; Jouan, J.; Le Cadre, E.; Litrico, I.; Malausa, T.; Reboud, X.; Huyghe, C. Pesticide-free agriculture as a new paradigm for research. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 1–24, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00742-8>.

Jugreet, B. S.; Suroowan, S.; Rengasamy, R. R. K.; Mahomoodally, M. F. Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 101, n. September 2019, p. 89–105, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.025>.

Kilpatrick, A. M. Globalization, Land Use, and the Invasion of West Nile Virus. **Science**, [s. l.], v. 334, n. 6054, p. 323–327, 2011. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1201010>.

Kim, K. H.; Kabir, E.; Jahan, S. A. Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 575, p. 525–535, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>.

Koutras, S.; Lynch, C. F.; Xiaomei, M.; Won, J. L.; Hoppin, J. A.; Christensen, C. H.; Andreotti, G.; Freeman, L. B.; Rusiecki, J. A.; Lifang, H.; Sandler, D. P.; Alavanja, M. C. R. Heterocyclic aromatic amine pesticide use and human cancer risk: Eesults from the U.S. Agricultural Health Study. **International Journal of Cancer**, [s. l.], v. 124, n. 5, p. 1206–1212, 2009.

Lo, C. C. Effect of pesticides on soil microbial community. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, [s. l.], v. 45, n. 5, p. 348–359, 2010.

Lorsbach, B. A.; Sparks, T. C.; Cicchillo, R. M.; Garizi, N. V.; Hahn, D. R.; Meyer, K. G. Natural products: a strategic lead generation approach in crop protection discovery. **Pest Management Science**, [s. l.], v. 75, n. 9, p. 2301–2309, 2019.

Lu, W.; Cui, R.; Zhu, B.; Qin, Y.; Cheng, G.; Li, L.; Yuan, M. Influence of clove essential oil immobilized in mesoporous silica nanoparticles on the functional properties of poly(lactic acid) biocomposite food packaging film. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], v. 11, p. 1152–1161, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421000983>.

Lykogianni, M.; Bempelou, E.; Karamaouna, F.; Aliferis, K. A. Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 795, p. 148625, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625>.

Moisan, F.; Spinosi, J.; Delabre, L.; Gourlet, V.; Mazurie, J. L.; Bénatru, I.; Goldberg, M.; Weisskopf, M. G.; Imbernon, E.; Tzourio, C.; Elbaz, A. Association of parkinson's disease and its subtypes with agricultural pesticide exposures in men: A case-control study in France. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 123, n. 11, p. 1123–1129, 2015.

Oerke, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 144, n. 1, p. 31–43, 2006.

Ollinaho, O. I.; Pedlowski, M. A.; Kröger, M. Toxic turn in Brazilian agriculture? The political economy of pesticide legalisation in post-2016 Brazil. **Third World Quarterly**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 612–630, 2023. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01436597.2022.2153031>.

Pandey, A. K.; Kumar, P.; Singh, P.; Tripathi, N. N.; Bajpai, V. K. Essential oils: Sources of antimicrobials and food preservatives. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 7, n. JAN, p. 1–14, 2017.

Pingali, P. L. Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 109, n. 31, p. 12302–12308, 2012.

Qu, S.; Yang, K.; Chen, L.; Liu, M.; Geng, Q.; He, X.; Li, Y.; Liu, Y.; Tian, J. Cinnamaldehyde, a Promising Natural Preservative Against *Aspergillus flavus*. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 10, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2019.02895/full>.

Raanan, R.; Harley, K. G.; Balmes, J. R.; Bradman, A.; Lipsett, M.; Eskenazi, B. Early-life exposure to organophosphate pesticides and pediatric respiratory symptoms in the CHAMACOS cohort. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 123, n. 2, p. 179–185, 2015.

Ríos, J. L. Essential Oils. In: ESSENTIAL OILS IN FOOD PRESERVATION, FLAVOR AND SAFETY. [S. l.]: Elsevier Inc., 2015. p. 3–10. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00001-8>.

Salvatore, A. L.; Bradman, A.; Castorina, R.; Camacho, J.; López, J.; Barr, D. B.; Snyder, J.; Jewell, N. P.; Eskenazi, B. Occupational behaviors and farmworkers' pesticide exposure: Findings from a study in Monterey County, California. **American Journal of Industrial Medicine**, [s. l.], v. 51, n. 10, p. 782–794, 2008.

Sanches, A. L. R.; Miranda, S. H. G. de; Belasque Junior, J.; Bassanezi, R. B. Análise econômica da prevenção e controle do cancro cítrico no estado de São Paulo. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 549–566, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032014000300008&lng=pt&tlng=pt.

Sankoh, A. I.; Whittle, R.; Semple, K. T.; Jones, K. C.; Sweetman, A. J. An assessment of the impacts of pesticide use on the environment and health of rice farmers in Sierra Leone. **Environment International**, [s. l.], v. 94, p. 458–466, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.034>.

Savary, S.; McRoberts, N.; Esker, P. D.; Willocquet, L.; Teng, P. S. Production situations as drivers of crop health: evidence and implications. **Plant Pathology**, [s. l.], v. 66, n. 6, p. 867–876, 2017.

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 and Evolution**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 430–439, 2019.

Schmidt-Jeffris, R. A. Nontarget pesticide impacts on pest natural enemies: progress and gaps in current knowledge. **Current Opinion in Insect Science**, [s. l.], v. 58, p. 101056, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2023.101056>.

Shearer, B. L.; Crane, C. E.; Dunne, C. P. Variation in vegetation cover between shrubland, woodland and forest biomes invaded by *Phytophthora cinnamomi*. **Australasian Plant Pathology**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 413–424, 2012.

Sonwa, M. M. **ISOLATION AND STRUCTURE ELUCIDATION OF ESSENTIAL OIL CONSTITUENTS Comparative Study of the Oils of**. [S. l.: s. n.], 2000.

Soria-Lopez, A.; Garcia-Perez, P.; Carpena, M.; Garcia-Oliveira, P.; Otero, P.; Fraga-Corral, M.; Cao, H.; Prieto, M. A.; Simal-Gandara, J. Challenges for future food systems: From the Green Revolution to food supply chains with a special focus on sustainability. **Food Frontiers**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 9–20, 2023.

Souza, M. C. O.; Cruz, J. C.; Cesila, C. A.; Gonzalez, N.; Rocha, B. A.; Adeyemi, J. A.; Nadal, M.; Domingo, J. L.; Barbosa, F. Recent trends in pesticides in crops: A critical review of the duality of risks-benefits and the Brazilian legislation issue. **Environmental Research**, [s. l.], v. 228, n. March, 2023.

Sparks, T. C.; Sparks, J. M.; Duke, S. O. Natural Product-Based Crop Protection Compounds—Origins and Future Prospects. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 71, n. 5, p. 2259–2269, 2023.

Strange, R. N.; Scott, P. R. Plant disease: A threat to global food security. **Annual Review of Phytopathology**, [s. l.], v. 43, n. Figure 1, p. 83–116, 2005.

Strobel, G.; Daisy, B.; Castillo, U.; Harper, J. Natural Products from Endophytic Microorganisms. **Journal of Natural Products**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 257–268, 2004.

Stukenbrock, E. H.; McDonald, B. A. The Origins of Plant Pathogens in Agro-Ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 75–100, 2008. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.phyto.010708.154114>.

Tariq, M. I.; Afzal, S.; Hussain, I.; Sultana, N. Pesticides exposure in Pakistan: A review. **Environment International**, [s. l.], v. 33, n. 8, p. 1107–1122, 2007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160412007001389>.

Tauger, M. B. Nazareno Strampelli and the first Green Revolution. **Journal of International Development**, [s. l.], n. March, p. 1–28, 2023.

Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J.; Befort, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 108, n. 50, p. 20260–20264, 2011.

Udeigwe, T. K.; Teboh, J. M.; Eze, P. N.; Hashem Stietiya, M.; Kumar, V.; Hendrix, J.; Mascagni, H. J.; Ying, T.; Kandakji, T. Implications of leading crop production practices on environmental quality and human health. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 151, p. 267–279, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.024>.

Van Dijk, M.; Morley, T.; Rau, M. L.; Saghai, Y. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. **Nature Food**, [s. l.], v. 2, n. 7, p. 494–501, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>.

Waisbich, L. T.; Cabral, L. Brazilian Civil Society and South–South Cooperation: Countering the Green Revolution from Abroad. In: LÍDIA CABRAL, Sérgio Sauer and Alex Shankland (org.). **Transforming Development Knowledge**. [S. l.: s. n.], 2023. v. 54, p. 127.

Walia, S.; Saha, S.; Tripathi, V.; Sharma, K. K. Phytochemical biopesticides: some recent developments. **Phytochemistry Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 989–1007, 2017.

Weller, C. S.; Culbreath, A. K.; Gianessi, L.; Godfrey, L. D. No The Contributions of Pesticides to Pest Management in Meeting the Global Need for Food Production by 2050. **Council for Agricultural Science and Technology -USA**, [s. l.], p. 1–28, 2014. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173010754>.

Westermann, D. T.; Bjorneberg, D. L.; Aase, J. K.; Robbins, C. W. Phosphorus Losses in Furrow Irrigation Runoff. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 1009–1015, 2001.

Woodcock, B. A.; Bullock, J. M.; Shore, R. F.; Heard, M. S.; Pereira, M. G.; Redhead, J.; Ridding, L.; Dean, H.; Sleep, D.; Henrys, P.; Peyton, J.; Hulmes, S.; Hulmes, L.; Sárospataki, M.; Saure, C.; Edwards, M.; Genersch, E.; Knäbe, S.; Pywell, R. F. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. **Science**, [s. l.], v. 356, n. 6345, p. 1393–1395, 2017.

Zhan, J.; Thrall, P. H.; Burdon, J. J. Achieving sustainable plant disease management through evolutionary principles. **Trends in Plant Science**, [s. l.], v. 19, n. 9, p. 570–575, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2014.04.010>.

Zikankuba, V. L.; Mwanyika, G.; Ntwenya, J. E.; James, A. Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. **Cogent Food and Agriculture**, [s. l.], v. 5, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1601544>.

Considerações finais

O presente trabalho discorreu sobre o uso de óleos essenciais no controle da bactéria *Xanthomonas citri* subsp. *citri*, a causadora do cancro cítrico. Foi demonstrado que os óleos essenciais, atuando como princípios ativos de uma formulação, como demonstrado no Capítulo 2, ou sem nenhum aditivo, são capazes de reduzir efetivamente a formação de lesões de cancro cítrico em mudas de laranja (Capítulo 3), ou na sanitização de limas ácidas (Capítulo 4). Os dados apresentando no decorrer desta tese mostram também a diversidade de moléculas químicas que compõem esses óleos, bem como sua atividade antibacteriana. Por fim, é seguro afirmar os dados aqui expostos se somam a uma farta literatura (Capítulo 1), quanto a capacidade desses produtos de origem natural no controle a fitopatógenos, e que óleos essenciais são candidato viáveis para desenvolvimento de biopesticidas, aumentando a gama de produtos disponíveis para produtores e propiciando a redução de aplicação de agroquímicos convencionais, reduzindo seu efeito tóxico e cumulativo no ambiente, fortalecendo alternativas sustentáveis para uma prática menos nociva de agricultura.