

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ -UFPI
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS APLICADAS A ANIMAIS
DE INTERESSE REGIONAL - PPGTAIR**

JOSEFRAN SANTOS DO VALE

**ATIVIDADE ANTIMICROBIANA, ANTIOXIDANTE E TOXICIDADE DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *PSIDIUM GUAJAVA*, EM ORGANISMOS NÃO-ALVOS DA
AQUICULTURA.**

Orientadora: Prof^a Dra. Maria Christina Sanches Muratori

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Fernandes Alves Silva

**TERESINA-PI
2025**

JOSEFRAN SANTOS DO VALE

**ATIVIDADE ANTIMICROBIANA, ANTIOXIDANTE E TOXICIDADE DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *PSIDIUM GUAJAVA*, EM ORGANISMOS NÃO-ALVOS DA
AQUICULTURA.**

Dissertação apresentada para a banca examinadora como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Aplicadas a Animais de Interesse Regional (PPGTAIR) da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Área de concentração:
Diagnósticos Avançados em
Medicina Veterinária

Linha de Pesquisa: Biotecnologia,
Reprodução e Genética

Orientadora: Prof^a Dra. Maria
Christina Sanches Muratori

Coorientador: Prof. Dr. Thiago
Fernandes Alves Silva

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

V149a Vale, Josefran Santos do.
Atividade antimicrobiana, antioxidante e toxicidade do óleo essencial de *Psidium guajava*, em organismos não-alvos da aquicultura. / Josefran Santos do Vale. -- 2024.
82 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Aplicadas a Animais de Interesse Regional, 2025.
“Orientadora: Profa. Dra. Maria Christina Sanches Muratori.”


1. Aquicultura. 2. Microcrustáceos. 3. Óleo essencial. 4. Saúde única. I. Muratori, Maria Christina Sanches. II. Título.

CDD 639.8


**ATIVIDADE ANTIMICROBIANA, ANTIOXIDANTE E TOXICIDADE DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *PSIDIUM GUAJAVA*, EM ORGANISMOS NÃO-ALVOS DA
AQUICULTURA.**

Josefran Santos do Vale


BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **MARIA CHRISTINA SANCHES MURATORI**
Data: 13/09/2025 11:04:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa. Dra. Maria Christina Sanches Muratori
(Presidente / Orientadora) / DMV/ CCA / UFPI

Documento assinado digitalmente
 **SANDRA HELENA DE MESQUITA PINHEIRO**
Data: 15/09/2025 17:07:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sandra Helena de Mesquita Pinheiro
(Examinadora externa) UFDPAR

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO DOS SANTOS ROCHA**
Data: 15/09/2025 20:13:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Márcio dos Santos Rocha
(Examinador externo) / UFPI

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO FERNANDES ALVES SILVA**
Data: 16/09/2025 08:38:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Fernandes Alves Silva
(Examinador externo/Coorientador) UFDPAR

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, eu quero agradecer a Deus por todas as maravilhas na minha vida, por ter me guiado, abençoado, protegido e iluminado meus caminhos durante todo esse tempo. Por todos os desafios enfrentados e barreiras derrubadas, Deus, só tenho a te agradecer por sempre me fortalecer, principalmente a parte mental do meu ser.

Aos meus familiares que me apoiaram e me apoiam diariamente em todas as minhas decisões, em especial a minha mãe, Luciana Santos, por sempre me incentivar a estudar desde quando eu me entendi por gente, e que me fez me tornar quem eu sou hoje e me fez chegar até aqui nesse momento de muita felicidade, agradeço por todo seu apoio e cuidado minha querida mãe, todo meu esforço e conquistas vem de você que mesmo em meio as dificuldades nunca deixou de me levar a escola e sempre me apoiou nos estudos.

Quero agradecer a todas as minhas tias, em especial Eliane Souza, Maria da Anunciação, por sempre me aconselharem a seguir em frente e ir em busca dos meus sonhos, vocês foram essenciais durante essa jornada.

Quero agradecer ao Ailson Frota, que desde o início pegou na minha mão e me apoiou em todos esses anos, seu apoio e incentivo foram de extrema importância durante todo esse processo em especial. Gratidão por tudo o que você fez pela minha pessoa, levarei para toda a minha vida.

Aos meus amigos do NUEPPA, pelo carinho e respeito durante nossa convivência, em especial a Tati e João, vocês moram no meu coração. Agradeço a minha amiga Livia, por todas as conversas e desafios que passamos juntos durante esse tempo, você também tem um lugar no meu coração. E a todos os funcionários do NUEPPA, que foram sempre gentis e eu guardo cada um no meu coração.

Agradeço a Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade em fazer parte de um programa de Pós-graduação, suporte e infraestrutura oferecida ao longo da pesquisa. Agradeço a Universidade Federal do Delta do Parnaíba, pela infraestrutura disponibilizada e todo o suporte dado nessa pesquisa.

A todas as pessoas dos laboratórios no qual essa pesquisa foi realizada, LANUTRI E BIOTEC, pela disponibilidade e parceria científica durante toda essa jornada, para que tudo pudesse sair da melhor forma.

Agradeço as professoras, Sandra Helena, Margarida Maria por todo o incentivo e conselhos e por todo o apoio nessa jornada, vocês são especiais e eu tenho um enorme carinho, jamais esquecerei de todos os seus ensinamentos.

Agradeço a Thais Danyelle, Antônio e Rai Emanuel, por todo o apoio e aprendizado compartilhado com a minha pessoa, vocês foram importantes durante essa jornada. Agradeço ao meu amigo, Fabrício Silva, por todo o apoio dado durante a execução dos estudos dessa pesquisa, gratidão por tudo meu amigo.

Ao meu coorientador, Prof Dr. Thiago Fernandes, por todo o suporte, aprendizado, conselhos e conversas, durante esse processo, você é uma referência, sou grato por todo o apoio e incentivo professor. Gratidão por tudo.

A minha orientadora Profa. Dra. Maria Christina, por todos os ensinamentos, direcionamentos durante essa jornada, gratidão por todo o conhecimento e experiências compartilhados, sou grato por tudo.

Agradeço imensamente a todos que fizeram parte de maneira direta e indireta para o desenvolvimento dessa pesquisa. Serei eternamente grato a todos (as).

RESUMO

A aquicultura tem se consolidado como um importante setor para a segurança alimentar, mas enfrenta sérios desafios devido à ocorrência de doenças infecciosas, em especial as bacterianas, que comprometem a produção e a sustentabilidade do cultivo de peixes. O uso indiscriminado de antibióticos tem agravado o problema da resistência bacteriana, tornando urgente a busca por alternativas naturais e sustentáveis. Nesse contexto, os óleos essenciais surgem como compostos promissores pela sua atividade antimicrobiana, antioxidante e relativa segurança ambiental. O presente estudo teve como objetivo avaliar a toxicidade, a atividade antioxidante e o potencial antimicrobiano do óleo essencial de *Psidium guajava*, uma espécie da família Myrtaceae amplamente utilizada na medicina tradicional e com reconhecidas propriedades bioativas. Foram conduzidos ensaios de toxicidade aguda com os microcrustáceos *Daphnia magna* e *Artemia salina*, testes antioxidantes pelos métodos ABTS e DPPH, e ensaios antimicrobianos *in vitro* frente a cepas Gram-positivas (*Streptococcus agalactiae*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*) e Gram-negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Klebsiella pneumoniae*). O óleo essencial foi obtido por destilação por arraste a vapor e caracterizado por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, revelando composição majoritariamente sesquiterpênica, com destaque para β -cariofileno, β -selineno e γ -selineno. Os testes de toxicidade demonstraram que o óleo apresenta efeito moderado sobre *D. magna* e *A. salina*, sendo classificado como categoria aguda 2 pelo GHS. Na atividade antioxidante, o óleo apresentou menor efeito comparado ao Trolox e ao ácido ascórbico, mas mostrou ação dose-dependente e significativa capacidade de neutralização de radicais livres. Em relação à atividade antimicrobiana, observou-se maior eficácia contra bactérias Gram-positivas, especialmente *S. agalactiae*, patógeno de elevada relevância para a piscicultura, enquanto não foi registrada ação significativa contra Gram-negativas, possivelmente devido à barreira estrutural da membrana externa desses microrganismos. Os resultados obtidos reforçam o potencial biotecnológico do óleo essencial de *P. guajava* como alternativa natural para a aquicultura, conciliando atividade antimicrobiana seletiva, efeito antioxidante moderado e toxicidade ecologicamente aceitável. Conclui-se que este óleo representa uma estratégia promissora para o manejo sanitário aquícola e recomenda-se a continuidade das pesquisas, incluindo estudos *in vivo*, avaliação de sinergias com outros compostos e testes frente a microrganismos resistentes.

Palavras-chave: óleo essencial; aquicultura; microcrustáceos; saúde única

ABSTRACT

Aquaculture has established itself as an important sector for food security but faces serious challenges due to the occurrence of infectious diseases, especially bacterial diseases, which compromise fish production and sustainability. The indiscriminate use of antibiotics has aggravated the problem of bacterial resistance, making the search for natural and sustainable alternatives urgent. In this context, essential oils emerge as promising compounds due to their antimicrobial and antioxidant activity and relative environmental safety. The present study aimed to evaluate the toxicity, antioxidant activity, and antimicrobial potential of the essential oil of *Psidium guajava*, a species of the Myrtaceae family widely used in traditional medicine and with recognized bioactive properties. Acute toxicity tests were conducted with the microcrustaceans *Daphnia magna* and *Artemia salina*, antioxidant tests using the ABTS and DPPH methods, and *in vitro* antimicrobial tests against Gram-positive (*Streptococcus agalactiae*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*) and Gram-negative (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Klebsiella pneumoniae*). The essential oil was obtained by steam distillation and characterized by gas chromatography coupled with mass spectrometry, revealing a predominantly sesquiterpene composition, with emphasis on β -caryophyllene, β -selinene, and γ -selinene. Toxicity tests showed that the oil has a moderate effect on *D. magna* and *A. salina*, being classified as acute category 2 by the GHS. In terms of antioxidant activity, the oil had a lower effect compared to Trolox and ascorbic acid but showed dose-dependent action and significant free radical neutralization capacity. In relation to antimicrobial activity, greater efficacy was observed against Gram-positive bacteria, especially *S. agalactiae*, a pathogen of high relevance to fish farming, while no significant action was recorded against Gram-negative bacteria, possibly due to the structural barrier of the outer membrane of these microorganisms. The results obtained reinforce the biotechnological potential of *P. guajava* essential oil as a natural alternative for aquaculture, combining selective antimicrobial activity, moderate antioxidant effect, and ecologically acceptable toxicity. It is concluded that this oil represents a promising strategy for aquaculture health management, and further research is recommended, including *in vivo* studies, evaluation of synergies with other compounds, and testing against resistant microorganisms.

Keywords: essential oil; aquaculture; microcrustaceans; one health

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 A importância dos óleos essenciais.....	18
2.2 O uso de óleos essenciais na Aquicultura.....	20
2.2.1 Óleo essencial de <i>Psidium guajava</i>	22
2.3 Atividade Antioxidante de óleos essenciais.....	24
2.3.1 Método DPPH.....	26
2.3.2 Método ABTS.....	27
2.4 Atividade antimicrobiana de óleos essenciais.....	27
2.5 <i>Streptococcus agalactiae</i> no cultivo de tilápia.....	31
2.6 Atividade de toxicidade de óleos essenciais.....	32
2.6.1 Utilização da <i>Daphnia magna</i> em ensaios de toxicidade.....	33
2.6.2 Utilização da <i>Artemia salina</i> em ensaios de toxicidade.....	34
3 OBJETIVOS.....	36
3.1 Objetivo geral.....	36
3.2 Objetivos específicos.....	36
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1 Delineamento e aquisição e composição química do óleo essencial.....	37
4.2 Ensaio de toxicidade aguda do óleo essencial em <i>Daphnia magna</i>	38
4.3 Ensaio de toxicidade aguda do óleo essencial em <i>Daphnia magna</i>	39
4.4 Ensaio de toxicidade aguda do óleo essencial em <i>Artemia salina</i>	40
4.5 Avaliação da atividade antioxidante do óleo essencial.....	41
4.6 Método ABTS.....	41
4.7 Método DPPH.....	42
4.8 Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de <i>Psidium guajava</i>	43
4.9 Cepas bacterianas utilizadas.....	43
4.10 Determinação da Mc Farland.....	43
4.11 Determinação da concentração inibitória mínima (CIM).....	44
4.12 Determinação da concentração bactericida mínima (CBM).....	44
4.13 Análise Estatística.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Caracterização do óleo essencial <i>Psidium guajava</i>	46
5.2 Teste de toxicidade aguda do óleo essencial de <i>Psidium guajava</i> sobre <i>Daphnia magna</i> e <i>Artemia salina</i>	46
5.3 Atividade Antioxidante do óleo essencial <i>Psidium guajava</i>	51

5.4 Atividade antimicrobiana do óleo essencial de <i>Psidium guajava</i>	55
6. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Psidium guajava</i> (Goiabeira). Fonte: BioDiversity4all, 2025.....	22
Figura 2. <i>Daphnia magna</i> . Fonte: O autor.....	33
Figura 3. Náuplio de <i>Artemia salina</i>	35

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1. Mobilidade da <i>Daphnia magna</i> exposta a diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Psidium guajava</i> durante 48 horas.	47
Gráfico 2. Mobilidade da <i>Artemia salina</i> exposta a diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Psidium guajava</i> durante 48 horas.	47
Gráfico 3. Porcentagem de inibição das concentrações do óleo essencial de <i>Psidium guajava</i> , pelos métodos de ABTS e DPPH.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atividade antioxidante de óleos essenciais pelos métodos de análise DPPH e ABTS.	25
Tabela 2. Efeitos inibitórios de óleos essenciais frente a cepas de bactérias de interesse para a Aquicultura e interesse alimentar.	30
Tabela 3. Concentração dos compostos ativos presentes no óleo essencial de Psidium guajava; composição química, área relativa dos picos referentes aos compostos, similaridade, tempo de retenção em minutos e a numeração única atribuída a cada composto químico (CAS)*.	38
Tabela 4. Composição química da água utilizada no cultivo de Daphnia magna.	39
Tabela 5. Leitura da MC Farland das cepas de bactérias utilizadas nos ensaios antimicrobianos do óleo essencial de P.guajava.	44
Tabela 6. Determinação da Concentração letal (CL50) após 48 horas do óleo essencial de Psidium guajava, frente a organismos não alvos.	46
Tabela 7. Atividade antioxidante do óleo essencial de Psidium guajava.	52
Tabela 8. Atividade antibacteriana do óleo essencial de Psidium guajava.	56
Tabela 9. Efeito inibitório de diferentes Óleos essenciais em cepas de bactérias Gram negativas.	57
Tabela 10. Efeito inibitório de diferentes Óleos essenciais em cepas de bactérias Gram positivas.	59

LISTA DE SIGLAS

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
OE	Óleo (os) essencial (ais)
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
CLSI	Clinical & Laboratory Standards Institute
IC	Concentração inibitória
CL	Concentração letal
CIM	Concentração inibitória mínima
CBM	Concentração bactericida mínima
SA	<i>Streptococcus agalactiae</i>

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma das atividades de produção animal que mais cresceu nos últimos anos, em 2022, esta atividade produziu cerca de 94,4 milhões de toneladas de animais aquáticos em todo o mundo (FAO, 2024). O Brasil tem um potencial para a produção de organismos aquáticos, pois é caracterizado por possuir uma extensa faixa litorânea, grandes bacias hidrográficas, reservatórios de água e represas (Valenti *et al.*, 2021).

Nos últimos 10 anos, ocorreu um aumento de aproximadamente 74% na produção de peixe no Brasil, o país produziu 887.029 toneladas de peixes de cultivo em 2023, sendo a tilápia o peixe mais cultivado nas pisciculturas brasileiras (Peixe BR, 2024). Com o crescimento significativo na produção de tilápia pela adoção de tecnologias nos sistemas aquícolas semi-intensivo e intensivo (Mugwanya *et al.*, 2022), ocorre também o surgimento de doenças, ocasionando mortalidade e perdas econômicas (Dawood e Koshio, 2018).

O surto de doenças no cultivo de peixes causado por bactérias é um fator limitante para a aquicultura, que impacta negativamente o setor da piscicultura em todo o mundo (Zhang *et al.*, 2022). A estreptococose é uma doença causada pela bactéria do gênero *Streptococcus* spp., a cepa de *Streptococcus agalactiae*, é classificada no soro grupo B, Gram-positivo, se estrutura em forma de cocos, e está entre as bactérias mais frequentemente isoladas em peixes (Marcusso *et al.*, 2014).

As infecções causadas por bactérias Gram positivas e Gram negativas têm impacto significativo na saúde única, pois são os micro-organismos responsáveis pela ampla variedade de doenças infecciosas (Ferreira, 2023). Entre os principais sinais clínicos em peixes acometidos pela bactéria *Streptococcus agalactiae*, pode-se destacar a anorexia, letargia, natação errática, exoftalmia, opacidade uni ou bilateral da córnea, hemorragia intraocular, hemorragia no opérculo e base das nadadeiras, ulceração na epiderme e morte (Verri, 2022).

Com o uso indiscriminado de antibióticos na piscicultura e a resistência bacteriana, a adição desses compostos no meio de cultivo causa efeitos negativos a saúde humana, animal e riscos ambientais (Yousefi *et al.*, 2022). Devido a isso,

diversos estudos têm focado em tratamentos com materiais alternativos, principalmente os derivados de plantas (Reverter *et al.*, 2021).

A utilização de óleos essenciais (OE) está ocupando um lugar de destaque na sanidade animal, principalmente em peixes, pois estão se caracterizando como fontes de substâncias biotivas frente aos micro-organismos (Awad e Awaad 2017). Além disso, óleos essenciais na aquicultura é um potencial alternativa para a substituição dos compostos sintéticos como agentes antimicrobianos e antioxidantes (Cutrim *et al.*, 2019). Pois são substâncias menos agressivas à saúde do homem, animal e ao ambiente (Awad e Awaad, 2017).

Além das atividades antimicrobianas, os óleos essenciais despertam interesse nas diversas áreas da farmacologia, por possuírem diversas propriedades como antioxidante, redução do açúcar no sangue e fortalecimento do sistema imunológico (Dawood *et al.*, 2021). Pois, estudos apontam para o uso de óleos essenciais como imunoestimulantes e antioxidante com aplicações em peixes (Verdi *et al.*, 2024; Hajirezaee *et al.*, 2024).

O estresse oxidativo é ocasionado quando ocorre um desequilíbrio entre espécies reativas de oxigênio (ROS) e as defesas antioxidantes do corpo, o que causa danos celulares e contribui para o desenvolvimento de condições inflamatórias (Reddy *et al.*, 2025). Sendo de importância salienta que os constituintes dos OE são capazes impedir essas inflamações através da eliminação dos radicais livres, o que fortalece o potencial de utilização dos óleos essenciais (Verdi *et al.*, 2024).

Além disso, a toxicidade dos óleos essenciais é um fator importante a ser avaliado, pois pode ser influenciada por diversos fatores, desde a genética da planta até a região geográfica de cultivo (Afonso *et al.*, 2024). É importante ressaltar que a metodologia de extração dos OE também influencia na quantificação dos compostos (Thangaleela *et al.*, 2022).

Os produtos de origem vegetal são considerados seguros, embora as plantas possam produzir e acumular diversos compostos que podem ter efeitos tóxicos no meio ambiente (Ifeoma e Oluwakanyinsol, 2013; Ofosu *et al.*, 2020). Portanto a as avaliações toxicológicas de óleos essenciais têm recebido cada vez mais atenção nos últimos anos (Martinez *et al.*, 2022).

Com mais de 3600 espécies vegetais e aproximadamente 140 gêneros espalhadas pelo mundo, a família Myrtaceae Jussieu, destaca-se como a de maior uso fitoterápico (Trindade *et al.*, 2021). Dentro desta família, a *Psidium* está entre as quatro espécies com maior importância econômica no Brasil, com frutos caracterizando sabores exóticos, e, além disso, possui em suas folhas abundância de constituintes, tais como fenólicos e óleo essencial (Durães *et al.*, 2015).

Os estudos realizados com o óleo essencial das folhas de *Psidium guajava* identificaram os constituintes α -humuleno, β -cariofileno, *trans*-cariofileno, limoneno, epóxido de humuleno II, óxido de cariofileno, α -selineno, aromadendreno, selin-11-en-4 α -ol, 1,8-cineol, *trans*-nerolidol, β -bisaboleno, α -pineno e β -sitosterol, (Alves *et al.*, 2006; Sahal *et al.*, 2024) sendo atribuídos importantes atividades biológicas, com destaque no potencial antimicrobiano, antifúngico e antioxidante (Souza, 2015; Silva, 2019; Juarez *et al.*, 2023).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância dos óleos essenciais

A demanda em todo o mundo por óleos essenciais, cresceu nos últimos 10 anos em diversos setores da indústria (Gharby *et al.*, 2020). Os óleos essenciais são substâncias extraídas das plantas encontrados em todo o mundo, sendo considerados essenciais na área da medicina tradicional (Ainane *et al.*, 2020).

Os óleos essenciais são caracterizados como líquidos voláteis, transparentes ou coloridos, que são solúveis em solventes orgânicos (Dawood *et al.*, 2022). Eles consistem em misturas complexas de terpenoides, sesquiterpenos e monoterpenos, além de seus compostos oxigenados (Ainane *et al.*, 2020). Dessa forma, os óleos essenciais possuem diversas moléculas, como ácidos, óxidos, e compostos contendo nitrogênio e enxofre (Elabboubi *et al.*, 2019).

O método de extração dos óleos essenciais é realizado por destilação a vapor, mas existem outras maneiras para obter os OE, todos os métodos de extração são técnicas avançadas, que envolvem o controle de processos como moagem, uso de solventes, variações de temperatura, pressão e umidade (Miura *et al.*, 2021).

A composição química dos óleos essenciais é influenciada por diversos fatores, como a localização geográfica, período do ano de coleta das suas folhas, a composição do solo, o método de cultivo, armazenamento e a técnica de extração utilizada (Abdoul-Latif *et al.*, 2022). Mas os óleos essenciais são reconhecidos como promissores no uso como compostos bioativos, tanto isoladamente quanto em combinação com outros compostos químicos ou biológicos (Pan *et al.*, 2023).

O interesse científico pelos óleos essenciais surgiu devido às suas diversas propriedades medicinais, destacando principalmente seu potencial antimicrobiano (Dawood *et al.*, 2021). Essa tendência crescente destaca a necessidade de agentes antibacterianos e antifúngicos alternativos que sejam eficazes e com baixo impacto na saúde única (Juarez *et al.*, 2023).

Nesse contexto, os óleos essenciais (OE) surgem como uma alternativa aos tratamentos antimicrobianos tradicionais (Zhu, 2020). O seu efeito na bactéria ocorre principalmente pela alteração da membrana e da parede celular microbiana, levando à perda de material citoplasmático (Dawood *et al.*, 2022). As propriedades biológicas

dos OE estão associadas à sua composição química complexa e à presença de fenóis, que são compostos promissores no combate a infecções bacterianas e fúngicas (Barreto *et al.*, 2018; Reverter *et al.*, 2020).

É importante ressaltar que a administração de compostos quimioterápicos pode gerar riscos tóxicos não apenas para os animais tratados, mas também para manipuladores, consumidores e organismos não alvos (Rico e Brink, 2014). Esses compostos podem se acumular no ambiente de diversas formas, gerando resíduos no ambiente de produção animal (Barreto *et al.*, 2018), enquanto outra parte é excretada pelos organismos após a ingestão ou durante banhos terapêuticos, além do descarte inadequado de resíduos (Boxall, 2010).

Embora as concentrações dos OE no ambiente tendam a ser baixas, na ordem de µg e mg, o ambiente está constantemente exposto a esses compostos, resultando em um potencial acúmulo a longo prazo (Wei *et al.*, 2012). Além disso, o uso de compostos sintéticos veterinários também pode favorecer o surgimento de microrganismos patogênicos resistentes, o que leva à restrição do uso de determinadas substâncias em diversos países (Zhu, 2020).

Devido a isso, para evitar tais impactos, a utilização de componentes de plantas medicinais tem crescido como alternativa aos medicamentos veterinários, sendo reconhecidos por sua segurança, baixa toxicidade e mínimo impacto ambiental (Reverter *et al.*, 2020; Zhu, 2020). As pesquisas sobre esse tema têm incentivado ao uso de alternativas naturais, e a busca por novos componentes bioativos também tem ganhado destaque (Barriga *et al.*, 2020; Reverter, *et al.*, 2020).

Os óleos essenciais têm sido amplamente estudados por suas diversas propriedades, além da atividade antimicrobiana, os OE possuem atividade antiparasitária, inseticida e repelente, além de outras aplicações terapêuticas que servem como base para diversos estudos, como cicatrizante e antioxidante (Elumalai *et al.*, 2020; Sutili *et al.*, 2018).

Na produção animal, os OE têm sido estudados devido aos seus efeitos positivos no desempenho produtivo (Omonijo *et al.*, 2017), na sobrevivência dos animais e no fortalecimento do sistema imunológico (Zeng *et al.*, 2015). Na aquicultura, os OE são utilizados em estudos para o tratamento de parasitose e bacterioses com aplicações diretamente na água e como aditivos alimentares com

propriedades imunestimulantes e promotoras de crescimento (Valladão *et al.*, 2017; Sutili *et al.*, 2017).

Os óleos essenciais possuem em sua composição substâncias naturais, biodegradáveis e com pouco potencial em causar resistência bacteriana (Bakkali *et al.*, 2008; Yap *et al.*, 2014). Ao contrário, o uso de desinfetantes e antibióticos de forma indiscriminada tem sido visto com crítica, devido aos seus efeitos tóxicos (Rico e Van den Brink, 2014; Dawood *et al.*, 2020).

Portanto, com mais de 3600 espécies vegetais e aproximadamente 140 gêneros espalhadas pelo mundo, a família Myrtaceae Jussieu, destaca-se como a de maior uso fitoterápico (Montiel *et al.*, 2023). Dentro desta família, a *Psidium* está entre as quatro espécies com maior importância econômica do Brasil, com frutos caracterizando sabores exóticos, e, além disso, possui em suas folhas uma diversidade de constituintes, como os fenólicos e óleo essencial (Hossain *et al.*, 2024).

O óleo essencial das folhas de *Psidium guajava* possuem diversos constituintes sendo o α -humuleno, β -cariofileno, limoneno, óxido de cariofileno, α -selineno, aromadendreno, 1,8-cineol, trans-nerolidol, β -bisaboleno, α -pineno e β -sitosterol, os encontrados com maior frequência (Sahal *et al.*, 2024). Portanto, esses compostos são atribuídos a diversas atividades com potencial antimicrobiano, antioxidante, inseticida além de larvicida (Souza, 2019; Silva, 2019).

2.2 O uso de óleos essenciais na Aquicultura

A intensificação da aquicultura exige um maior uso de rações artificiais, tratamento e reutilização de água, além de densidades populacionais mais elevadas nos cultivos, o que pode causar impacto ambiental dos ecossistemas aquáticos (Hasan *et al.*, 2019; Dawood *et al.*, 2020). Esse cenário provoca aumento do estresse nos organismos aquáticos e afeta a qualidade do ambiente, favorecendo a atividade de patógenos infecciosos no cultivo (Martos *et al.*, 2020).

Como resultado, há uma queda na imunidade e nas respostas genéticas relacionadas ao sistema imunológico desses animais (Dawood *et al.*, 2020), além do aumento das infestações parasitárias (Brasil *et al.*, 2019), o que pode desencadear surtos de doenças infecciosas e a morte das espécies cultivadas. As perdas globais

na aquicultura, podem variar de 1,05 a 9,58 bilhões de dólares por ano devido a doenças infecciosas (Gonzales *et al.*, 2020).

Para combater doenças na aquicultura, os antibióticos sintéticos, medicamentos químicos, vacinas e quimioterápicos têm sido cada vez mais utilizados (Paray *et al.*, 2020; El-Basuini *et al.*, 2021). No entanto, o uso dessas substâncias pode causar a morte em massa de bactérias probióticas (Hasan *et al.*, 2018) favorecendo a criação de patógenos resistentes aos medicamentos e deixando resíduos nos peixes, que podem ser transmitidos aos humanos (Zhao *et al.*, 2020; Dawood *et al.*, 2021).

Esses desafios são as maiores dificuldades relacionados à sustentabilidade da aquicultura (Shourbela *et al.*, 2021), o que torna importante a busca por tratamentos mais naturais e sustentáveis para combater as doenças infecciosas (Abdel-Latif *et al.*, 2020). Estudos para o uso de plantas medicinais e seus derivados na aquicultura tem crescido cada vez mais ao redor do mundo, principalmente por conta de suas características biodegradáveis pela facilidade de cultivo e por não deixarem resíduos acumulados nos tecidos dos animais (Valentim *et al.*, 2018; Srichaiyo *et al.*, 2020; Sadeghi *et al.*, 2020).

Dentre esses resultados, os OE destacam-se como metabólitos das plantas medicinais, com propriedades bioativas que os tornam uma opção promissora para uma aquicultura sustentável (Magouz *et al.*, 2021). Os principais compostos químicos presentes nos OE incluem terpenos, terpenóides, fenilpropenos e isotiocianatos (Hyldgaard e Meyer, 2012; Reverter *et al.*, 2020; Kwanza *et al.*, 2025).

Esses óleos atuam principalmente nas membranas e no citoplasma das bactérias, interferindo em seus processos e alterando sua estrutura celular (Calo *et al.*, 2015). Em geral, as bactérias Gram-positivas são mais suscetíveis aos óleos essenciais do que as Gram-negativas, já que os ácidos lipoteicóicos presentes em suas membranas facilitam a quebra da membrana celular (Nazzaro *et al.*, 2013; Zanetti *et al.*, 2015).

As doenças causadas por bactérias são grandes desafios para a aquicultura, a aplicação de OE ou outros produtos de origem vegetal para combater esses problemas tem sido indicada como uma alternativa inovadora e sustentável (Chagas *et al.*, 2020). Muitas pesquisas são realizadas para avaliar o uso de OE na

preservação de peixes e crustáceos, com foco no desempenho zootécnico, melhoramento do sistema imunológico e aumento da resistência a doenças para o ambiente de cultivo (Santos *et al.*, 2017; Nizio *et al.*, 2018).

Além de combater atividades microbianas patogênicas e reduzir a infestação parasitária (Majolo *et al.*, 2019; Metin e Biçer, 2020; Gonzales *et al.*, 2020). É importante salientar que com os avanços nos estudos com os OE na Aquicultura, os óleos essenciais também podem ser utilizados como conservantes naturais, redutores de estresse, anestésicos (Silva *et al.*, 2019; Hoseini, Mirghaed, Yousefi, 2019).

2.2.1 Óleo essencial de *Psidium guajava*

A *Psidium guajava*, popularmente conhecida como goiabeira (Figura 1), é uma planta medicinal que faz parte da família Myrtaceae, esta família possui várias espécies, muitas delas produtoras de óleos essenciais (Weli *et al.*, 2019). A família Myrtaceae, à qual a goiabeira pertence, é composta por cerca de 27 gêneros e aproximadamente 1.018 espécies, são árvores e arbustos perenes, encontradas principalmente em regiões tropicais e subtropicais (Flora Brasil, 2020).



Figura 1. *Psidium guajava* (Goiabeira). Fonte: BioDiversity4all, 2025

As espécies do gênero *Psidium* são amplamente reconhecidas na pesquisa etnobotânica por suas propriedades medicinais e são utilizadas no tratamento de diversas doenças em humanos (Abreu *et al.*, 2015; Santana *et al.*, 2016; Yazbek *et al.*, 2019). Alguns desses usos populares já foram confirmados por meio de estudos científicos (Macêdo *et al.*, 2018; Macaúbas-Silva *et al.*, 2019). Além de suas propriedades medicinais, as plantas desse gênero também têm frutos de interesse

comercial para a indústria alimentícia (Franzon *et al.*, 2009) e suas folhas são ricas em óleos essenciais (Weli *et al.*, 2019).

Entre as espécies de destaque está a *Psidium guajava* L., que tem sido objeto de diversas pesquisas (Ribeiro *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2018; Weli *et al.*, 2019; Hossain *et al.*, 2024), devido a sua ampla distribuição em todo o Brasil, onde é naturalizada (Flora do Brasil, 2020). Portanto, Raj e colaboradores (2023), afirmam que os óleos essenciais extraídos da *Psidium guajava* L. (goiabeira) são reconhecidos por sua eficácia e ampla variedade de propriedades bioativas.

Os estudos farmacológicos realizados com a casca, folhas e frutos da *Psidium guajava* (goiabeira) mostram que a planta possui atividades antipiréticas, anti-inflamatórias, antibacterianas e hipoglicêmicas (Chaturvedi *et al.*, 2021). Isso deve-se a diversidade de seus componentes terapêuticos, pois pesquisas científicas têm sido conduzidas para comprovar suas propriedades nutracêuticas e farmacológicas (Ugbogu *et al.*, 2022).

Os principais compostos bioativos presentes nas folhas da goiabeira são os flavonoides, polifenóis e taninos, que possuem propriedades antimicrobianas e imunomoduladoras (Kumar *et al.*, 2021). Esses compostos têm demonstrado a capacidade de fortalecer o sistema imunológico e combater infecções bacterianas, tornando a sua utilização uma opção promissora na aquicultura (Dewi *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2023).

É importante destacar o uso dos óleos essenciais das folhas da goiabeira no campo farmacêutico devido suas propriedades antimicrobianas, demonstrando forte atividade contra uma variedade de patógenos bacterianos e fúngicos (Daswan *et al.*, 2017; Naseer *et al.*, 2018). Com base nas qualidades do OE da *P. guajava*, tem crescido o número de estudos com extratos e óleos de folhas de goiabeira na aquicultura (Hossain *et al.*, 2024).

Sendo assim, nos últimos anos a utilização de componentes presentes nas folhas da goiabeira surge como promissores para melhorar a saúde dos peixes e aumentar sua resistência a doenças (Abdel-Latif *et al.*, 2020). Podendo aproveitar seus benefícios nutricionais e farmacêuticos, pois a utilização de diferentes plantas medicinais tem sido apontada como um fator que pode melhorar a sanidade de peixes

e estimular seu desempenho zootécnico (Awad e Awaad, 2017, Reverter *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2021).

2.3 Atividade Antioxidante de óleos essenciais

O estresse oxidativo é caracterizado quando ocorre um desequilíbrio entre a produção de radicais livres e a capacidade do organismo de neutralizá-los (Cianciullo *et al.*, 2021). Esta ação está associada ao desenvolvimento de diversas condições patológicas, podendo comprometer a saúde e o funcionamento celular (Garcia *et al.*, 2022).

Diante da crescente preocupação global com doenças relacionadas ao estresse oxidativo, os antioxidantes desempenham um papel essencial nas indústrias farmacêutica e alimentícia, pois atuam prevenindo ou inibindo a oxidação das moléculas (Bhalodia *et al.*, 2013; Lupia *et al.*, 2024).

Embora possam ser sintéticos ou naturais, os antioxidantes de origem natural têm recebido atenção devido aos possíveis efeitos adversos dos antioxidantes sintéticos (Lourenço *et al.*, 2019). Extraídos principalmente de plantas medicinais, os óleos essenciais apresentam alto potencial para diminuir e até substituir os antioxidantes sintéticos, pois os OE são ricos em fenólicos, vitaminas e carotenoides, substâncias reconhecidas por sua elevada atividade antioxidante (Manassis *et al.*, 2020).

Os óleos essenciais são constituídos por uma complexa mistura de terpenos, compostos fenólicos, álcoois, cetonas e ésteres, apresentam propriedades antioxidantes que os tornam eficazes na prevenção de doenças associadas ao estresse oxidativo (Zhu *et al.*, 2024). Além de atuarem contra a autooxidação e deterioração (Carocho *et al.*, 2018).

Dessa forma, vários óleos essenciais (OE) têm ganhado popularidade em diversos setores devido às suas bioatividades (**Tabela 1**), principalmente as suas propriedades antioxidantes (Lupia *et al.*, 2024). Tanto as Universidades quanto a indústria têm investido em pesquisas para explorar o potencial dos óleos essenciais como antioxidantes no desenvolvimento de aplicações medicinais e na conservação de alimentos (Rodrigues *et al.*, 2024).

Tabela 1. Atividade antioxidante de óleos essenciais pelos métodos de análise DPPH e ABTS.

Óleo essencial	Método/Concentração inibitória		Autor
	DPPH	ABTS	
<i>Psidium sobralianum</i>	5,99 mg/mL	-	
<i>Psidium laruotteanum</i>	52,33 mg/mL	-	Macedo et al., 2022
<i>Psidium salutare</i>	54,34 mg/mL	-	
<i>Prangos pabularia</i>	100 µg/mL	-	Banday et al., 2022
<i>Laureliopsis philippiana</i>	>1000 µg/mL	>1000 µg/mL	Bruna et al., 2022
<i>Rosmarinus officinalis L.</i>	350 µg/mL	-	Becer et al., 2023
<i>Thymus serpyllum L.</i>	0,75 mg/mL	0,34 mg/mL	Salaria et al., 2023
<i>Tetraclinis articulata</i>	19,8 x 10 ³ µg/mL	1,67 x 10 ³ µg/mL	Khatib et al., 2024
<i>Camomila</i>	100 µg/mL	-	Alahmady et al., 2024
<i>Ocimum basilicum L.</i>	29,89 mg/mL	9,60 mg/mL	Hernández et al., 2024
<i>Lippia alba</i>	26,8 µl/mL	-	Joshi et al., 2018
<i>Zingiber officinale</i>	2,73 mg/mL	-	
<i>Trikatu</i>	13,74 mg/mL	-	
<i>Piper retrofractum</i>	20,97 mg/mL	-	Pramitha et al., 2025
<i>Piper nigrum</i>	24,44 mg/mL	-	
<i>Cymbopogon citratus</i>	68,0 µmol TE/mg	76,8 µmol TE/mg	Magri et al., 2025

Legenda: DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazila) e ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)): Radicais livres estáveis. Fonte: O autor.

A atividade antioxidante dos óleos essenciais pode ocorrer por dois mecanismos distintos (Amorati *et al.*, 2013). O primeiro mecanismo envolve os terpenos fenólicos, que funcionam como doadores de hidrogênio, interrompendo a propagação de radicais livres durante a autoxidação (De Sousa *et al.*, 2023). O segundo mecanismo, relacionado aos terpenos não fenólicos, atua como antioxidantes de aprimoramento de terminação, os terpenos oxidam-se junto aos lipídios (Cravero *et al.*, 2024).

Com o crescimento da população mundial, o desafio de assegurar a segurança alimentar e o acesso adequado a proteínas se torna cada vez mais importante (Orzuna e Rivera, 2024). Nesse contexto, a aquicultura tem se destacado como uma indústria fundamental para enfrentar essa questão, apresentando um crescimento significativo nas últimas décadas (FAO, 2024).

Os óleos essenciais podem fortalecer a imunidade inata e a capacidade antioxidante, desempenhando um papel fundamental na prevenção e eliminação de patógenos (Mohammadi *et al.*, 2022). O uso de óleo do coentro (*Coriandrum sativum* L) mostrou melhorar as atividades antioxidantes, as respostas imunológicas inatas e aumentou a resistência contra *Aeromonas hydrophila* em peixes (Das *et al.*, 2023).

Os compostos químicos dos óleos essenciais têm atraído atenção devido ao seu efeito estável, menor resistência dos patógenos, baixa toxicidade frente aos organismos e o meio ambiente, além de sua produção de baixo custo e aplicação economicamente viável (Reverter *et al.*, 2021),

Mas, é importante ressaltar que os óleos essenciais apresentam algumas limitações para uso na aquicultura, como a falta de estabilidade e o impacto nas características organolépticas da carne de peixe (Luis *et al.* 2019), a nanoencapsulação desses óleos pode solucionar esses problemas, pois protege os óleos essenciais contra a oxidação, melhorando sua disponibilidade e eficácia (Masoomi Dezfooli *et al.*, 2019).

2.3.1 Método DPPH

O 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) não é um radical livre de ocorrência natural, ele apresenta uma relativa estabilidade quando comparado às espécies reativas de oxigênio (Heim *et al.*, 2002). Este composto é amplamente utilizado como uma estratégia para quantificar a atividade antioxidante total (AAT) em substâncias (Polez *et al.*, 2023).

A utilização do DPPH em ensaios é um método espectroscópico que monitora a diminuição da absorbância de uma solução de radical DPPH a 515 nm (Markus *et al.*, 2025). O teste avalia a capacidade dos antioxidantes em eliminar os radicais livres

DPPH. O elétron ímpar presente no átomo de nitrogênio do DPPH é reduzido pela transferência de um átomo de hidrogênio dos antioxidantes, resultando na neutralização da espécie reativa (Rana *et al.*, 2024).

2.3.2 Método ABTS

O radical catiônico ABTS^{•+} é uma espécie sintética frequentemente utilizada em ensaios colorimétricos para avaliar a atividade antioxidante de compostos sintéticos e naturais (Ilyasov *et al.*, 2020). O ensaio utilizando o ABTS^{•+} é um método colorimétrico em que o radical ABTS^{•+} sofre uma diminuição de cor na presença de antioxidantes, e geralmente preparado em solução com potássio (Bessada *et al.*, 2015).

Durante esse processo, a reação entre o radical ABTS e os antioxidantes resulta na redução da intensidade da coloração, permitindo a quantificação da atividade antioxidante da substância analisada (Egbewale *et al.*, 2025).

2.4 Atividade antimicrobiana de óleos essenciais

A aquicultura é um setor em expansão que desempenha um papel fundamental na segurança alimentar global (FAO, 2024). Porém, um dos maiores desafios enfrentados por este setor é o impacto econômico causado pela alta taxa de mortalidade dos peixes, na grande maioria resultante de surtos de doenças infecciosas (Swathy *et al.*, 2018). Sendo as bactérias os principais agentes infecciosos presentes no cultivo (Birkbeck *et al.*, 2011; Frans *et al.*, 2011).

A presença de micro-organismos patogênicos é um risco tanto para a saúde humana quanto animal (Dong He *et al.*, 2024). Agentes infecciosos como as bactérias, podem se espalhar em diferentes etapas da produção de alimentos e da aquicultura, elas representam uma ameaça, podendo comprometer a segurança alimentar e afetar toda a cadeia produtiva (Nisa *et al.*, 2023).

Os óleos essenciais são compostos naturais formados por uma variedade de metabólitos secundários, e são conhecidos por suas propriedades antimicrobianas (Zhang e Piao, 2023). Devido à sua eficácia no combate a micro-organismos esses óleos têm se destacado como alternativas promissoras, especialmente por

apresentarem poucos efeitos colaterais (Chukwuma *et al.*, 2023). Sendo a maioria líquidos aromáticos e voláteis.

Diversos OE apresentam atividade antimicrobiana (Millezi *et al.*, 2016; Reda *et al.*, 2020). Porém, apesar de seu potencial uso em diferentes aplicações, apenas uma pequena parte desses compostos é explorada comercialmente (Ragno *et al.*, 2020). É possível que a principal ação antimicrobiana do OE está relacionada à sua interação com a membrana e a parede celular bacteriana, mas são necessárias investigações mais detalhadas para compreender os diversos mecanismos de ação desses compostos (El-Tarabily *et al.*, 2021).

Os benefícios dos óleos essenciais estão principalmente associados à presença de terpenos, terpenoides e fenilpropanoides, que constituem os principais componentes dessas misturas bioativas (Zhang e Piao, 2023). A atividade antimicrobiana dos OE está relacionada com a sua capacidade de romper a membrana bacteriana, inibindo as funções celulares essenciais (Bajpai *et al.*, 2012).

Os compostos fenólicos presentes nos óleos essenciais desempenham papel fundamental na ação antimicrobiana contra patógenos (Zang e Piao 2023). Esses compostos promovendo alterações na permeabilidade celular, causando danos às membranas celulares microbiana, disfunção celular, causando vazamento do conteúdo intracelular, levando à inibição do crescimento microbiano (Bajpai *et al.*, 2012; Srivastava *et al.*, 2022).

Diversos OE, como o óleo essencial de pimenta do reino (*Piper nigrum* L), cravo (*Syzygium aromaticum*) e tomilho (*Thymus vulgaris*), podem ser utilizados e são reconhecidos pela segurança em seu uso como antimicrobianos (Swathy *et al.*, 2018; Valdivieso-Ugarte *et al.*, 2021). O óleo essencial de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) possui efeito antimicrobiano contra a *Pseudomonas aeruginosa*, um patógeno de interesse para a aquicultura (Swathy *et al.*, 2018).

O óleo essencial de cravo (*Syzygium aromaticum*), possui um aroma característico e picante, além de apresentar significativa atividade antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* (Li *et al.*, 2025). O óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*), é composto por uma diversidade de substâncias químicas e apresenta uma atividade antimicrobiana potente, sendo eficaz contra bactérias tanto Gram-positivas quanto Gram-negativas (Kowalczyk *et al.*, 2020).

Além disso, estudos realizados com os óleos essenciais de manjeriço (*Ocimum basilicum* L), lavanda (*Lavandula officinalis*) e citronela (*Cymbopogon nardus*), demonstraram efeitos inibitórios satisfatórios frente a bactérias de interesse para aquicultura e indústria alimentícia (Ciocarlan *et al.*, 2021; Srivastava *et al.*, 2022; Dong-yun, 2022).

A utilização de óleos essenciais como agentes antimicrobianos surge como uma alternativa promissora a cada ano, para enfrentar o crescente desafio global da resistência aos antibióticos, podendo contribuir para a redução dos impactos na saúde única e dos custos associados a esse problema (Vuković *et al.*, 2024) (**Tabela 2**).

1 **Tabela 2.** Efeitos inibitórios de óleos essenciais frente a cepas de bactérias de interesse para a Aquicultura e interesse alimentar.

Óleo essencial/ constituinte	Bactéria alvo do estudo	Conc./ und inibitória	Autor
<i>Psidium guajava</i> L.	<i>Streptococcus agalactiae</i>	6,25 mg/ml	Silva et al., 2016
<i>Psidium guajava</i> L	<i>Staphylococcus aureus</i>	6,75 µg/ml	Soliman et al., 2016
<i>Caucalis platycarpus</i> L.	<i>Bacillus subtilis</i>	400 µg/mL	Mohamadipour et al. 2018
<i>Eryngium caucasicum</i> Trautv.	<i>Bacillus subtilis</i>	600 µg/mL	Mohamadipour et al. 2018
<i>Lippia alba</i>	<i>Streptococcus agalactiae</i>	1,666.7 µg/mL ⁻¹	Majolo et al., 2018
<i>Lippia sidoides</i>	<i>Streptococcus agalactiae</i>	312.5 µg mL ⁻¹	Majolo et al., 2018
<i>Mentha piperita</i>	<i>Streptococcus agalactiae</i>	1,250 µg mL ⁻¹	Majolo et al., 2018
<i>Lavandula x intermedia</i>	<i>Streptococcus agalactiae</i>	18 µg/mL.	Iseppe et al., 2020
<i>Mentha arvensis</i> L	<i>Streptococcus agalactiae</i>	18 µg/mL.	Iseppe et al., 2020
<i>Laurus nobilis</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	12,50 mg/mL	Özogul et al., 2022
<i>Laurus nobilis</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	12,50 mg/mL	Özogul et al., 2022
<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	6,25 mg/ml	Ozogul et al., 2020
<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	6,25 mg/ml	Ozogul et al., 2020
<i>Piper nigrum</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	140 nl ml ⁻¹	Myszka et al., 2019
<i>Laurus nobilis</i>	<i>Escherichia coli</i>	800 µg/ml	Thielmann, Muranyi, Kazman, 2019.
<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Escherichia coli</i>	0,737 mg/ml	He et al., 2024
<i>Syzygium aromaticum</i>	<i>Escherichia coli</i>	1.266 mg/ml	He et al., 2024
<i>Rosmarinus officinalis</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	32,25 µl /mL	Mourabiti et al., 2024
<i>Lavandula angustifolia</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	125 µl /mL	Mourabiti et al., 2024
<i>Salvia sclarea</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20 µl/ml	Srivastava et al., 2023
<i>Melaleuca alternifolia</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5 µl/ml	Srivastava et al., 2023
<i>Lavandula stoechas</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	2,50 mg/ml	Soulaimani et al., 2025
<i>Thymus pallidus</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	0,625 mg/ml	Soulaimani et al., 2025

2 Legenda: Conc./ und inibitória: Concentração inibitória mínima. Fonte: O autor

2.5 *Streptococcus agalactiae* no cultivo de tilápia

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) se tornou a segunda espécie de peixe mais cultivada na aquicultura em todo o mundo em 2022, com uma produção anual de 5,3 milhões de toneladas (FAO, 2024). A tilápia é considerada uma espécie rústica, devido a sua capacidade de adaptação em diversas condições de cultivo, mas nos últimos anos enfrenta ameaças significativas de doenças bacterianas (Zhu *et al.*, 2024).

A estreptococose é uma das principais doenças de origem bacteriana que causa perdas econômicas significativas na aquicultura em todo o mundo, especialmente no cultivo de tilápia (Zhang *et al.*, 2022). O primeiro registro na literatura sobre o surto da estreptococose em piscicultura foi no Japão, na criação da truta arco-íris em 1970, logo após foram surgindo casos dessa infecção em outras espécies de peixes em diversos países (Silva *et al.*, 2019).

Essa doença tem prevalência em regiões temperadas e tropicais, podendo atingir taxas de mortalidade na produção de tilápia, principalmente durante a estação de verão (Zhu *et al.*, 2024). A estreptococose é causada pelas bactérias do gênero *Streptococcus spp.*, sendo a *Streptococcus agalactiae* e *S. iniae* os principais agentes etiológicos causadores de perdas no cultivo de tilápia (MSD Animal Health, 2012).

A *S. agalactiae*, é uma bactéria gram-positiva pertencente ao grupo de bactérias do soro tipo B, é um micro-organismo que causa doenças graves em humanos, mamíferos e peixes (Leita *et al.*, 2017). Esse micro-organismo é um problema tanto para peixes de água doce quanto para os de água salgada, especialmente em sistemas de cultivo, podendo causar elevadas perdas econômicas na aquicultura (Lukman *et al.*, 2023).

O *S. agalactiae*, é um agente patogênico de importância para a aquicultura pois é reconhecido como causador de impactos significativos globalmente neste setor produtivo (Zhu *et al.*, 2023). O surgimento de infecções causadas por esse micro-organismo tem provocado prejuízos à criação de tilápias (Zhu *et al.*, 2024). A incidência dessas infecções apresenta taxas de mortalidade acumulada que podem atingir até 90% na produção (Liu *et al.*, 2016; Zhu *et al.*, 2024).

A *S. agalactiae* pode causar septicemia e meningoencefalite em peixes, o que a torna uma ameaça para a produção aquícola, os impactos podem ser significativos na tilapicultura (Leal *et al.*, 2019). No Brasil, essa bactéria está presente em diversos estados Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Ceará, Mato Grosso, Pernambuco, Goiás e Espírito Santo, onde os surtos ocorrem com frequência, gerando prejuízos significativos para os produtores (Barony *et al.*, 2017).

2.6 Atividade de toxicidade de óleos essenciais

O interesse por extratos brutos e óleos essenciais (OE) de plantas aromáticas e medicinais tem crescido, isso se dá principalmente por suas propriedades bioativas (Afonso *et al.*, 2024). Os óleos essenciais extraídos de plantas são misturas naturais complexas de compostos voláteis, que as plantas produzem como parte de seu metabolismo secundário (Nwanade *et al.*, 2022).

As avaliações toxicológicas de óleos essenciais têm recebido cada vez mais atenção nos últimos anos (Martinez *et al.*, 2022). Os produtos de origem vegetal são considerados seguros, embora as plantas possam produzir e acumular diversos compostos que podem ter efeitos tóxicos no meio ambiente (Ifeoma e Oluwakanyinsol, 2013; Ofosu *et al.*, 2020).

A toxicidade dos óleos essenciais pode ser influenciada por vários fatores, como a genética da planta, sua classificação taxonômica, a parte utilizada, ou a região geográfica de cultivo (Afonso *et al.*, 2024). Além dos métodos de produção e análise empregados para extrair e quantificar esses compostos (Thangaleela *et al.*, 2022).

Antes que possam ser feitas recomendações para sua aplicação em campo, é necessário adquirir conhecimento sobre os efeitos toxicológicos de produtos vegetais e seus mecanismos subjacentes por meio de estudos laboratoriais (Piri *et al.*, 2020). Pois os estudos sobre os efeitos tóxicos ambientais de produtos vegetais ainda não apresentam um consenso (Afonso *et al.*, 2024).

Embora algumas pesquisas indiquem a presença de toxicidade, tanto em curto quanto em longo prazo (Ifeoma e Oluwakanyinsol, 2013; Ofosu *et al.*, 2020; Yap *et al.*, 2021). Os estudos que investigam a potencial toxicidade de óleos essenciais

geralmente focam nos organismos não-alvos, utilizando testes de toxicidade *in vitro* para avaliar os seus efeitos (Miura *et al.*, 2021).

Os organismos aquáticos estão entre os mais utilizados nos testes toxicológicos associados a produtos de origem vegetal, com o objetivo de avaliar os seus efeitos no meio ambiente (Amoatey e Baawain, 2019). Os testes de toxicidade com *Daphnia magna* e peixes são os mais utilizados para avaliar a toxicidade de OE (Ferraz *et al.*, 2022). Assim como a *D. magna*, a *Artemia sp.* também é um dos organismos que podem ser utilizado nesses estudos (Everton *et al.*, 2020).

A avaliação da toxicidade dos OE é medida pela concentração de efeito (50%) ou pela concentração letal (CL₅₀), parâmetros de estimadas de substâncias que provocam efeito em 50% dos indivíduos testados dentro de um período específico (Miura *et al.*, 2021). Portanto, a avaliação ecotoxicológica é fundamental para determinar os parâmetros que garantam o uso seguro de óleos essenciais na piscicultura (Souza *et al.*, 2019; Bashir *et al.*, 2020).

2.6.1 Utilização da *Daphnia magna* em ensaios de toxicidade

A *Daphnia magna*, pertencente à ordem Cladocera e popularmente conhecida como pulga d'água, é um dos microcrustáceos de água doce mais utilizados como bioindicador em avaliações de risco ecotoxicológico agudo (Afonso *et al.*, 2024). Esse organismo aquático se alimenta principalmente de plâncton e na fase adulta, pode atingir um comprimento de até 5,0 mm (Miura *et al.*, 2021).

A *D. magna* (**Figura 2**), é amplamente conhecida como um organismo modelo em testes toxicológicos, incluindo experimentos de 21 dias, devido às suas diversas vantagens (Silva *et al.*, 2024). Dentre elas estão o fácil cultivo em laboratório que a torna uma boa escolha para os ensaios experimentais em grande escala (Miura *et al.*, 2021).



Figura 2. *Daphnia magna*. Fonte: O autor

Além disso, a ampla distribuição em ambientes aquáticos, ciclo de vida curto e facilidade de manutenção dos cultivos em laboratório são características importantes para a utilização da *D. magna* em modelo em testes toxicológicos (Lee *et al.*, 2019). É importante destacar que a *D. magna* é um microcrustáceo que possuem alta sensibilidade a substâncias tóxicas (Bownik, 2017).

A *D. magna* é utilizada para avaliar a toxicidade aguda de substâncias ao observar se os organismos se tornam imóveis após serem expostos a diferentes concentrações de um composto por 24 a 48 horas (Miura *et al.*, 2021). Esse teste permite identificar a Concentração Efetiva Média (CE₅₀), ou seja, a quantidade da substância que causa efeitos em metade dos organismos no tempo definido (OCDE, 2004).

Na aquicultura, os óleos essenciais, que têm diferentes composições e comportamentos, podem impactar outras espécies aquáticas, como a *D. magna*, que não são o alvo principal (Tkaczyk *et al.*, 2021). Como esse microcrustáceo é sensível, os testes de toxicidade aguda auxiliam a comparação do impacto ambiental de óleos essenciais, oferecendo informações importantes sobre os riscos para o meio aquático (Miura, 2018).

2.6.2 Utilização da *Artemia salina* em ensaios de toxicidade

A *Artemia salina* (Leach, 1819), comumente chamada de camarão de água salgada, é um microcrustáceo que habita ambientes marinhos (Pecoraro *et al.*, 2021). Uma de suas características importantes é a produção de grande quantidade de cistos inativos, que permanecem em estado de dormência e não se desenvolvem enquanto são mantidos em condições de baixa umidade (Van Stappen *et al.*, 2020).

A *A. salina* é conhecida especialmente por sua capacidade de produzir cistos que podem ser preservados por longos períodos (Monteiro *et al.*, 2023). São alimentos que estão disponíveis comercialmente, sendo uma importante fonte de alimento para peixes e crustáceos na aquicultura (Krishnaraj *et al.*, 2024).

Além disso, a *A. salina* tem diversas aplicações em diferentes áreas da ciência, devido às suas especificidades e facilidade de estudo (Pecoraro *et al.*, 2020). Nos últimos anos, foi observado uma ampla aplicação da *A. salina* em estudos da toxicidade e ecotoxicidade (Aguiar *et al.*, 2022). É importante salientar que os náuplios

de *Artemia* (**Figura 3**), têm sido utilizados há mais de 40 anos em estudos toxicológicos e ecotoxicológicos como um método prático e econômico para determinar a bioatividade de compostos sintéticos e produtos naturais (Shokry *et al.*, 2021). Permitindo obter resultados eficazes de forma simples, e tornando-os uma ferramenta importante em pesquisas de impacto ambiental e segurança de substâncias (Monteiro *et al.*, 2023).



Figura 3. Náuplio de *Artemia salina*
Fonte: O autor

Portanto, é possível observar que a *Artemia salina* possui importância nos estudos de toxicidade de óleos essenciais e compostos de interesse para a aquicultura (Swathy *et al.*, 2018; Guo *et al.*, 2024). Sendo um organismo essencial para elucidar sobre índices de toxicidade desses compostos (Aguiar *et al.*, 2023).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar se do óleo essencial de *Psidium guajava* possui toxicidade em microcrustáceos *Daphnia magna* e *Artemia salina*, atividade antioxidante e ação antimicrobiana contra *Streptococcus agalactiae*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar se o óleo essencial possui concentração letal frente aos organismos aquáticos, *Artemia salina* e *Daphnia magna*.
- Avaliar se o óleo essencial possui atividade antioxidante para eliminação dos radicais livres DPPH e ABTS.
- Avaliar se a concentração inibitória mínima (CIM) do óleo essencial inibe a multiplicação *in vitro* de cepas bacterianas de interesse em piscicultura.
- Avaliar se o óleo essencial possui concentração bactericida mínima (CBM) frente as bacterianas de interesse em piscicultura

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento e aquisição e composição química do óleo essencial

Para todos os ensaios conduzidos na presente pesquisa, adotou-se o mesmo delineamento experimental, configurado como delineamento inteiramente casualizado (DIC). Esse modelo foi escolhido por permitir a distribuição aleatória das unidades experimentais entre os tratamentos, minimizando a influência de fatores não controlados e garantindo a homogeneidade das condições experimentais.

O óleo essencial das folhas da *P. guajava* utilizado no presente estudo foi extraído por destilação de arraste a vapor e adquirido da empresa LEGEÉ. A caracterização do óleo essencial foi realizada pelo fornecedor através de cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas com o cromatógrafo Agilent, Modelo MSD5977B. A composição química do óleo essencial foi descrita na tabela 3.

Tabela 3. Concentração dos compostos ativos presentes no óleo essencial de *Psidium guajava*; composição química, área relativa dos picos referentes aos compostos, similaridade, tempo de retenção em minutos e a numeração única atribuída a cada composto químico (CAS)*.

Nome do composto	Concentração (mg/g)**	Área relativa* (%)	Similaridade* (%)	Tempo de retenção* (min)	CAS#
α-Pineno	2,4	0,24	95,31	6,40	80-56-8
p-Cimeno	1,8	0,18	96,16	9,12	99-87-6
Limoneno	7,5	0,75	96,19	9,26	5989-27-5
Eucaliptol	45,8	4,58	97,33	9,35	470-82-6
α-Terpineol	1,9	0,19	96,87	14,72	98-55-5
Copaeno	8,0	0,80	96,99	20,95	3856-25-5
β-Cariofileno***	259,2	25,92	98,46	22,38	87-44-5
Humuleno	39,5	3,95	97,87	23,41	6753-98-6
β-Panasinseno	21,7	2,17	96,04	24,07	103827-22-1
b-Selineno***	226,4	22,64	97,29	24,45	17066-67-0
γ-Selineno***	191,3	19,13	96,40	24,71	515-17-3
α-Muuroleno	6,3	0,63	96,04	24,81	10208-80-7
β-Bisaboleno	1,7	0,17	96,28	25,03	495-61-4
γ-Cadineno	26,9	2,69	97,63	25,23	39029-41-9
7 epi-α-Selineno	4,9	0,49	96,79	25,36	123123-37-5
d-Cadineno	24,8	2,48	96,55	25,49	483-76-1
α-Calacoreno	2,3	0,23	97,03	26,08	21391-99-1
Óxido de Cariofileno	56,1	5,61	95,82	27,29	1139-30-6
Óxido de Humuleno	3,7	0,37	95,27	28,03	19888-34-7
t-Cadinol	13,4	1,34	96,53	28,90	5937 11 1
Selin-6-en-4-a-ol	35,4	3,54	96,73	29,31	118173-08-3

Fonte: *Legeé, (2025); CAS# numeração única atribuída a cada composto químico; **Concentração dos ativos em cálculos baseados na área relativa; *** compostos majoritários

4.2 Ensaio de toxicidade aguda do óleo essencial em *Daphnia magna*

Os ensaios de toxicidade aguda com *Daphnia magna* foram realizados no Laboratório de Nutrição e Sanidade de Peixes da Estação de Aquicultura da Universidade Federal do Delta do Parnaíba, em Parnaíba, Piauí. A metodologia

utilizada foi estabelecida pelo guia da OECD (2004) – Guidelines for Testing of Chemicals – Draft Guideline 202, com adaptações.

Os exemplares de *D. magna*, juvenis e adultos, foram adquiridos de um produtor local e foram previamente identificados quanto à espécie conforme (Miura et al., 2018; Miura et al., 2021). Os indivíduos foram cultivados em aquários abastecidos com três litros de água contendo os componentes minerais descritos na **Tabela 4**. No momento da inoculação, a água apresentava temperatura de 24,0 °C, pH 7,0; dureza total de 50,0 mg.L⁻¹ de CaCO₃ e condutividade elétrica de 155,8 µS.cm⁻¹. Os aquários com *D. magna* foram mantidos sob luz artificial de 18 w e 5500 K, com fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuro.

A alimentação dos organismos foi composta por suspensão da microalga *Spirulina platensis* na concentração de 130 células por mL fornecida a cada três dias. Os parâmetros de qualidade de água do cultivo foram analisados diariamente com determinação dos níveis de oxigênio dissolvido, pH, amônia, dureza, nitrito e temperatura. A troca de água total do cultivo foi realizada a cada três dias para manter os parâmetros físico-químicos ideais para a espécie cultivada (Miura et al., 2018).

Tabela 4. Composição química da água utilizada no cultivo de *Daphnia magna*.

Componente	Concentração mg/L
Bicarbonato	67,88
Cloreto	13,47
Cálcio	11,75
Potássio	10,37
Magnésio	6,31
Sódio	4,1
Sulfato	0,79
Fluoreto	0,05

Fonte: do autor (2025), mg/L: miligramas por litro.

4.3 Ensaio de toxicidade aguda do óleo essencial em *Daphnia magna*

Para o ensaio de toxicidade aguda, foram utilizados tubos de ensaio contendo 10 mL de água e óleo essencial diluído em dimetilsulfóxido (DMSO) a 1%. O DMSO na concentração de 1% foi utilizado pela eficiência na diluição do óleo essencial e por não apresentar efeito tóxico para *D. magna* em ensaios

preliminares.

As concentrações finais do óleo foram as seguintes: 0.00001235 mg·L⁻¹; 0.0001235 mg·L⁻¹; 0.001235 mg·L⁻¹; 0.01235 mg·L⁻¹; 0.1235 mg·L⁻¹; 1.235 mg·L⁻¹; 12.35 mg·L⁻¹; 123.5 mg·L⁻¹ e 1.235 mg·L⁻¹. Um grupo contendo água de cultivo e outro grupo com água de cultivo + DMSO na concentração final de 1% constituíram os controles do experimento.

Cada concentração no tubo de ensaio caracterizou um tratamento do experimento que foi realizado com cinco réplicas. Cada tratamento (concentração) continha 4 neonatos (2,25 indivíduos por mL) com 24 a 26 horas de nascidos. A toxicidade de cada tratamento foi avaliada através da mobilidade da *D. magna* a cada 2, 4, 6, 8, 12, 18, 24 e 48 horas.

Ao final dos testes, o oxigênio dissolvido e o pH foram avaliados nos tratamentos controles e na maior concentração testada (OECD, 2004). O valor da concentração capaz de imobilizar 50% dos indivíduos em 48 horas (CL₅₀-48h) e o gráfico de sobrevivência dos animais foram obtidos através do software GraphPad Prism 8.

4.4 Ensaio de toxicidade aguda do óleo essencial em *Artemia salina*

Os ensaios de toxicidade aguda com *Artemia salina* foram conduzidos no Laboratório de Nutrição e Sanidade de Peixes, localizado na Estação de Aquicultura da Universidade Federal do Delta do Parnaíba. Os testes foram adaptados dos protocolos empregadas por Miura et al., (2018) e do manual OCDE (2004).

Foram utilizados náuplios de *A. salina* obtidos por eclosão de cistos viáveis, os ciscos foram adquiridos da empresa insetolab, da marca hanimal. Para a eclosão, 1g de cistos foi hidratado por 1 hora em água destilada. Em seguida, os cistos foram dispostos em recipientes contendo 3 litros de solução salina a 35 ppt. Os recipientes de eclosão foram mantidos sob luminosidade contínua e aeração constante para agitação dos cistos. Após 24 horas foi realizada a seleção dos náuplios viáveis para os testes.

Para esse ensaio, o óleo essencial de *P. guajava* foi previamente diluído em DMSO a 1% para formação da solução estoque. O DMSO na concentração de 1% não apresentou efeito tóxico para *A. salina* em ensaios preliminares. Os náuplios

foram transferidos para tubos de ensaio de 15 mL contendo 10 mL de solução salina (35ppt) e óleo essencial nas seguintes concentrações: $0.0001235 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $0.001235 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $0.01235 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $0.1235 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $1.235 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $12.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $123.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $1.235 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Nesse ensaio os grupos controle consistiram em náuplios dispostos em tubos com solução salina e náuplios em solução salina e DMSO (1%).

Cada tubos de ensaio continha 4 náuplios, totalizando 20 indivíduos por tratamento no experimento (OECD, 2004). A mobilidade dos organismos foi monitorada em intervalos de 2, 4, 6, 8, 12, 18, 24 e 48 horas. O experimento foi realizado com 5 réplicas. Durante o ensaio, os náuplios foram mantidos sob condições controladas de luminosidade (lâmpadas de 18 W e 5500 K) e temperatura ($24 \pm 0,5^\circ\text{C}$).

Ao término do ensaio, o oxigênio dissolvido e o pH foram mensurados nos tratamentos controle e na maior concentração de óleo essencial testada (OECD, 2004). O valor da concentração capaz de imobilizar 50% dos indivíduos em 48 horas ($\text{CL}_{50-48\text{h}}$) foi determinado com o software GraphPad Prism 8.

4.5 Avaliação da atividade antioxidante do óleo essencial.

Os ensaios antimicrobianos foram realizados no Laboratório de Microbiologia do Núcleo da Pós-Graduação da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr). A metodologia utilizada foi estabelecida por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995); Chen et al., (2020) e Scherer e Godoy (2009), com adaptações

As análises da atividade antioxidante de *P. guajava* foram realizadas *in vitro* através dos métodos de sequestradores de radicais ABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) e DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Para tanto, o óleo essencial foi testando em concentrações que variaram entre 2.860 a $40 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. O controle positivo o teste foi feito com Trolox (((\pm)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid)) e o ácido ascórbico nas concentrações 25 a $0,049 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

4.6 Método ABTS

A capacidade do óleo de eliminar radicais ABTS foi determinado de acordo com Chen et al. (2020), com adaptações. Inicialmente foi preparado um cromóforo

(azul/verde) utilizando 1,0 mL da solução de ABTS com concentração de 3,8 mg·mL⁻¹ diluído em 1,0 mL da solução de persulfato com concentração de 0,66 mg·mL⁻¹. Esse processo foi realizado 16 horas antes do início do ensaio antioxidante. A produção do cromóforo foi observada através da reação entre ABTS•+ (7mM) e persulfato de potássio (2,45mM) durante 12 a 16h em temperatura ambiente ao abrigo da luz. A leitura do cátion ABTS•+ foi feita através da sua diluição em tampão fosfato até atingir uma absorbância de 0,70 ± 0,02 a 734 nm.

Em seguida, adicionou-se 50µl do óleo essencial e 150µl da solução do radical, em microplaca de 96 poços. A microplaca foi incubada por 10 min à temperatura ambiente protegida da luz. A absorbância das amostras foi aferida com leitor de microplacas SpectraMax 19 (Molecular Devices, LLC, USA). Todo o experimento foi realizado em triplicata. A capacidade de eliminação de radicais ABTS foi calculada pela seguinte fórmula: % Inibição = $\left(\frac{A_{ABTS} - A_{amostra}}{A_{ABTS}}\right) \times 100$. Onde o ABTS representa a absorção do controle negativo (ABTS com solvente tampão fosfato), e a amostra representa a absorção do ABTS com adição de amostra.

4.7 Método DPPH

Para o ensaio com o radical DPPH utilizou-se a metodologia de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), com adaptações no uso de álcool etílico P.A. como solução solvente e na proporção amostra/radical. O DPPH foi diluído até a concentração de 100 µM. Essa concentração encontra-se dentro da faixa de linearidade para as soluções de DPPH (Scherer e Godoy, 2009).

Para as análises adicionou-se em microplaca de 96 poços, 50µl do óleo essencial e 150µl da solução do radical. O álcool etílico e a solução de DPPH foram os grupos controle negativo do teste. Após homogeneizar a mistura, a microplaca foi incubada por 30 min à temperatura ambiente e protegida da luz. A absorbância das amostras foi aferida utilizando um leitor de microplacas (SpectraMax 19, Molecular Devices, LLC, USA) com comprimento de onda de 517nm. Todo o experimento foi realizado em triplicata.

4.8 Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Psidium guajava*

Os ensaios antimicrobianos foram realizados no Laboratório de Microbiologia do Núcleo da Pós-Graduação da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr). A metodologia utilizada foi estabelecida pelo Clinical and laboratory Standards Institute (CLSI, 2023).

4.9 Cepas bacterianas utilizadas

Foram utilizadas bactérias gram-negativas e gram-positivas nos testes. Três espécies reconhecidas como patógenos de interesse para aquicultura, sendo *Bacillus subtilis* 6633, *Pseudomonas aeruginosa* 27853, e *Streptococcus agalactiae* 13813. Duas cepas utilizadas eram de interesse alimentar, *Staphylococcus aureus* 29213 e *Escherichia coli* 25922. E uma de interesse humano, a *Klebsiella pneumoniae* 13883

As bactérias, *B. subtilis*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *S. aureus* e *E. coli* foram repicadas em ágar Mueller- Hinton (MH) 24 horas antes do início dos testes e mantidas em condições aeróbias em estufa a temperatura de 35 ± 2 °C. A cepa de *S. agalactiae*, foi repicada 48 horas antes dos ensaios em ágar de soja tríptico (TSB) (Sigma-Aldrich) e mantida em jarra de anaerobiose, em material acrílico de 2,5 litros, a temperatura de 35 ± 2 °C.

4.10 Determinação da Mc Farland

Para a determinação da concentração da suspensão de bactéria, foi feita a diluição da cepa em solução salina a 0,85% e feita a leitura comparativa com a escala de MC Farland entre absorvância de 0,08 a 0,11 nm utilizando um espectrofotômetro modelo UV-Vis UV 1800 (Shimadzu) com o comprimento de onda a 625 nm.

A leitura para as cepas foi de 0,10 para *B. subtilis* ATCC 6633; 0,086 para a *E. coli* 25922; 0,089 para *P. aeruginosa* 27853; 0,11 para a *S. aureus* 29213; 0,08 para a *S. agalactiae* 13813 e 0,11 para a *K. pneumoniae* 13883 (**Tabela 5**), indicando uma concentração de $1,5 \times 10^8$ UFC (Unidades formadoras de colônias) na escala de MC Farland (CLSI, 2023).

Todas as cepas foram inoculadas em tubos de ensaio de 10mL contendo caldo Mueller- Hinton (MH). Com exceção da *Streptococcus agalactiae* 13813 que foi inoculada utilizando caldo de soja tríptico (TSB). Em seguida, as amostras foram transferidas para microplacas de 96 poços para realização de diluições seriadas.

Tabela 5. Leitura da MC Farland das cepas de bactérias utilizadas nos ensaios antimicrobianos do óleo essencial de *P.guajava*.

Bactéria	MC Farland (nm)
<i>Bacillus subtilis</i>	0,086
<i>Streptococcus agalactiae</i>	0,08
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,11
<i>Escherichia coli</i>	0,089
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,11
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0,11

Fonte: O autor. nm: comprimento de onda da leitura em nanômetros.

4.11 Determinação da concentração inibitória mínima (CIM)

A amostra para o teste de CIM foi obtida pela pesagem de 100 mg de óleo essencial diluída em 100 μ L de DMSO. Em seguida, foram adicionados 1.000 μ L de caldo MH para que se fosse obtida a concentração de 10% de DMSO na amostra. As concentrações da amostra frente às cepas testadas variaram de 10 a 0,078 mg·mL⁻¹; de óleo essencial. Todo o experimento foi realizado em triplicata.

Após as diluições seriadas, as placas de 96 poços contendo as cepas bacteriana e o óleo essencial de *P. guajava* foram colocadas em uma estufa com temperatura de 35 \pm 2°C. Após 24 horas de incubação foi realizada a leitura visual das placas para a determinação da concentração inibitória mínima através da observação da turbidez em cada poço (CLSI, 2023). As concentrações que obtiveram efeito inibitório frente as cepas testadas apresentaram os poços sem turbidez (CLSI, 2023).

4.12 Determinação da concentração bactericida mínima (CBM)

Os ensaios para a determinação do CBM foram realizados com as concentrações que obtiveram efeito inibitório no ensaio do CIM. Os testes foram realizados em placas de Petri contendo meio de cultura ágar Mueller- Hinton (MH), com as concentrações que apresentaram inibição visual nos poços, posteriormente foram

colocadas em estufa com temperatura a $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Após 24 horas foram realizadas as leituras visuais das placas de petri contendo as cepas bacterianas (CLSI,2023). Todo o experimento foi realizado em triplicata.

4.13 Análise Estatística

Os dados dos ensaios foram testados quanto à normalidade pelo método de Kolmogorov-Smirnov (K-S). As diferenças entre os tratamentos foram avaliadas com o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis seguido pelo teste de comparações múltiplas de Dunn. A Concentração Letal para imobilizar 50% de *D. magna* e *A. salina* nos testes de toxicidade (CL_{50}) e a Concentração Inibitória que neutraliza 50% dos radicais livres (DPPH e ABTS) nos testes de atividade antioxidante (IC_{50}) foram determinadas através de regressão não linear entre a dose em escala logarítmica e a resposta obtida. As análises foram feitas no software GraphPad Prism 8. As diferenças entre os tratamentos foram consideradas significativas quando o valor de p foi menor que 0,05.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do óleo essencial *Psidium guajava*.

A caracterização do óleo essencial de *P. guajava* informada pelo fornecedor, foi descrita previamente na tabela 1. A discussão dos resultados referentes à concentração letal frente a *Daphnia magna* e *Artemia salina* está descrita a seguir.

5.2 Teste de toxicidade aguda do óleo essencial de *Psidium guajava* sobre *Daphnia magna* e *Artemia salina*.

O óleo essencial de *Psidium guajava* demonstrou ser moderadamente tóxico para a *Daphnia magna* conforme a classificação de Zucker (1985). Essa classificação descreve os valores dos níveis tóxicos de substâncias químicas frente a esses organismos aquáticos, em um ensaio de CL50 após 48 horas. Os Resultados obtidos da CL₅₀ após 48 horas, para o OE de *P. guajava* foram descritos na tabela 6.

Tabela 6. Determinação da Concentração letal (CL50) após 48 horas do óleo essencial de *Psidium guajava*, frente a organismos não alvos.

Organismo testado	CL ₅₀
<i>Daphnia magna</i>	7,543 mg·L ⁻¹
<i>Artemia Salina</i>	8,871 mg·L ⁻¹

Fonte: O autor. CL₅₀: Concentração Letal capaz de imobilizar 50 % dos organismos; mg·L⁻¹:

Para os ensaios com *D. magna* foi possível observar diferença significativa ($p < 0,05$) na mobilidade dos organismos após 2 - 12, 24 e 48 horas, na concentração de 123,5 mg·L⁻¹. Na concentração de 12,35 mg·L⁻¹., houve diferença significativa na mobilidade dos organismos entre os tempos 2 e 48 horas ($P = 0,01$) e entre os tempos 12 e 48 horas ($p = 0,02$) (Gráfico 1). Esses resultados demonstram que no tempo de 48 horas, nessa concentração, houve maior toxicidade. As demais concentrações não apresentaram diferença na mobilidade dos organismos nos tempos observados.

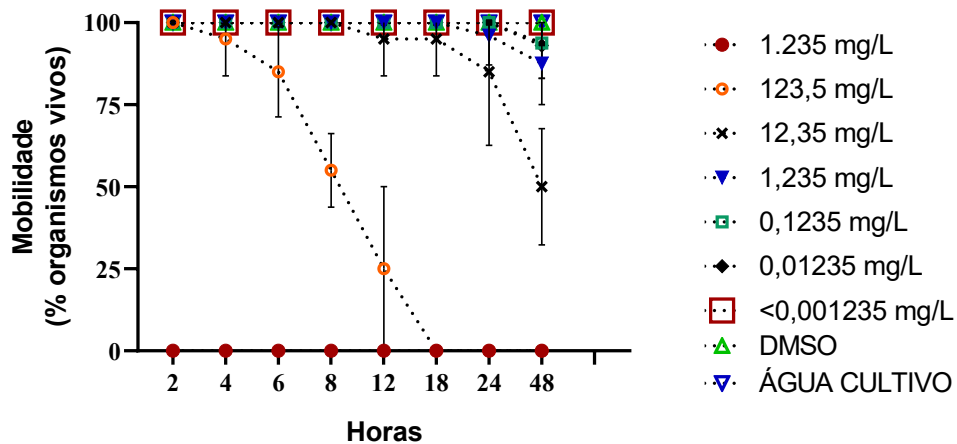


Gráfico 1. Mobilidade da *Daphnia magna* exposta a diferentes concentrações do óleo essencial de *Psidium guajava* durante 48 horas. Fonte: O autor, 2025.

Nos ensaios de toxicidade realizados com a *A. salina*, houve diferença ($p < 0,05$) entre os tempos de 2 e 24 horas; 2 e 48 horas; 12 e 24 horas; 12 e 48 horas e 24 e 48 horas de observação da mobilidade dos organismos na concentração de $123,5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Também foi observada diferença ($p < 0,05$) na mobilidade dos organismos na concentração de $12,35\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ nos tempos de 2 e 48 horas; 12 e 48 horas e 24 e 48 horas. (Gráfico 2). Esses resultados indicam que o OE apresentou toxicidade frente a esses organismos a partir de 24 horas, com maior imobilização no tempo de 48 horas. Não houve diferença entre os tempos de observação da mobilidade dos organismos nas demais concentrações testadas.

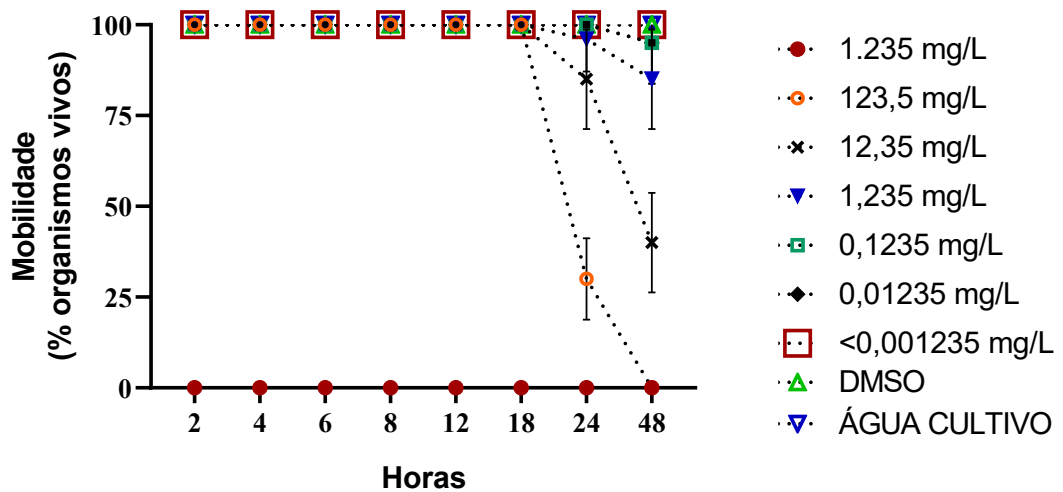


Gráfico 2. Mobilidade da *Artemia salina* exposta a diferentes concentrações do óleo essencial de *Psidium guajava* durante 48 horas. Fonte: O autor, 2025.

De um modo geral, foi possível observar que a *D. magna* possui sensibilidade variada aos óleos e extratos vegetais terrestres. Foi demonstrado que o composto majoritário rotenona da planta *Tephrosia vogelii*, terpineno-4-ol, γ -terpineno presente na *Melaleuca dissitiflora* e benzoato de benzila e cinamato de benzila presentes na *Myroxylon pereira*, (Ferraz et al. 2022), possuem toxicidade mais elevada frente a *D. magna* do que a observada no presente estudo com o OE de *P. guajava* (Tabela 1). Porém, o OE de *P. guajava* foi mais tóxico para *D. magna* do que os óleos essenciais extraídos da família Polygonaceae, com os compostos majoritários a base de monoterpenos, linalol e 1,8-cineol (Afonso et al. 2024) e de *Peumus boldus* com 1,8-cineol (20,7%), p-cimeno (18,5%), limoneno (9,1%), (Pavela et al. 2019), na composição química.

Essas comparações evidenciam que o OE de *P. guajava* possui toxicidade moderada, compatível com óleos essenciais ricos em sesquiterpenos, que geralmente apresentam toxicidade aquática inferior aos OE ricos em compostos fenólicos ou alcaloides (Pavela et al., 2019; Mallmann et al. 2020).

A avaliação da toxicidade dos óleos essenciais e extratos vegetais é determinada com base nas diretrizes do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), estabelecido pelas Nações Unidas (ONU, 2019). Esse sistema classifica substâncias químicas conforme sua periculosidade ambiental, considerando valores de concentração efetiva média (CE_{50}) obtidos em bioensaios com organismos aquáticos.

Segundo essa classificação, substâncias com CE_{50} inferior a $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ são enquadradas na categoria de toxicidade aguda 1, sendo consideradas altamente tóxicas. Valores entre 1 e $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ correspondem à categoria aguda 2, indicando toxicidade moderada. Já concentrações entre 10 e $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ são atribuídas à categoria aguda 3, representando toxicidade leve ou baixa (Ferraz et al., 2022).

Com base nessa classificação, o óleo essencial de *Psidium guajava* testado no presente estudo, apresentou valor de CE_{50} compreendido na faixa entre 1 a $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, sendo, portanto, enquadrado na categoria aguda 2. Isso permite classificá-lo como uma substância de toxicidade moderada para os organismos-teste utilizados, conforme os critérios do GHS (ONU, 2019).

Os resultados obtidos por Miura et al. (2021), demonstraram que o OE de *Piper aduncum* apresentou toxicidade aguda em nível moderado frente a *Daphnia magna*, com CE_{50-48h} de $6,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, conforme critérios do GHS (ONU, 2019). Este valor é semelhante ao observado no presente estudo para o OE de *P. guajava*, que apresentou CL_{50-48h} de $7,54 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o mesmo organismo testado.

Essa similaridade nos valores de toxicidade pode ser atribuída, em parte, ao perfil fitoquímico de ambos os óleos, os quais são ricos em compostos conhecidos por sua atividade biológica frente a organismos aquáticos não alvo. O OE de *Piper aduncum* possui como componente majoritário o dillapiol (75,5%), enquanto o OE de *P. guajava* apresenta elevado teor de sesquiterpenos como β -cariofileno (25,92%), β -Selineno (22,64%) e γ -Selineno (19,13%), ambos os perfis químicos são caracterizados por compostos que, embora não sejam fenóis potentes como timol ou eugenol, apresentam ação tóxica suficiente para impactar a *D. magna*.

Em comparação com outros produtos vegetais discutidos na literatura, o OE de *P. guajava* é menos tóxico do que os extratos ricos em compostos com altas atividades bioativas, como o extrato aquoso de *Tephrosia vogelii*, cuja a CE_{50} para *D. magna* foi de $0,00047 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, devido à presença de rotenona (Li et al., 2015; Ferraz et al., 2022).

Ferraz et al., (2022) e Afonso et al., (2024) reforçam a necessidade de considerar a composição química dos OE e as condições de exposição (condições de solo, tempo, temperatura) para melhor interpretar o risco ambiental. Este estudo de toxicidade com OE de *P. guajava*, demonstra a importância do conhecimento das características do OE e seu impacto ambiental antes da sua aplicação em ecossistemas aquáticos.

Foi possível observar que os óleos essenciais utilizados em estudos de toxicidade aguda frente a *D. magna*, causaram mortalidade de todos animais após 48 horas de exposição (Pavela et al., 2019; Ferraz et al., 2022; Afonso et al., 2024), inclusive o óleo essencial do presente estudo. Podendo inferir impacto no ambiente aquático considerando a concentração letal atingida.

Os compostos cinamaldeído e benzoato de benzila isolados por Nwanade et al. (2022) causaram 100% de mortalidade em *D. magna* após um período de 48 horas. Esses resultados observados, reforçam a importância de estudos de toxicidade frente a esses organismos aquáticos, objetivando entender melhor o impacto ambiental de óleos essenciais vegetais e de seus compostos isolados.

O óleo essencial de *Psidium guajava* também apresentou toxicidade aguda moderada frente a *Artemia salina*, com CL_{50} de $8,87 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ após 48 horas de exposição. Esse valor situa o OE dentro da faixa considerada “biologicamente ativa” e tóxica ao modelo *Artemia*, segundo os critérios de Meyer et al. (1982), que estabelecem como limite $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para indicar potencial tóxico relevante.

A comparação com outros óleos essenciais e extratos vegetais relatados na literatura evidencia que o OE de *P. guajava* apresenta toxicidade superior à maioria dos produtos naturais tradicionalmente estudados utilizando *A. salina*. Silva et al., (2010) avaliaram a toxicidade do OE de *Ocimum gratissimum*, obtendo uma CL_{50} de $233,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto Mafra et al. (2020) relataram para o OE de *Ocimum basilicum* uma CL_{50} de $355 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Estudo realizado por Bezerra et al. (2017), reportaram um valor intermediário para o OE de *Hyptis suaveolens*, com CL_{50} de $53,05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Todos esses valores de CL_{50} citados são superiores ao obtido para o OE de *P. guajava*, indicando uma menor toxicidade em ensaios de toxicidade aguda realizados com *A. salina*. Por outro lado, o OE de *Ocotea corymbosa* estudado por Mallmann et al. (2020), com os compostos majoritários, elixeno (9,9%), o δ -cadineno (8,9%), germacreno D (7,0%), cariofileno (4,7%) e o α -cadinol (4,3%), apresentou uma CL_{50} de $1,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, mostrando atividade de toxicidade maior que a de *P. guajava*.

O extrato aquoso de *Moringa oleifera*, analisado por Rocha Filho et al. (2015), exibiu uma CL_{50} de $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, reforçando que produtos à base de compostos mais polares, como os presentes em extratos aquosos, tendem a apresentar menor toxicidade para *A. salina*. De modo semelhante, os dados de Olaru et al., (2016) para óleos essenciais ricos em trans-anetol também apontaram valores de CL_{50} superiores a $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, sugerindo um menor impacto em comparação ao OE de *P. guajava*.

Essas diferenças de toxicidade podem ser atribuídas ao perfil fitoquímico dos óleos e extratos. O OE de *P. guajava* é caracterizado por elevado teor de sesquiterpenos, como β -cariofileno (25,92%), β -Selineno (22,64%) e γ -Selineno (19,13%), compostos conhecidos por sua capacidade de interagir com membranas celulares, promovendo alterações em sua estrutura e função, o que resulta em efeito tóxico. No entanto, sua ação é menos intensa do que a de óleos ricos em fenóis, como eugenol presente no OE de *O. gratissimum* e a seus constituintes isolados, conferindo uma maior capacidade de desintegrar a célula.

A toxicidade aguda de óleos essenciais frente a *Artemia salina*, estar relacionada à capacidade de seus compostos lipofílicos, que interagem com a estrutura das membranas celulares. Essa interação pode comprometer a integridade da bicamada lipídica, promovendo sua desorganização e alterando a permeabilidade da membrana.

O fato de o OE de *P. guajava* apresentar toxicidade intermediária reforça o papel dos sesquiterpenos nesse processo e a necessidade de mais estudos para caracterizar seus efeitos moleculares e ecológicos. Vale ressaltar que na presente pesquisa a *Daphnia magna* foi mais sensível ao óleo essencial de *Psidium guajava* do que *Artemia salina*, conforme indicado pelos valores de CL_{50} obtidos após 48 horas de exposição. Essa diferença demonstra uma maior sensibilidade do microcrustáceo de água doce frente ao óleo essencial testado.

5.3 Atividade Antioxidante do óleo essencial *Psidium guajava*.

A atividade antioxidante do óleo essencial de *Psidium guajava* foi avaliada por meio dos métodos de sequestro dos radicais livres ABTS \cdot^+ e DPPH \cdot . Os resultados obtidos foram expressos como valores de IC_{50} correspondentes à concentração necessária para inibir 50% da atividade do radical.

O óleo essencial apresentou menor atividade antioxidante em relação ao Trolox e ácido ascórbico, reagentes controle utilizados nos ensaios. A IC_{50} do óleo essencial para o radical ABTS \cdot^+ , foi de $744,40 \pm 2,83 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($0,7444 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$). Nesse ensaio, os reagentes controles, Trolox e Ácido ascórbico, apresentaram IC de $7,08 \pm 0,17 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($0,00708 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) e $7,14 \pm 0,25 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($0,00714 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$), respectivamente. Para o radical DPPH \cdot a IC_{50} do óleo essencial foi maior, alcançando $1129,50 \pm 12,02 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($1,1295 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$). O Trolox apresentou IC_{50} de $5,73 \pm 0,06 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($0,00573 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) e o ácido ascórbico $5,71 \pm 0,20 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ($0,00571 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$).

Cabe ressaltar que o ácido ascórbico é um composto antioxidante natural enquanto o Trolox é um antioxidante sintético utilizado comumente como padrão em ensaios de IC (Chen et al., 2020). Neste experimento, foi possível observar que os padrões antioxidantes apresentaram valores de IC_{50} inferiores ao óleo essencial ($p < 0,05$), indicando uma menor potência antioxidante do óleo essencial (Tabela 7). Além disso, foi observado que o óleo essencial demonstrou diferença ($p < 0,05$) entre os dois métodos empregados, com maior eficácia no ensaio com ABTS \cdot^+ .

Tabela 7. Atividade antioxidante do óleo essencial de *Psidium guajava*.

Amostras	IC ₅₀ (µg·mL ⁻¹)	
	ABTS	DPPH
Óleo essencial	744,40 ± 2,83 ^{aA}	1129,50 ± 12,02 ^{aB}
Trolox	7,08 ± 0,17 ^{bA}	5,73 ± 0,06 ^{bA}
Ácido Ascórbico	7,14 ± 0,25 ^{bA}	5,71 ± 0,2 ^{bA}

Legenda: conforme indicado pelas letras minúsculas (a e b) distintas nas colunas de cada radical, as mesmas indicam diferença significativa entre as amostras. Letras maiúsculas (A e B) diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras e os métodos utilizados. **Fonte** – O autor, 2025.

A menor capacidade antioxidante em comparação aos padrões sintético (Trolox) e natural (ácido ascórbico) demonstra ser uma característica do gênero *Psidium*. Macedo *et al.* (2022), avaliaram os OE de *Psidium laruotteanum* e *Psidium salutare* e observaram uma inibição de ABTS e DPPH inferior a 25% nas concentrações testadas, não atingindo sequer o valor IC₅₀ desses óleos, reforçando a limitada ação redox dessas espécies.

Por outro lado, óleos essenciais de outras espécies apresentaram desempenho superior. Mafra *et al.* (2020) relataram IC₅₀ de 25,35 µg·mL⁻¹ (DPPH) para o OE de *Ocimum basilicum*, com forte atividade associada ao alto teor de metil chavicol e linalol. Da mesma forma, Joshi *et al.* (2018) relataram IC₅₀ de 21,05 µg·mL⁻¹ (DPPH) para o OE de *Lippia alba* (tipo II), rico em linalol, β-citronelol e geraniale, compostos com maior poder antioxidante.

Estudos como o de Hernández *et al.* (2024), com OE de *O. basilicum* cultivado na Colômbia, mostraram IC₅₀ de 29,89 µg·mL⁻¹ para o DPPH, valor inferior ao de *P. guajava*. Esses resultados reforçam que óleos ricos em monoterpenos oxigenados (como linalol, 1,8-cineol, eugenol) tendem a apresentar maior capacidade antioxidante, em contraste com os sesquiterpenos (β-cariofileno 25,92%, β-Selineno 22,64% e γ-Selineno 19,13%), dominantes no OE de *P. guajava*.

Pesquisa realizada por Tayeb *et al.*, (2025), utilizando o óleo essencial de *Citrus sinensis*, rico em monoterpenos, especialmente limoneno (88,1%) demonstraram potencial notável, com valores de IC₅₀ de 25,14 µg·mL⁻¹ (DPPH) e 7,58 µg·mL⁻¹ (ABTS). Foi observado que no estudo de Raj *et al.*, (2023), o OE de *P. guajava*, apresentou uma IC₅₀ de 223,95±0,25 µg·mL⁻¹ para o ensaio antioxidante, utilizando o método ABTS.

Além disso, Salaria *et al.* (2022) demonstraram que o OE de *Thymus serpyllum*, rico em timol, apresentou IC₅₀ de 0,755% para o DPPH, mostrando eficácia semelhante à do ácido ascórbico. O timol é um composto fenólico altamente reativo, ausente na composição do OE de *P. guajava*, o que pode explicar a diferença entre os resultados dos óleos essenciais.

Estudo realizado por Pramitha *et al.* (2025), observaram uma IC₅₀ de 2,73 mg·mL⁻¹ (2730 µg·mL⁻¹) para o OE de gengibre vermelho (*Zingiber officinale*), o qual, mesmo inferior aos padrões sintéticos, ainda mostrou capacidade antioxidante superior à do OE de *P. guajava*. As comparações deixam claro que a atividade antioxidante do OE de *P. guajava* é moderada, especialmente quando comparada com óleos essenciais oriundos de espécies ricas em fenóis ou monoterpenos oxigenados.

Comparado aos óleos essenciais de camomila (*Matricaria chamomilla*) e *Prangos pabularia*, o OE de *P. guajava* apresentou uma atividade antioxidante inferior. O óleo essencial de camomila estudado por Alahmady *et al.* (2024), extraído das flores, demonstrou atividade antioxidante mais expressiva, com percentuais de inibição do radical DPPH de até 93%, com IC₅₀ de 35 µg·mL⁻¹ (0,035 mg·mL⁻¹), refletindo uma potência antioxidante superior ao óleo de *P. guajava*. Essa diferença pode ser explicada pela presença de compostos como α-bisabolol, camazuleno e óxido de bisabolol A, reconhecidamente ativos na neutralização de espécies reativas de oxigênio (ROS).

O óleo essencial de *Prangos pabularia* também evidenciou desempenho superior ao de *P. guajava*. Segundo Banday *et al.* (2022), o OE de *P. pabularia* demonstrou uma inibição de até 62,32% do radical DPPH a 100 µg·mL⁻¹, com um comportamento dose-dependente, com o potencial redutor crescente com a concentração, o mesmo comportamento foi observado com o OE do presente estudo. A composição química de *P. pabularia*, com destaque para o durilaldeído (62,16%) e os sesquiterpenos oxigenados, podem ter contribuído para esses efeitos.

A diferença entre os óleos de *P. guajava*, *M. chamomilla*, *P. pabularia* pode ser interpretada considerando a diversidade de compostos bioativos. Enquanto o óleo de *P. guajava* possui maior concentração de monoterpenos simples e Sesquiterpeno, com baixa capacidade redox, os óleos de camomila e *P. pabularia* são ricos em compostos oxigenados e fenólicos, que apresentam maior eficácia na doação de elétrons ou hidrogênios.

Dos santos *et al.*, (2025), relataram que é relevante considerar o método de extração, a parte da planta utilizada e as condições ambientais que influenciam o perfil químico de cada óleo essencial. No caso da camomila, a concentração de antioxidantes é muito maior nas flores do que em outras partes da planta, como demonstrado por Alahmady *et al.* (2024). Já o óleo de *P. pabularia* apresentou variações significativas na composição devido ao ambiente de cultivo (Banday *et al.*, 2022).

No entanto, é importante destacar que a baixa atividade antioxidante não invalida o uso terapêutico do OE de *P. guajava*, cuja ação pode ser mais pronunciada em outras propriedades bioativas, como as antimicrobianas, anti-inflamatórias e cicatrizantes (Silva *et al.*, 2016; Macedo *et al.*, 2022; Juarez *et al.*, 2023).

A moderada atividade antioxidante do óleo essencial de *P. guajava* pode ser atribuída à sua composição química, que, é rica em sesquiterpenos como β -cariofileno, composto que possui atividade antimicrobiana frente a cepas bacterianas gram positivas e anti-inflamatória, mas limitada capacidade de doação de elétrons ou hidrogênio mecanismos centrais nos ensaios DPPH e ABTS (Maceto *et al.*, 2022; Dos santos *et al.*, 2025). Foi avaliado o perfil de inibição dos radicais ABTS \cdot^+ e DPPH \cdot em função de diferentes concentrações do óleo essencial de *Psidium guajava*, com as variações de concentração de 45 a 2860 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (Gráfico 1). Portanto, foi observado um comportamento dose-dependente, pois houve um aumento da porcentagem de inibição conforme a elevação da concentração do OE.

O mesmo comportamento foi observado no estudo realizado por Becer *et al.*, 2023, com óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* (alecrim), com ensaio de eliminação do radical DPPH, sendo observado o aumento da capacidade de eliminação de radicais à medida que se elevaram as concentrações do OE, atingindo uma inibição máxima de 57,27% na concentração de 875 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. É importante destacar que os principais compostos identificados OE de alecrim foram cânfora (15,1%), verbenona (14,3%), α -pineno (13,6%) e 1,8-cineol (11,8%), terpenoides conhecidos por apresentarem propriedades antioxidantes.

O OE do presente estudo promoveu inibição próxima a 70% para o ABTS e ligeiramente superior a 75% para o DPPH, na maior concentração testada (2860 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), indicando uma atividade antioxidante. À medida que as concentrações diminuíram, a capacidade de sequestro dos radicais também decresceu. Para ambas

as metodologias, as concentrações abaixo de $360 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ apresentaram inibição inferior a 30%, e em $45 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, os valores de inibição ficaram próximos de 10% para ABTS e praticamente nulos para DPPH.

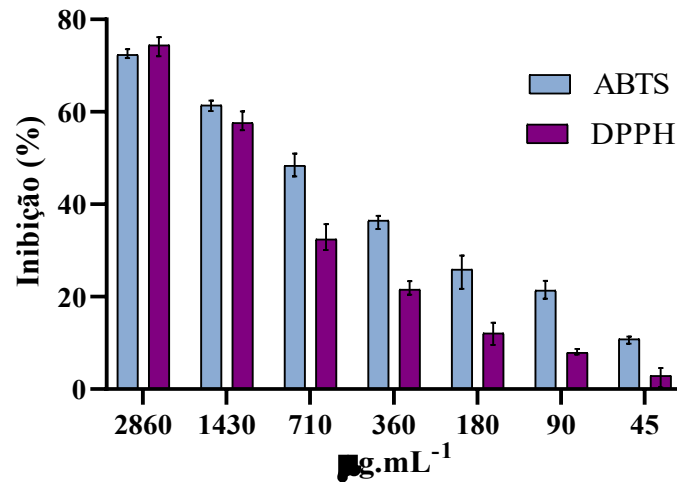


Gráfico 3. Porcentagem de inibição das concentrações do óleo essencial de *Psidium guajava*, pelos métodos de ABTS e DPPH. Fonte: O autor, 2025.

5.4 Atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Psidium guajava*.

Os ensaios antimicrobianos realizados com o óleo essencial extraído das folhas de *Psidium guajava* (Legeé Aromas), permitiram observar a sua concentração inibitória mínima (CIM) e a concentração bactericida mínima (CBM) frente a bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. De modo geral, o óleo essencial de *P. guajava* demonstrou maior eficiência frente às cepas das bactérias Gram positivas (*Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Streptococcus agalactiae* ATCC 13813 e *Staphylococcus aureus* ATCC 29213) e as cepas Gram negativas (*Escherichia coli* ATCC 25992, de *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883 e de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) não apresentaram sensibilidade em nenhuma das concentrações utilizadas nos ensaios da CIM. (tabela 8).

A determinação da CBM foi realizada em *B. subtilis*, *S. agalactiae* e *S. aureus* devido a sensibilidade demonstrada na determinação CIM. Os resultados evidenciam que o óleo essencial de *P. guajava* possui atividade antibacteriana seletiva e variável frente às diferentes cepas bacterianas testadas. (tabela 8)

Tabela 8. Atividade antibacteriana do óleo essencial de *Psidium guajava*.

Bactérias	CIM (mg·mL ⁻¹)	CBM (mg·mL ⁻¹)
<i>Streptococcus agalactiae</i> ATCC 13813	5,0	10,0
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	2,5	10,0
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213	10,0	10,0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	10,0	NR
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25992	10,0	NR
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 13883	10,0	NR

Fonte: O autor. Legenda: CIM: Concentração Inibitória Mínima; CBM: Concentração Bactericida Mínima; NR: O protocolo para CBM não foi realizado, uma vez que não foi definida CIM nas concentrações testadas.

OE de *P. guajava* não apresentou atividade antimicrobiana frente as cepas Gram negativas testadas (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* e *Pseudomonas aeruginosa*) em relação as Gram positivas que apresentaram inibição ao óleo essencial, com CIM superiores a 10 mg·mL⁻¹. Quando comparado a outros óleos essenciais estudados na literatura, foi possível verificar que OE de *P. guajava* não possui um perfil de inibição para as bactérias Gram negativas nas concentrações testadas.

As bactérias Gram negativas pesquisadas podem ser inibidas no contato com OE provenientes de outras plantas: *K. pneumoniae* em OE de *Rosmarinus officinalis* (Mourabiti *et al.*, 2024), *P. aeruginosa* KM01 no OE de *Piper nigrum*, Ribeiro *et al.* (2019) e *E. coli* em *Citrus medica limonum* Tang *et al.* (2023). A *E. coli* também apresenta sensibilidade aos OE de *Cinnamomum cassia* e de *Origanum vulgare* (Zhang *et al.*, 2024). Entretanto o óleo de *P. guajava* não teve o efeito inibitório esperado para cepas das mesmas espécies, mesmo em concentrações elevadas (10 mg·mL⁻¹), provavelmente, pela diferença da composição e da concentração dos diferentes compostos majoritários presentes nos óleos pesquisados pelos autores citados (Tabela 9).

1 Tabela 9. Efeito inibitório de diferentes Óleos essenciais em cepas de bactérias Gram negativas.

Óleo essencial	Componentes majoritários (%)	Bactérias Gram negativas	CIM do OE (mg·mL ⁻¹)	Autor
<i>Rosmarinus officinalis</i>	1,8-Cineol (47,6)	<i>K. pneumoniae</i> ATCC 13883	0,03	Mourabiti et al. 2024
<i>Piper nigrum</i>	limoneno (17,5) e β-mirceno (12,9)	<i>P. aeruginosa</i> KM01	0,12	Ribeiro et al. (2019),
<i>Citrus medica limonum</i>	limoneno (47,2%); β-pineno (12,8%) e γ-pineno (11,8%)	<i>E. coli</i> ATCC 25992	5,0	Tang et al. (2023)
<i>Cinnamomum cassia</i>	Cinamaldeído (99,1)	<i>Escherichia coli</i> coleção do autor	0,5	Zhang et al. (2024)
<i>Origanum vulgare</i>	Carvacrol (78,4)	<i>Escherichia coli</i> coleção do autor	2,0	Zhang et al. (2024)
<i>Psidium guajava</i>	β-Cariofileno (25,9); b-Selineno (22,6) e γ-Selineno (19,1)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	10,0	Presente estudo
		<i>Escherichia coli</i> ATCC 25992	10,0	
		<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 13883	10,0	

2 Legenda: CIM: Concentração Inibitória Mínima. OE: Óleo essencial. Fonte: O autor.

No estudo de Soulimani *et al.* (2025), o potencial antibacteriano do OE de *Thymus pallidus* apresentou valores de CIM para *S. aureus*, *E. coli* e *K. pneumoniae* de 10; 10 e 10 mg·mL⁻¹ e MBC de 20; 20 e 20 mg·mL⁻¹, respectivamente. Na mesma pesquisa, o OE de *Lavandula stoechas* apresentou CIM de 1,25; 1,25 e 2,5 mg·mL⁻¹ e MBC de 1,25; 2,5 e 2,5 mg·mL⁻¹, para as mesmas cepas testadas respectivamente. É importante destacar o OE de *Thymus pallidus*, rico em timol (26,72%), γ -terpineno (23,26%) e p-cimeno (19,07%) e o OE de *Lavandula stoechas* rico em cânfora (47,67%), fenchona (20,78%) e 1,8-cineol (12,17%).

A ausência de atividade inibitória frente às bactérias Gram negativas provavelmente não está relacionada com as características das plantas do gênero *Psidium*. O óleo de *P. laruotteanum*, proveniente das áreas disjuntas do serrado na Chapada Nacional do Araripe, Ceará, Brasil, que tem os componentes majoritários α -Cariofileno (27,6%) e viridiflorol (27,9%), conferiu CIM de 0,1 mg·mL⁻¹ para cepas de *E. coli* e *Pseudomonas aeruginosa* com CIM de 0,4 mg·mL⁻¹ (Macedo *et al.* 2022).

Embora OE testado tenha sido extraído da *P. guajava* pertencente ao mesmo gênero, a diferença de resultados pode estar associada a espécie, ao local de extração das plantas (Estiva Gerbi, São Paulo, Brasil), aspectos climáticos, formação do componente majoritário (β -Cariofileno) e sensibilidade individual das cepas.

OE de *P. guajava* apresentou atividade antimicrobiana frente as cepas Gram positivas testadas (*Bacillus subtilis*, *Streptococcus agalactiae* e *Staphylococcus aureus*). Em comparação a outros óleos essenciais estudados na literatura, foi possível verificar que OE de *P. guajava* apresenta um perfil de eficácia moderada frente a bactérias Gram positivas, sendo possível observar um perfil de eficácia inferior no que se refere ao espectro e potência de ação frente as bactérias Gram positivas em relação determinados OE estudados (*Lippia sidoides*, *Lavandula stoechas* e *Zanthoxylum ovalifolium*) (Tabela 10).

Tabela 10. Efeito inibitório de diferentes Óleos essenciais em cepas de bactérias Gram positivas.

Óleo essencial	Componentes majoritários (%)	Bactérias Gram negativas	CIM do OE (mg·mL ⁻¹)	Autor
<i>Lippia sidoides</i>	timol (76,6%)	<i>Streptococcus agalactiae</i>	0,312	Majolo et al., (2018)
<i>Lavandula intermedia</i>	x linalol (36,0%), acetato de linalila (27,3%).	<i>Streptococcus agalactiae</i>	0,018	Iseppi et al. (2020),
<i>Lavandula stoechas</i>	cânfora (47,67%), fenchona (20,78%) e 1,8-cineol (12,17%).	<i>Bacillus subtilis</i>	0,625	Soulaimani et al. (2025)
<i>Zanthoxylum ovalifolium</i>	Cloreto de aleoíla, 32,23 % e Ftalato de bis (2- etilhexil) 29,64 %.	<i>Staphylococcus aureus</i>	0,066	Nagananda et al. (2024)
<i>Thymus vulgaris</i>	p- Címeno 39,28 % e timol 37,12 %	<i>Staphylococcus aureus</i>	0,737	He et al. (2024)
<i>Psidium guajava</i>	β-Cariofileno (25,9); b-Selineno (22,6) e Y-Selineno (19,1)	<i>Streptococcus agalactiae</i>	5,0	Presente estudo
		<i>Bacillus subtilis</i>	2,5	
		<i>Staphylococcus aureus</i>	10,0	

Legenda: CIM: Concentração Inibitória Mínima. OE: Óleo essencial. Fonte: O autor., 2025.

Na presente pesquisa, foi possível observar que *B. subtilis* foi a cepa mais sensível ao OE de *P. guajava*, apresentando CIM de $2,5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ (tabela 8). No estudo de Soulaïmani *et al.* (2025), o potencial antibacteriano do OE de *Thymus pallidus* apresentou valor de CIM para *B. subtilis* de $2,5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ e MBC de $2,5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$. No mesmo estudo, o OE de *Lavandula stoechas* apresentou CIM de $0,625 \text{ mg/mL}$ e MBC de $0,625 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$. É importante destacar o OE de *Thymus pallidus*, rico em timol (26,72%), γ -terpineno (23,26%) e p-cimeno (19,07%) e o OE de *Lavandula stoechas* rico em cânfora (47,67%), fenchona (20,78%) e 1,8-cineol (12,17%).

No estudo de Majolo *et al.*, (2018), o óleo essencial de *Lippia sidoides*, com alta concentração de timol (76,6%) em sua composição, demonstrou atividade superior, com CIM de $0,312 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ frente a *S. agalactiae*. Esse autor destaca que o maior poder bactericida deste OE pode ser atribuído à maior ação dos fenóis sobre a membrana bacteriana, característica que o timol apresenta com destaque. O resultado apresentado por Majolo *et al.*, (2018) representa uma eficácia cerca de 16 vezes maior que a observada para *P. guajava* com CIM = $5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ para a mesma bactéria.

Iseppi *et al.* (2020), investigaram os óleos da família Lamiaceae, observaram que o óleo de *Lavandula x intermedia* com linalol (36,0%) e acetato de linalila (27,3%). Em sua composição, apresentou CIM inferiores a $0,018 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ contra *Streptococcus agalactiae*, evidenciando uma atividade antibacteriana consideravelmente mais potente frente a cepas Gram-positivas, especialmente quando comparado ao óleo em análise neste estudo, que apresentou MIC de $5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ contra *S. agalactiae*.

Já o OE de *Zanthoxylum ovalifolium* estudado por Nagananda *et al.* (2024), demonstrou uma CIM de $0,066 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ contra *S. aureus*, novamente evidenciando uma potência quase 150 vezes maior do que o óleo de *P. guajava* contra a mesma bactéria (CIM = $10 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) Esse efeito foi atribuído à presença de cloreto de aleoíla, 32,23 % e Ftalato de bis (2- etilhexil) 29,64 %.

Ribeiro *et al.* (2020) relataram para o óleo de *Alpinia zerumbet*, valores de CIM de $0,4 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ para *E. coli* e $0,2 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ para *S. aureus*, valores significativamente menores que os obtidos para *P. guajava*. Liu *et al.* (2020), com óleos de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e Melaleuca (*Alternifolia melaleuca*), demonstraram CIM de $0,25$ a $0,5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ para *S. aureus* e *E. coli*, concentrações de inibição superiores aos encontrados com o óleo da presente pesquisa. A superioridade destes óleos pode ser

atribuída à presença de compostos como 4-terpineol, timol, eucaliptol e o Carvacrol, reconhecidos na literatura por suas fortes propriedades antimicrobianas (Kosakowska et al., 2024; Khwaza et al., 2025)

De forma semelhante, Silva et al. (2009), relataram para *Ocimum gratissimum* valores de CIM entre 0,5 e 2 mg·mL⁻¹ frente a cepas Gram-positivas e Gram-negativas, com atividade inclusive contra isolados clínicos resistentes. A presença de eugenol (>80%) como composto majoritário pode justificar sua maior eficácia. Em comparação, o óleo de *P. guajava*, com os compostos predominantes β-cariofileno (25,92%), β-Selineno (22,64%) e γ-selineno (19,13%), demonstrou um poder antimicrobiano menos expressivo, dado que esses compostos, apesar de bioativos, têm ação mais leve que outros fenóis (Santos et al., 2025).

Outro exemplo relevante é o estudo de He et al. (2024), no qual o óleo essencial de *Thymus vulgaris* (Tomilho), rico em p- Címeno 39,28 % e timol 37,12 %, apresentou CIM de 0,737 mg·mL⁻¹ contra *Staphylococcus aureus* e *E. coli*, demonstrando um perfil de ação mais amplo e eficaz tanto em Gram-positivas quanto em Gram-negativas. Já no presente estudo, a CIM frente ao *S. aureus* foi de 10 mg·mL⁻¹, indicando uma eficácia antimicrobiana relativamente inferior quando comparado ao óleo essencial de *Thymus vulgaris*.

Chahboun et al., (2024) relataram que os principais compostos químicos mais ativos no óleo essencial de *Thymus vulgaris* são os fenóis carvacrol e timol, seguidos pelos álcoois α-terpineno e linalol, aldeídos, cetonas e terpenos. A propriedade antibacteriana do óleo essencial de *Thymus vulgaris* pode estar ligada aos seus compostos fenólicos predominantes (carvacrol e timol), que são conhecidos por suas propriedades antibacterianas e antifúngicas.

A presente pesquisa permitiu avaliar a atividade do óleo essencial de *Psidium guajava*, focando na sua toxicidade aguda frente aos microcrustáceos *Daphnia magna* e *Artemia salina*, sua atividade antioxidante e seu potencial antimicrobiano frente a cepas bacterianas Gram-positivas e Gram-negativas. Os resultados obtidos reforçam a relevância dos óleos essenciais como agentes bioativos de origem natural, seguros e ambientalmente prudentes, particularmente no contexto da Saúde Única, o que inclui a aquicultura.

Do ponto de vista ecotoxicológico, o óleo essencial de *P. guajava* demonstrou toxicidade moderada para ambos os organismos-teste, sendo classificado na categoria aguda 2 pelo Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS). A toxicidade deste óleo é associada ao seu perfil químico majoritário em sesquiterpenos como β -cariofileno, β -selineno e γ -selineno, e revela ação biológica significativa, porém, com menor impacto ambiental em comparação aos óleos essenciais ricos em compostos fenólicos ou alcaloides extremamente tóxicos. Por isto, o óleo de *P. guajava* possui potencial promissor para o desenvolvimento de formulações menos prejudicial ao ambiente, em especial nas formas voltadas à profilaxia ou aplicação terapêutica.

Em relação à atividade antioxidante, apesar do óleo essencial de *P. guajava* ter apresentado menor efeito antioxidante em relação ao Trolox e ácido ascórbico, seus resultados indicaram uma atividade oxirredutora e comportamento dose-dependente, o que confirma sua eficácia na neutralização de radicais livres. A moderada atividade antioxidante pode ser atribuída à ausência de compostos fenólicos reativos na composição do óleo, porém, isto não inibe os benefícios do seu uso, especialmente em aplicações cicatrizantes ou anti-inflamatórias, já descritas na literatura.

Foi possível observar que a atividade antimicrobiana do óleo essencial foi mais expressiva frente a cepas de bactérias Gram positivas, como *Bacillus subtilis*, *Streptococcus agalactiae* e *Staphylococcus aureus*. As concentrações inibitórias e bactericidas observadas, sugerem que o óleo pode servir como alternativa no combate a infecções causadas por bactérias Gram positivas, inclusive frente a cepas patogênicas de importância clínica humana e animal. Destaca-se a atividade frente à *S. agalactiae* um dos principais patógenos na piscicultura mundial. Entretanto, ensaios posteriores devem ser realizados para elucidar melhor seus efeitos *in vivo*.

A ausência de atividade frente a bactérias Gram-negativas pode ser explicada pela complexidade estrutural da membrana externa desses micro-organismos, fator que dificulta a penetração de compostos hidrofóbicos como os presentes na composição do óleo essencial. Neste sentido, mais pesquisas devem ser feitas para testar o uso deste óleo em concentrações maiores para avaliar atividades antimicrobianas para bactérias Gram negativas.

No âmbito da aquicultura, os resultados obtidos neste estudo reforçam o potencial do óleo essencial de *P. guajava* como alternativa natural e ambientalmente mais segura para o manejo sanitário de organismos aquáticos. A atividade antimicrobiana observada contra *Streptococcus agalactiae*, um dos principais patógenos da piscicultura mundial, evidencia sua aplicabilidade no controle de doenças bacterianas que comprometem a produtividade e a sustentabilidade da atividade aquícola.

Dessa forma, os resultados evidenciam que o óleo essencial de *P. guajava* possui bioatividades relevantes do ponto de vista biotecnológico. Mesmo que a sua atividade antioxidante tenha se mostrado inferior quando comparada a outras espécies, sua ação antimicrobiana seletiva e sua toxicidade moderada reforçam sua aplicabilidade. Além disso, a pesquisa contribui para a valorização do potencial farmacológico de espécies vegetais nativas, promovendo o uso de recursos naturais como alternativas às substâncias sintéticas, muitas vezes mais tóxicas e com alto valor comercial.

6. CONCLUSÕES

O óleo essencial de *Psidium guajava* possui concentração letal (CL₅₀) capaz de imobilizar 50 % dos organismos não alvos para a aquicultura. Para a *Daphnia magna*, o OE possui CL₅₀ de 7,543 mg·L⁻¹ e para *Artemia salina* foi de 8,871 mg·L⁻¹. O OE de *P.guajava*, possui atividade antioxidante para eliminação dos radicais livres ABTS e DPPH. As concentrações inibitórias (IC₅₀), para o método ABTS e DPPH foram de 744,40 ± 2,83 µg·mL⁻¹ e 1129,50 ± 12,02 µg·mL⁻¹, respectivamente.

O óleo essencial de *P. guajava* possui concentração inibitória mínima (CIM) a partir de 2,5 mg·mL⁻¹ frente a bactérias Gram positivas e concentração bactericida mínima a partir de 10,0 mg·mL⁻¹, é importante destacar que o OE inibe a multiplicação *in vitro* de cepas bacterianas de *Streptococcus agalactiae* e *Bacillus subtilis* que são importantes para a piscicultura. O óleo essencial de *Psidium guajava* na concentração de 10 mg·mL⁻¹ possui ação bactericida contra *Staphylococcus aureus*. Mas nessa concentração não possui ação antimicrobiana para *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*.

Portanto, como perspectivas futuras, recomenda-se a realização de ensaios com a identificação dos constituintes bioativos isolados, especialmente os sesquiterpenos majoritários (β-Cariofileno 25,9 %; b-Selineno 22,6 % e γ-Selineno 19,1 %), de modo a compreender melhor os mecanismos de ação. Sugere-se também a investigação da sinergia do óleo com outros compostos ou formulações, assim como a ampliação dos testes antimicrobianos para um maior número de cepas de importância para Saúde Única, com foco em micro-organismos resistentes. Adicionalmente, estudos em modelos celulares e *in vivo* poderão elucidar a segurança e eficácia do óleo nos diversos contextos terapêuticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-LATIF, H. M.; ABDEL-TAWWAB, M.; KHAFAGA, A. F.; DAWOOD, M. A. Dietary oregano essential oil improved the growth performance via enhancing the intestinal morphometry and hepato-renal functions of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. **Aquaculture**, v. 526, p. 735432, 2020.
- ABDEL-LATIF, H. M.; DAWOOD, M.; MENANTEAU-LEDOUBLE, S.; EL-MATBOULI, M. A natureza e as consequências das co-infecções em tilápia: uma revisão. **Journal of Fish Diseases**, v. 43, p. 651-664, 2020.
- ABDOUL-LATIF, F. M.; AINANE, A.; AINANE, T. Estudo químico e avaliação das propriedades inseticidas do óleo essencial de *Lippia citriodora* africana. **Journal of Biopesticides**, v. 13, p. 119-126, 2020.
- ABDOUL-LATIF, F. M.; AINANE, A.; MERITO, A.; AINANE, T. Composição química e atividades biológicas de óleos essenciais do Djibouti. **Journal of Analytical Science and Biotechnology Applications**, v. 4, p. 1-9, 2022.
- ABDOUL-LATIF, F. M. *et al.* Óleos essenciais de *Tagetes minuta* e *Lavandula coronopifolia* de Djibouti: composição química, atividade antibacteriana e atividade citotóxica contra várias linhagens de células cancerígenas humanas. **International Journal of Plant Biology**, v. 13, p. 315-329, 2022.
- ABOREHAB, N. M.; ELNAGAR, M. R.; WALY, N. E. O ácido gálico potencializa o efeito apoptótico do paclitaxel e da carboplatina por meio da superexpressão de Bax e P53 na linhagem de células de câncer de mama humano MCF-7. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, v. 35, e22638, 2021.
- ABREU, D. B.; SANTORO, F. R.; ALBUQUERQUE, U. P.; LÁDIO, A. H.; MEDEIROS, P. M. Medicinal plant knowledge in a context of cultural pluralism: A case study in Northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 175, p. 124-130, 2015.
- ADAMS, R. P. *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. Carol Stream: Allured Publishing, 2009. (Versão Ebook 4.1 de 30 jan. 2017). ISBN 978-1-932633-21-4.
- AFRICAN and Holy Basil - a review of ethnobotany, phytochemistry, and toxicity of their essential oil: current trends and prospects for antimicrobial/anti-parasitic pharmacology. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 7, p. 104870, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104870>.
- AGUIAR, T. W. A. *et al.* Efeito das preparações de folhas de *Bauhinia monandra* Kurz em estágios embrionários e caracóis adultos de *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818), *Schistosoma mansoni* cercariae e toxicidade em *Artemia salina*. **Molecules**, v. 27, n. 15, p. 4993, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27154993>.
- AINANE, A.; ABDOUL-LATIF, F. M.; ABDOUL-LATIF, T. M.; AINANE, T. Avaliação das atividades biológicas de dois óleos essenciais como bioinseticidas ambientais seguros: caso de *Eucalyptus globulus* e *Rosmarinus officinalis*. **Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska**, v. 29, p. 544-556, 2020.
- AINANE, A. *et al.* Estudo do comportamento de dessorção do óleo essencial de *Cedrus atlantica* em uma argila porosa versus atividade inseticida contra *Sitophilus granarius*:

explicação do fenômeno por estudos estatísticos. **International Journal of Metrology and Quality Engineering**, v. 12, p. 12, 2021.

AINANE, T.; TALBI, M. Óleos essenciais baseados em fragrâncias tradicionais marroquinas: preparação, composição e identificação química. **Pharma Chem**, v. 6, p. 84-89, 2014.

ALAGAWANY, M. *et al.* Curcumina e suas diferentes formas: uma revisão sobre nutrição de peixes. **Aquaculture**, v. 532, p. 736030, 2021.

ALAHMADY, N. F. *et al.* Biochemical characterization of chamomile essential oil: antioxidant, antibacterial, anticancer and neuroprotective activity and potential treatment for Alzheimer's disease. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 31, n. 2, p. 103912, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103912>.

AL-SAGHEER, A. A. *et al.* Suplementação de dietas para *Oreochromis niloticus* com extratos de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus*) e gerânio (*Pelargonium graveolens*) e efeitos no crescimento, microbiota intestinal, atividades antioxidantes e imunológicas. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 1006-1014, 2018.

AMIR PIRI. *et al.* Toxicity and physiological effects of ajwain (*Carum copticum*, Apiaceae) essential oil and its major constituents against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Chemosphere**, v. 256, p. 127103, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127103>.

AMOATEY, P.; BAAWAIN, M. S. Efeitos da poluição em organismos aquáticos de água doce. **Water Environment Research**, v. 91, n. 10, p. 1272-1287, 2019.

AMORATI, R.; FOTI, M. C.; VALGIMIGLI, L. Antioxidant activity of essential oils: a critical review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 46, p. 10835-10847, 2013. DOI: 10.1021/jf403496k.

AININANE TKACZYK; BOWNIK, A.; DUDKA, J.; KOWAL, K.; ŚLASKA, B. *Daphnia magna* model in the toxicity assessment of pharmaceuticals: a review. **Science of The Total Environment**, v. 763, p. 143038, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143038>.

ANAJILI SAHAL. *et al.* A comprehensive review on the nutritional composition, bioactive potential, encapsulation techniques, and food system applications of guava (*Psidium guajava* L.) leaves. **Grain & Oil Science and Technology**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2024.12.003>.

AWAD, E.; AWAAD, A. Papel das plantas medicinais no desempenho do crescimento e estado imunológico em peixes. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 67, p. 40-54, 2017.

BAJPAI, V. K.; BAEK, K. H.; KANG, S. C. Control of *Salmonella* in foods by using essential oils: a review. **Food Research International**, v. 45, n. 2, p. 722-734, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.052>.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BANDAY, J. A. *et al.* Analysis by gas chromatography–mass spectrometry, antioxidant, antiproliferative and antibacterial activities of essential oil of *Prangos pabularia*. **Microbial Pathogenesis**, v. 166, 105540, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2022.105540>.

BANDEIRA, G.; *et al.* Potential uses of the essential oils from *Ocimum gratissimum* and *Hesperozygis ringens* in aquaculture. **Industrial Crops and Products**, v. 97, p. 484-491, 2017.

BARRETO, F. M.; *et al.* Evaluation of florfenicol leaching from coated medicated fish feed into water. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 1245-1252, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.017>.

BARRIGA, I. B.; *et al.* Essential oil of *Lippia grata* (Verbenaceae) is effective in controlling monogenean infections in gills of *Colossoma macropomum*, a large Serrasalminidae fish from the Amazon. **Aquaculture Research**, v. 51, p. 3804-3812, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.14728>.

BASHIR, I.; *et al.* Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. In: HAKEEM, K. R.; BHAT, R. A.; QADRI, H. (Ed.). *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020. p. 1-26.

BECER, E.; *et al.* Composition and antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant and anticancer activities of essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. **South African Journal of Botany**, v. 160, p. 437-445, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.07.028>.

BEZERRA, J. W. A.; *et al.* Chemical composition and toxicological evaluation of *Hyptis suaveolens* (L.) Poiteau (Lamiaceae) in *Drosophila melanogaster* and *Artemia salina*. **South African Journal of Botany**, v. 113, p. 437-442, 2017.

BHALODIA, N. R.; *et al.* *In vitro* antioxidant activity of hydro alcoholic extract from the fruit pulp of *Cassia fistula* Linn. **AYU: An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda**, v. 34, n. 2, p. 209-214, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-8520.119684>.

BIRKBECK, T. H.; FEIST, S. W.; VERNER-JEFFREYS, D. W. *Francisella* infections in fish and shellfish. **Journal of Fish Diseases**, v. 34, n. 3, p. 173-187, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2010.01226.x>.

REDDY, B. H. V.; *et al.* Essential oils in cosmetics: antioxidant properties and advancements through nanoformulations. **Pharmacological Research – Natural Products**, v. 6, 100192, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2025.100192>.

BOWNIK, A. *Daphnia* swimming behaviour as a biomarker in toxicity assessment: a review. **Science of the Total Environment**, v. 601-602, p. 194-205, 2017.

BOXALL, A. B. A. Veterinary medicines and the environment. In: CUNNINGHAM, F.; ELLIOTT, J.; LEES, P. (Ed.). *Comparative and Veterinary Pharmacology*. Berlin: Springer, 2010. p. 291-314. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-10324-7_12.

LEE, B.-Y.; *et al.* The genome of the freshwater water flea *Daphnia magna*: a potential use for freshwater molecular ecotoxicology. **Aquatic Toxicology**, v. 210, p. 69-84, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.02.009>.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL, E.; *et al.* Antiparasitic action *in vitro* and *in vivo* of essential oils of *Lippia* spp. in Koi carp (*Cyprinus carpio*) fed with supplemented diets. **Brazilian Journal of Veterinary Pathology**, v. 12, p. 88-100, 2019.

BRUNA, F.; *et al.* Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activity of *Laureliopsis philippiana* essential oil from Chile, *in vitro* and *in silico* study. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 12, 104271, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabic.2022.104271>

CALO, J. R.; CRANDALL, P. G.; O'BRYAN, C. A.; RICKE, S. C. Óleos essenciais como antimicrobianos em sistemas alimentares — uma revisão. **Food Control**, v. 54, p. 111-119, 2015.

VERDI, C. M.; *et al.* *Gaultheria procumbens* essential oil longevity and oxidant/antioxidant status of silver catfish *Rhamdia quelen* experimentally infected by *Aeromonas caviae*. **The Microbe**, v. 5, 100191, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100191>.

CAMPANA, R.; TIBONI, M.; MAGGI, F.; CAPPELLACCI, L.; MORSHEDLOO, M. R.; FRANGIPANI, E.; CASETTARI, L. Análise comparativa da atividade antimicrobiana de óleos essenciais e suas microemulsões formuladas contra patógenos transmitidos por alimentos e bactérias de deterioração. **Antibiotics**, v. 11, p. 447, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040447>.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. Antioxidants: reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 107-120, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.008>.

CRAVERO, C. F.; *et al.* Antioxidant activity evaluation of the combination of oregano (*Origanum vulgare*) and laurel (*Laurus nobilis*) essential oil as two natural “chain-breaking” antioxidants by direct measurement of sunflower oil oxidation. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 61, 103403, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103403>.

CARSON, C. F.; MEE, B. J.; RILEY, T. V. Mecanismo de ação do óleo de *Melaleuca alternifolia* (tea tree) sobre *Staphylococcus aureus* determinado por ensaios de tempo de morte, lise, vazamento e tolerância ao sal e microscopia eletrônica. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 46, p. 1914-1920, 2002.

FERRAZ, C. A.; *et al.* Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: a review. **Environmental Pollution**, v. 292, parte B, 118319, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118319>.

CHAGAS, E. C.; *et al.* Composição de óleos essenciais de espécies de *Mentha* e sua atividade antimicrobiana contra *Aeromonas* spp. **Journal of Essential Oil Research**, v. 32, p. 209-215, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2020.1723674>.

KRISHNARAJ, C.; *et al.* In silico mechanistic insights of ecofriendly synthesized AgNPs, SeNPs, rGO and Ag&SeNPs@rGONM's for biological applications and its toxicity evaluation using *Artemia salina*. **Chemosphere**, v. 364, 143159, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143159>.

CHATURVEDI, T.; *et al.* Composição química e atividade antimicrobiana do óleo essencial de folhas senescentes de goiaba (*Psidium guajava* L.). **Natural Product Research**, v. 35, n. 8, p. 1393-1397, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1648462>.

CHAVAN, P. S.; TUPE, S. G. Atividade antifúngica e mecanismo de ação do carvacrol e do timol contra leveduras de deterioração de vinhedos e vinhos. **Food Control**, v. 46, p. 115-120, 2014.

CHBEL, A.; DELGADO, A. S.; SOUKRI, A.; EL KHALFI, B. Marine biomolecules: a promising approach in therapy and biotechnology. **European Journal of Biological Research**, v. 11, n. 1, p. 122-133, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4384158>.

CHEN, Z.; *et al.* Structural characterization and antioxidant activity of a new polysaccharide from *Bletilla striata* fibrous roots. **Carbohydrate Polymers**, v. 227, 115362, 2020.

- NWANADE, C. F.; *et al.* Individual and synergistic toxicity of cinnamon essential oil constituents against *Haemaphysalis longicornis* (Acari: Ixodidae) and their potential effects on non-target organisms. **Industrial Crops and Products**, v. 178, 114614, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114614>.
- CIANCIULLO, P.; MARESCA, V.; SORBO, S.; BASILE, A. Antioxidant and antibacterial properties of extracts and bioactive compounds in bryophytes. **Applied Sciences**, v. 12, n. 1, 160, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12010160>.
- CIOCARLAN, A.; *et al.* Chemical composition and assessment of antimicrobial activity of lavender essential oil and some by-products. **Plants**, v. 10, n. 9, 1829, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10091829>.
- ROCHA-FILHO, C. A. A.; *et al.* Assessment of toxicity of *Moringa oleifera* flower extract to *Biomphalaria glabrata*, *Schistosoma mansoni* and *Artemia salina*. **Chemosphere**, v. 132, p. 188-192, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.041>.
- CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE (CLSI). *Performance standards for antimicrobial susceptibility testing*. 32. ed. CLSI supplement M100. Wayne, PA: CLSI, 2022. ISBN 978-1-68440-134-5.
- CLSI – CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. *Approved standard*. 33. ed. M-100. Wayne, PA: CLSI, 2023.
- COIMBRA, J. L.; *et al.* Toxicidade de extratos vegetais para *Scutellonema bradys*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1209-1211, 2006.
- DASWANI, P. G.; GHOLKAR, M. S.; BIRDI, T. J. *Psidium guajava*: a single plant for multiple health problems of rural Indian population. **Pharmacognosy Reviews**, v. 11, n. 22, p. 167, 2017.
- DAWOOD, M. Imunidade nutricional dos intestinos de peixes: insights importantes para a aquicultura sustentável. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, p. 642–663, 2021.
- DAWOOD, M.; HASSAN, T. Modulação do perfil transcriptômico em animais aquáticos: cenários de probióticos, prebióticos e simbióticos. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 97, p. 268–282, 2020.
- DAWOOD, M.; KOSHIO, S. Aplicação da estratégia de fermentação em ração aquática para aquicultura sustentável. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, p. 987–1002, 2019.
- DAWOOD, M. A.; GEWAILY, M. S.; MONIER, M. N.; YOUNIS, E. M.; VAN DOAN, H.; SEWILAM, H. Os papéis reguladores do extrato de yucca na taxa de crescimento, função hepato-renal, alterações histopatológicas e genes relacionados ao sistema imunológico em carpas comuns expostas ao estresse agudo de amônia. **Aquaculture**, 736287, 2020.
- DAWOOD, M. A.; KOSHIO, S. Avanços recentes no papel dos probióticos e prebióticos na aquicultura de carpas: uma revisão. **Aquaculture**, v. 454, p. 243–251, 2016.
- DAWOOD, M. A.; METWALLY, A. E.-S.; EL-SHARAWY, M. E.; ATTA, A. M.; EL-BIALY, Z. I.; ABDEL-LATIF, H. M.; PARAY, B. A. O papel do β -glucano no crescimento, morfometria intestinal e expressões de genes relacionados ao sistema imunológico e proteínas de choque térmico da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sob diferentes densidades de estocagem. **Aquaculture**, v. 523, 735205, 2020.

- DAWOOD, M. A. O. *et al.* Explorando os papéis dos óleos essenciais de ervas dietéticas na aquicultura: uma revisão. **Animals**, v. 12, n. 7, 823, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12070823>.
- DE SOUSA, D. P. *et al.* Óleos essenciais: atividades químicas e farmacológicas. **Biomolecules**, v. 13, n. 7, 1144, 2023. <https://doi.org/10.3390/biom13071144>.
- DE SOUZA, M. F. C.; PENTEADO, A. L.; DE SOUZA, D. R. C.; DE QUEIROZ, S. C. D. N. Atividade antimicrobiana “in vitro” de óleos essenciais contra patógenos de peixes. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 17911-17921, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-057>.
- SALARIA, D.; ROLTA, R.; FADARE, O. A.; FADARE, R. Y.; GULERIA, S.; LAL, U. R.; KUMAR, V. In silico and in vitro antioxidant potential of *Thymus serpyllum* L. essential oil. **Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine**, v. 8, 100280, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100280>.
- ZHANG, D. *et al.* Epidemiological characteristics of *Streptococcus agalactiae* in tilapia in China from 2006 to 2020. **Aquaculture**, v. 549, 737724, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737724>.
- DEWI, N. R. *et al.* Extrato de folha de goiaba (*Psidium guajava*) aumenta a imunidade, o crescimento e a resistência contra *Vibrio parahaemolyticus* em camarão branco *Penaeus vannamei*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 118, p. 1–10, 2021.
- MARTINEZ, D. S. T. *et al.* Magna and mixture toxicity with nanomaterials – current status and perspectives in data-driven risk prediction. **Nano Today**, v. 43, 101430, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2022.101430>.
- DJENANE, D.; YANGÜELA, J.; RONCALÉS, P.; AÏDER, M. Uso de óleos essenciais como conservantes naturais de alimentos: efeito no crescimento de *Salmonella Enteritidis* em ovos inteiros líquidos armazenados sob condições de refrigeração abusivas. **Journal of Food Research**, v. 2, p. 65, 2013.
- HE, D. *et al.* Synergistic activity of clove essential oil and thyme essential oil and their interaction against *Malassezia furfur*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*. **LWT**, v. 204, 116431, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116431>.
- GUO, D.-Y. *et al.* Study on chemical compositions, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from *Rosmarinus officinalis* L. in Jiangxi. **Natural Product Research and Development**, v. 34, n. 2, p. 263, 2022.
- SANTOS, A. C. *et al.* Óleo essencial de *Aloysia triphylla* como aditivo na dieta de jundiás: resposta sanguínea e resistência à infecção por *Aeromonas hydrophila*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 62, p. 213–216, 2017.
- EDDABBEH, F.-E. *et al.* A composição do óleo essencial e as atividades antimicrobianas e antifuncionais dos mestres *Tetraclinis articulata* (Vahl) do planalto central marroquino. **Pharmacologyonline**, v. 2, p. 458–464, 2021.
- ELABBOUBI, M. *et al.* Tratamento de micoses por óleos essenciais: mini revisão. **Journal of Analytical Science**, v. 1, p. 35–40, 2019.
- EL-BASUINI, M. F. *et al.* A influência da coenzima Q10 dietética e da vitamina C na taxa de crescimento, imunidade, genes relacionados à oxidação e resistência contra *Streptococcus agalactiae* da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 531, 735862, 2021.

- ELMI, A. *et al.* Triagem rápida para compostos naturais bioativos em frutos de *Indigofera caerulea* Rox. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 123–130, 2018.
- ELUMALAI, P. *et al.* Imunomoduladores herbais na aquicultura. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 29, n. 1, p. 33–57, 2020. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1779651>.
- FANI, M.; KOHANTEB, J. In vitro antimicrobial activity of *Thymus vulgaris* essential oil against major oral pathogens. **Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine**, v. 22, n. 4, p. 660–666, 2017.
- FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*. Rome, 2024. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- FLORA DO BRASIL. *Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cattleyalabiata>. Acesso em: 6 out. 2024.
- FRANS, I. *et al.* *Vibrio anguillarum* as a fish pathogen: virulence factors, diagnosis and prevention. **Journal of Fish Diseases**, v. 34, n. 9, p. 643–661, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01279.x>.
- FRANZON, R. C.; CAMPOS, L. D. O.; PROENÇA, C. E. B.; SOUSA-SILVA, J. C. Araças do gênero *Psidium*: principais espécies, ocorrência, descrição e usos, 2009.
- BARONY, G. M. *et al.* Large-scale genomic analyses reveal the population structure and evolutionary trends of *Streptococcus agalactiae* strains in Brazilian fish farms. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 13538, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13228-z>.
- GALI-MUHTASIB, H.; KHATER, C. Usos tradicionais de *Salvia libanotica* (sálvia do Mediterrâneo Oriental) e os efeitos de seus óleos essenciais. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 71, p. 513–520, 2000.
- GARCIA, E. I. C. *et al.* Dietary supplements of vitamins E, C, and β -carotene to reduce oxidative stress in horses: an overview. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 110, 103863, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2022.103863>.
- GHARBY, S. *et al.* Caracterização química do óleo essencial das partes aéreas de *Lavandula rejdalii* Upson & Jury, uma planta medicinal endêmica do Marrocos. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 23, p. 1422–1427, 2020.
- MOHAMMADI, G. *et al.* The synergistic effects of plant polysaccharide and *Pediococcus acidilactici* as a synbiotic additive on growth, antioxidant status, immune response, and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Aeromonas hydrophila*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 120, p. 304–313, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.028>.
- GIRI, S. S.; SEN, S. S.; CHI, C.; KIM, H. J.; YUN, S.; PARK, S. C.; SUKUMARAN, V. Effect of guava leaves on the growth performance and cytokine gene expression of *Labeo rohita* and its susceptibility to *Aeromonas hydrophila* infection. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 46, n. 2, p. 217–224, 2015.
- GONZALES, A. P. P. F.; YOSHIOKA, E. T. O.; MATHEWS, P. D.; MERTINS, O.; CHAVES, F. C. M.; VIDEIRA, M. N.; TAVARES-DIAS, M. Eficácia anti-helmíntica do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (Poaceae) contra parasitas monogenéticos de *Colossoma macropomum* (Serrasalmidae) e efeitos sanguíneos e histopatológicos. **Aquaculture**, v. 528, 735500, 2020.

- GURAV, T. P.; DHOLAKIA, B. B.; GIRI, A. P. Um olhar sobre a quimiodiversidade das espécies de *Ocimum*: tendências, implicações e estratégias para a melhoria da qualidade e do rendimento do óleo essencial. **Phytochemistry Reviews**, v. 21, p. 879–913, 2021.
- GUTIÉRREZ, R. M. P.; MITCHELL, S.; SOLIS, R. V. *Psidium guajava*: uma revisão de seus usos tradicionais, fitoquímica e farmacologia. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 117, n. 1, p. 1–27, 2008.
- GUTIERREZ-MONTIEL, D.; GUERRERO-BARRERA, A. L.; CHÁVEZ-VELA, N. A.; AVELAR-GONZALEZ, F. J.; ORNELAS-GARCÍA, I. G. *Psidium guajava* L.: from byproduct and use in traditional Mexican medicine to antimicrobial agent. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, 1108306, 2023.
- HASAN, T.; JANG, W. J.; LEE, B.-J.; KIM, K. W.; HUR, S. W.; LIM, S. G.; BAI, S. C.; KONG, I.-S. O probiótico *Bacillus* sp. SJ-10 morto pelo calor atua como um intensificador do crescimento e da resposta da imunidade inata humoral em linguado-oliva (*Paralichthys olivaceus*). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 88, p. 424–431, 2019.
- HASAN, T.; JANG, W. J.; LEE, J. M.; LEE, B.-J.; HUR, S. W.; LIM, S. G.; KIM, K. W.; HAN, H.-S.; KONG, I.-S. Efeitos de imunostimulantes, prebióticos, probióticos, simbióticos e aditivos alimentares potencialmente imunorreativos em linguado-oliva (*Paralichthys olivaceus*): uma revisão. **Revista de Peixe. Sci. Aquac.**, v. 27, p. 417–437, 2019.
- HASAN, T.; LEE, S.; KIM, K. W.; LEE, B.-J.; HAN, H.-S.; BAI, S. C.; KONG, I.-S. Efeito de β -glucooligosacarídeos como um novo prebiótico para suplementação dietética na aquicultura de linguado-oliva (*Paralichthys olivaceus*). **Aquaculture Research**, v. 49, p. 1310–1319, 2018.
- HE, D.; WU, X. Q.; WU, K.; CHAI, X. H.; LIANG, Y. L.; ZHANG, X. Y.; XIE, W. Atividade sinérgica dos óleos essenciais de cravo e tomilho e sua interação contra *Malassezia furfur*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. **LWT**, v. 204, 116431, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116431>
- Hemato-immunological and zootechnical parameters of Nile tilapia fed essential oil of *Mentha piperita* after challenge with *Streptococcus agalactiae*. **Aquaculture**, v. 506, p. 205–211, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.035>
- HONG LI; JUN LI; ZICHUN HUA; TARIQ AZIZ; EBTIHAL KHOJAH; HAIYING CUI; LIN LIN. Transcriptomic combined with molecular dynamics simulation analysis of the inhibitory mechanism of clove essential oil against *Staphylococcus aureus* biofilm and its application on surface of food contact materials. **Food and Bioproducts Processing**, v. 150, p. 131–140, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.01.009>
- HOSEINI, S. M.; MIRGHAED, A. T.; YOUSEFI, M. Aplicação de anestésicos herbais na aquicultura. **Rev. Aquac.**, v. 11, p. 550–564, 2019.
- HOSEINIFAR, S. H.; YOUSEFI, S.; VAN DOAN, H.; ASHOURI, G.; GIOACCHINI, G.; MARADONNA, F., et al. Oxidative stress and antioxidant defense in fish: the implications of probiotic, prebiotic, and synbiotics. **Rev. Fish Sci. Aquac.**, v. 29, n. 2, p. 198–217, 2021.
- HOUSTON, R. D.; BEAN, T. P.; MACQUEEN, D. J.; GUNDAPPA, M. K.; JIN, Y. H.; JENKINS, T. L., et al. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture (Aproveitamento da genômica para acelerar o aprimoramento genético na aquicultura). **Nature Reviews Genetics**, v. 21, n. 7, p. 389–409, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0227-y>

HYLDAARD, M.; MEYER, R. L. Óleos essenciais na preservação de alimentos: modo de ação, sinergias e interações com componentes da matriz alimentar. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, 12, 2012.

IFEOMA, O. F. C.; UCHENDU, N. O.; ASOMADU, R. O.; EZEORBA, W. F. C.; EZEORBA, T. P. C. Screening of herbal medicines for potential toxicities. **New Insights into Toxicity and Drug Testing**, v. 244, p. 63–88, 2013.

IFEMOA, O.; OLUWAKANYINSOLA, S. Screening of herbal medicines for potential toxicities. **New Insights into Toxicity and Drug Testing**, v. 244, p. 63–88, 2013.

ILYASOV, I. R.; BELOBORODOV, V. L.; SELIVANOVA, I. A.; TEREKHOV, R. P. ABTS/PP decolorization assay of antioxidant capacity reaction pathways. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 3, 1131, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21031131>

ISEPPI, R.; TARDUGNO, R.; BRIGHENTI, V.; BENVENUTI, S.; SABIA, C.; PELLATI, F.; MESSI, P. Composição fitoquímica e atividade antimicrobiana in vitro de óleos essenciais da família Lamiaceae contra biofilmes de *Streptococcus agalactiae* e *Candida albicans*. **Antibiotics**, v. 9, n. 9, 592, 2020. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9090592>

ROLDAN-JUAREZ, J.; PINARES, R.; SMITH, C. E.; LLERENA, C. A.; MACHACA, V.; PIZARRO, D. M. Microencapsulated essential oils influence the growth and foregut histomorphometry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Veterinary and Animal Science**, v. 22, 100316, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100316>

ZHU, J.; XU, Z.; GAO, P.; LIU, X. Chemical composition, antioxidant activity, enzyme inhibitory effects, and network pharmacology analysis of essential oil from *Bulbophyllum kwangtungense* Schltr. **South African Journal of Botany**, v. 172, p. 701–709, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.08.005>

PAN, J.; ZHU, Y.; ABDEL-SAMIE, M. A.; LI, C.; CUI, H.; LIN, L. Biological properties of essential oil emphasized on the feasibility as antibiotic substitute in feedstuff. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 10–23, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2022.11.001>

ZHU, J.; LI, D.; XIAO, W.; YU, J.; CHEN, B.; ZOU, Z.; YANG, H. Survival, serum biochemical parameters, hepatic antioxidant status, and gene expression of three Nile tilapia strains under pathogenic *Streptococcus agalactiae* challenge. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 155, 110030, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.110030>

ZHU, J.; ZOU, Z.; LI, D.; XIAO, W.; YU, J.; CHEN, B.; YANG, H. Comparative transcriptomes reveal different tolerance mechanisms to *Streptococcus agalactiae* in hybrid tilapia, Nile tilapia, and blue tilapia. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 142, 109121, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.109121>

ORZUNA-ORZUNA, J. F.; GRANADOS-RIVERA, L. D. Growth performance, antioxidant status, intestinal morphology, and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) supplemented with essential oils: A meta-analysis. **Research in Veterinary Science**, v. 176, 105353, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105353>

JOSHI, A.; PRAKASH, O.; PANT, A. K.; KUMAR, R.; NEGI, M. S. Análise química e atividade antioxidante de óleos essenciais de dois morfotipos de *Lippia alba* (Mill.) NE Br. ex Britton & P. Wilson (Verbenaceae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 21, n. 3, p. 687–700, 2018. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1486232>

- MARKUS, K.; KIRSCHBAUM, T.; METZSCH-ZILLIGEN, E.; PFAENDNER, R. Processing stability and radical scavenging efficiency of novel biobased stabilizers: Insights from long-term extrusion and DPPH assays. **Polymer Degradation and Stability**, v. 233, 111162, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2024.111162>
- HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D. J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 13, n. 10, p. 572–584, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)
- EL-TARABILY, K. A.; EL-SAADONY, M. T.; ALAGAWANY, M.; ARIF, M.; BATIHA, G. E.; KHAFAGA, A. F.; ELWAN, H. A. M.; ELNESR, S. S.; ABD EL-HACK, M. E. Using essential oils to overcome bacterial biofilm formation and their antimicrobial resistance. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 9, p. 5145–5156, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.033>
- KHAN, R. U.; NAZ, S.; NIKOUSEFAT, Z.; TUFARELLI, V.; LAUDADIO, V. *Thymus vulgaris*: alternative to antibiotics in poultry feed. **World's Poultry Science Journal**, v. 68, p. 401–408, 2012. <https://doi.org/10.1017/S0043933912000517>
- KHATIB, S.; MAHDI, I.; DRISSI, B.; FAHSI, N.; BOUISSANE, L.; SOBEH, M. *Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.: constituintes voláteis, atividades antioxidante, antidiabética e cicatrizante de seu óleo essencial. **Heliyon**, v. 10, n. 3, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24563>
- KHWAZA, V.; ADERIBIGBE, B. A. Atividade antibacteriana de componentes selecionados de óleos essenciais e seus derivados: uma revisão. **Antibiotics**, v. 14, n. 1, 68, 2025. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14010068>
- KOSAKOWSKA, O.; WĘGLARZ, Z.; STYCZYŃSKA, S.; SYNOWIEC, A.; GNIEWOSZ, M.; BĄCZEK, K. Atividade de óleos essenciais de tomilho comum (*Thymus vulgaris* L.), orégano grego (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum*) e orégano comum (*Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare*) contra fitopatógenos selecionados. **Molecules**, v. 29, n. 19, 4617, 2024. <https://doi.org/10.3390/molecules29194617>
- KOWALCZYK, A.; PRZYCHODNA, M.; SOPATA, S.; BODALSKA, A.; FECKA, I. Thymol and thyme essential oil—new insights into selected therapeutic applications. **Molecules**, v. 25, n. 18, 4125, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25184125>
- KUMAR, M.; TOMAR, M.; AMAROWICZ, R.; SAURABH, V.; NAIR, M. S.; MAHESHWARI, C.; ...; SATANKAR, V. Folhas de goiaba (*Psidium guajava* L.): composição nutricional, perfil fitoquímico e bioatividades promotoras da saúde. **Alimentos**, v. 10, n. 4, 752, 2021.
- KUMAR, N. S.; TOMAR, M.; AMAROWICZ, R.; SAURABH, V.; NAIR, M. S.; MAHESHWARI, C.; ...; SATANKAR, V. Extraction of bioactive compounds from *Psidium guajava* leaves and its utilization in preparation of jellies. **AMB Express**, v. 11, 2021.
- LAFFERTY, K. D.; HARVELL, C. D.; CONRAD, J. M.; FRIEDMAN, C. S.; KENT, M. L.; KURIS, A. M., et al. Infectious diseases affect marine fisheries and aquaculture economics (Doenças infecciosas afetam a pesca marinha e a economia da aquicultura). **Annual Review of Marine Science**, v. 7, p. 471–496, 2015. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015646>
- LEAL, C. A. G.; QUEIROZ, G. A.; PEREIRA, F. L.; TAVARES, G. C.; FIGUEIREDO, H. C. P. *Streptococcus agalactiae* sequence type 283 in farmed fish, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, v. 25, n. 4, p. 776–779, 2019. <https://doi.org/10.3201/eid2504.180543>

- LEIRA, M. H.; REGHIM, L. S.; DA SILVA CIACCI, L.; DA CUNHA, L. T.; BOTELHO, H. A.; BRAZ, M. S.; ...; MELO, C. C. V. Problemas sanitários das pisciculturas brasileiras. **Pubvet**, v. 11, p. 538–645, 2017. <http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v11n6.538-544>
- SILVA, L. T. S.; PEREIRA, U. P.; OLIVEIRA, H. M.; BRASIL, E. M.; PEREIRA, S. A.; CHAGAS, E. C.; ALVES JESUS, G. F.; CARDOZO, L.; MOURIÑO, J. L. P.; MARTINS, M. L. Laterça. Lianhua Zhang, Xiangshu Piao, Use of aromatic plant-derived essential oils in meat and derived products: Phytochemical compositions, functional properties, and encapsulation. **Food Bioscience**, v. 53, 102520, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102520>
- LIU, G.; ZHU, J.; CHEN, K.; GAO, T.; YAO, H.; LIU, Y.; ...; LU, C. Development of *Streptococcus agalactiae* vaccines for tilapia. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 122, n. 2, p. 163–170, 2016.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, M.; CRIOLLO-NUÑEZ, J.; BELTRAN, J. I.; SANDOVAL-ALDANA, A. Composição química e atividade antioxidante do óleo essencial de manjeriço 'Nufar' (*Ocimum basilicum* L.) de três municípios de Tolima, Colômbia. **Food Chemistry Advances**, v. 5, 100819, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100819>
- LOURENÇO, S. C.; MOLDÃO-MARTINS, M.; ALVES, V. D. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. **Molecules**, v. 24, n. 22, 4132, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
- LUPIA, C.; CASTAGNA, F.; BAVA, R.; NATURALE, M. D.; ZICARELLI, L.; MARRELLI, M.; ...; PALMA, E. Use of essential oils to counteract the phenomena of antimicrobial resistance in livestock species. **Antibiotics**, v. 13, n. 2, 163, 2024. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13020163>
- ARUL RAJ, M. S.; SANTHI, V. P.; AMALRAJ, S.; MURUGAN, R.; GANGAPRIYA, P.; PRAGADHEESH, V. S.; SUNDARESAN, V.; GURAV, S. S.; PARAMAGURU, P.; ARULMOZHIAN, R.; AYYANAR, M. A comparative analysis of leaf essential oil profile, in vitro biological properties and in silico studies of four Indian Guava (*Psidium guajava* L.) cultivars, a promising source of functional food. **South African Journal of Botany**, v. 153, p. 357–369, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.005>
- MACAÚBAS-SILVA, C.; FÉLIX, M. D.; AQUINO, A. K. S. D.; PEREIRA-JÚNIOR, P. G.; BRITO, E. V. D. O.; OLIVEIRA-FILHO, A. A. D.; ...; TELES, Y. C. Araçain, a tyrosol derivative and other phytochemicals from *Psidium guineense* Sw. **Natural Product Research**, v. 35, n. 14, p. 2424–2428, 2021.
- MACÊDO, D. G.; SOUZA, M. M. A.; MORAIS-BRAGA, M. F. B.; COUTINHO, H. D. M.; DOS SANTOS, A. T. L.; DA CRUZ, R. P.; ...; DE MENEZES, I. R. A. Efeito da sazonalidade no perfil químico e na atividade antifúngica do óleo essencial isolado de folhas de *Psidium salutare* (Kunth) O. Berg. **PeerJ**, v. 6, e5476, 2018.
- MACEDO, J. G. F.; DE OLIVEIRA SANTOS, M.; NONATO, C. D. F. A.; SALAZAR, G. J. T.; RODRIGUES, F. F. G.; ALMEIDA-BEZERRA, J. W.; ...; DE ALMEIDA SOUZA, M. M. Composição química, atividade antioxidante, antibacteriana e moduladora do óleo essencial da espécie *Psidium* L. (Myrtaceae Juss.). **Biocatálise e Biotecnologia Agrícola**, v. 42, 102363, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102363>
- MAFRA, N. S. C.; EVERTON, G. O.; FERREIRA, A. M.; SALES, E. H.; JÚNIOR, P. S. S.; MOUCHREK FILHO, V. E. Potenciais biológicos do óleo essencial de *Ocimum basilicum* Linn coletados na região Pré-Amazônica do Maranhão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 8, e203985596, 2020.

- MAGNA MONTEIRO, V.; MEDINA, L.; CASANOVA, P.; ESPINOLA, M.; MACHADO, A.; RIBEIRO, A. A.; RIQUET, A.; RANGEL MIGUEL, T. B. A.; MIGUEL, E. C.; QUEVEDO NOGUEIRA, R. E. F. Evaluation of the acute toxicity by *Artemia salina* of hydroxyapatite nanoparticles obtained via sol-gel in an aqueous medium without using additives. **Ceramics International**, v. 49, n. 23, pt. B, p. 38509–38518, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.09.181>
- MAGOUZ, F. I.; MAHMOUD, S. A.; EL-MORSY, R. A.; PARAY, B. A.; SOLIMAN, A. A.; ZAINELDIN, A. I.; DAWOOD, M. A. O óleo essencial de mentol na dieta melhorou o desempenho do crescimento, a atividade das enzimas digestivas, os genes relacionados ao sistema imunológico e a resistência contra a exposição aguda à amônia na tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Aquicultura**, v. 530, 735944, 2021.
- MAGRI, A.; RAMOS, M.; MELLINAS, C.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Encapsulamento de óleo essencial de capim-limão em ciclodextrinas e maltodextrina: Estudos antioxidantes, antimicrobianos e de liberação. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 10, 100749, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100749>
- MAJOLO, C.; PILARSKI, F.; CHAVES, F. C. M.; BIZZO, H. R.; CHAGAS, E. C. Atividade antimicrobiana de alguns óleos essenciais contra *Streptococcus agalactiae*, um importante patógeno para a piscicultura no Brasil. **Journal of Essential Oil Research**, p. 1–10, 2018. <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1487343>
- MAJOLO, C.; MONTEIRO, P. C.; NASCIMENTO, A. V. P. D.; CHAVES, F. C. M.; GAMA, P. E.; BIZZO, H. R.; CHAGAS, E. C. Óleos essenciais de cinco espécies brasileiras de *Piper* como antimicrobianos contra cepas de *Aeromonas hydrophila*. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 22, p. 746–761, 2019.
- MALLMANN, V.; ARAGÃO, L. W. R.; FERNANDES, S. S. L.; SIMIONATTO, E.; COSTA, W. F. DA; COSTA, É. R.; JÚNIOR, B. P. C.; SILVA, R. C. DE L. da. Avaliação química e biológica de óleo essencial de *Ocotea corymbosa* (Meisn.) Mez. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 4, p. 19621–19636, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-215>
- MANESSIS, G.; KALOGIANNI, A. I.; LAZOU, T.; MOSCHOVAS, M.; BOSSIS, I.; GELASAKIS, A. I. Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. **Antioxidants**, v. 9, n. 12, 1215, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9121215>
- MAROFULL, N.; DAR, R. A.; FOMDA, B. A.; NAZIR, R. Combating food spoilage and pathogenic microbes via bacteriocins: A natural and eco-friendly substitute to antibiotics. **Food Control**, v. 149, 109710, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109710>
- MARTOS-SITCHA, J. A.; MANCERA, J. M.; PRUNET, P.; MAGNONI, L. J. Editorial: Bem-estar e estressores em peixes: desafios enfrentados pela aquicultura. **Frontiers in Physiology**, v. 11, 162, 2020.
- MBOOKANE, E. M.; MOYO, N. A. G. Uso de plantas medicinais como aditivos alimentares nas dietas de tilápia de Moçambique (*Oreochromis mossambicus*) e bagre africano de dentes afiados (*Clarias gariepinus*) na África Austral. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, 1072369, 2022.
- MD. MER MOSHARRAF HOSSAIN, S. A. A.; DEY, B. K.; ALAHMADI, T. A.; ANSARI, M. J.; RAHMAN, N.; ROJONI, S. A.; BRISTY, S. A.; HOSSAIN, M. B.; ALAM, M. M.; SEN, B. K.; GHOSH, R. R.; RAHMAN, M. Dietary *Psidium guajava*, guava leaf extract protects *Oreochromis niloticus*, Nile tilapia from *Pseudomonas aeruginosa* infection and enhances growth. **Comparative Immunology Reports**, v. 7, 200164, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cirep.2024.200164>

- MD. SOHEL RANA, N. M. A. R.; HOSSAIN EMON, M. S.; ISLAM, M. T.; RATHRY, K.; HASAN, M. M.; MANSUR, M. M. I.; SRIJON, B. C.; ISLAM, M. S.; RAY, A.; RAKIB, M. A.; ISLAM, A.; KUDRAT-E-ZAHAN, M.; HOSSSEN, M. F.; ASRAF, M. A. Antioxidant activity of Schiff base ligands using the DPPH scavenging assay: an updated review. **RSC Advances**, v. 14, n. 45, p. 33094–33123, 2024. <https://doi.org/10.1039/d4ra04375h>
- METIN, S.; BIÇER, Z. I. Atividade antibacteriana de alguns óleos essenciais contra *Vagococcus salmoninarum*. **Escopo Journal**, v. 35, p. 167–173, 2020.
- MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. J.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta Medica**, v. 45, n. 5, p. 31–34, 1982.
- MILLEZI, A. F.; PICCOLI, R. H.; OLIVEIRA, J. M.; PEREIRA, M. O. Anti-biofilm and antibacterial effect of essential oils and their major compounds. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 19, n. 3, p. 624–631, 2016. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.960262>
- MIURA, P. T.; QUEIROZ, S. C. N.; JONSSON, C. M.; CHAGAS, E. C.; CHAVES, F. C. M.; REYES, F. G. Estudo da composição química e avaliação ecotoxicológica de óleos essenciais de *Daphnia magna* com potencial uso em aquicultura. **Aquaculture Research**, v. 52, n. 7, p. 3415–3424, 2021. <https://doi.org/10.1111/are.15186>
- MOHAMADIPOUR, S.; HATAMZADEH, A.; BAKHSHI, D.; PASDARAN, A. Antimicrobial activities of *Caucalis platycarpus* L. and *Eryngium caucasicum* Trautv. essential oils. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 8, p. 1357–1362, 2018. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.995794640521784>
- MORSHELOO, M. R.; QUASSINTI, L.; BRAMUCCI, M.; LUPIDI, G.; MAGGI, F. Composição química, atividade antioxidante e citotoxicidade em células tumorais do óleo essencial de flores de *Magnolia grandiflora* cultivadas no Irã. **Natural Product Research**, v. 31, p. 2857–2864, 2017.
- MOURABITI, F.; DERDAK, R.; EL AMRANI, A.; MOMEN, G.; TIMINOUNI, M.; SOUKRI, A.; ... ZOUHEIR, Y. The antimicrobial effectiveness of *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia*, and *Salvia officinalis* essential oils against *Klebsiella pneumoniae* and *Pseudomonas aeruginosa* in vitro and in silico. **South African Journal of Botany**, v. 168, p. 112–123, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.03.015>
- MYSZKA, K.; OLEJNIK, A.; MAJCHER, M.; SOBIESZCZAŃSKA, N.; GRYGIER, A.; POWIERSKA-CZARNY, J.; RUDZIŃSKA, M. Óleo essencial de pimenta verde como agente bioconservante para produtos à base de pescado: Atividades antimicrobianas e antivirulentas contra *Pseudomonas aeruginosa* KM01. **LWT**, v. 108, p. 6–13, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.047>
- NAPOLI, E.; SIRACUSA, L.; RUBERTO, G. Novos truques para os mais velhos: Desenvolvimentos recentes em química, bioquímica, aplicações e exploração de espécies selecionadas da família Lamiaceae. **Chemistry & Biodiversity**, v. 17, e1900677, 2020.
- NASEER, S.; HUSSAIN, S.; NAEEM, N.; PERVAIZ, M.; RAHMAN, M. A fitoquímica e o valor medicinal de *Psidium guajava* (goiaba). **Fitociência Clínica**, v. 4, n. 1, p. 1–8, 2018.
- NAZZARO, F.; FRATIANNI, F.; DE MARTINO, L.; COPPOLA, R.; DE FEO, V. Efeito dos óleos essenciais em bactérias patogênicas. **Pharmaceuticals**, v. 6, p. 1451–1474, 2013.

NENAD, L. V.; VUKIĆ, M.; BRANKOVIĆ, J.; PETROVIĆ, V.; GALOVIČOVA, L.; ČMIKOVA, N.; KAČANIOVA, M. The antimicrobial and antibiofilm potential of the *Piper nigrum* L. essential oil: in vitro, in situ, and in silico study. **Industrial Crops and Products**, v. 209, 118075, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118075>

NISAR, T.; YANG, X.; ALIM, A.; IQBAL, M.; GUO, Y. Respostas físico-químicas e alterações microbiológicas de sargo (*Megalobrama amblycephala*) a revestimentos à base de pectina enriquecidos com óleo essencial de cravo durante a refrigeração. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 124, p. 1156–1166, 2019.

NIZIO, D. A. D. C.; FUJIMOTO, R. Y.; MARIA, A. N.; CARNEIRO, P. C. F.; FRANÇA, C. C. S.; SOUSA, N. D. C.; BRITO, F. D. A.; SAMPAIO, T. S.; ARRIGONI-BLANK, M. D. F.; BLANK, A. F. Óleos essenciais de acessos de *Varronia curassavica* têm atividade diferente contra a doença da mancha branca em peixes de água doce. **Parasitology Research**, v. 117, p. 97–105, 2018.

OBAME-ENGONGA, L. C.; ABDOUL-LATIF, F. M.; ONDO, J. P.; SIMA-OBIANG, C.; NGOUA-MEYE-MISSO, R. L.; TRAORÉ, A. Triagem fitoquímica, atividades antioxidantes e antibacterianas das plantas medicinais *Guibourtia ehie* e *Syzygium rowlandii* do Gabão. **International Journal of Current Research**, v. 9, p. 56354–56360, 2017.

OCDE. Teste nº 202: Teste de imobilização aguda de *Daphnia* sp. Diretrizes da OCDE para testes de produtos químicos, Seção 2. Paris: Publicações da OCDE, 2004. <https://doi.org/10.1787/9789264069947-en>

OECD. Guideline for testing on chemicals: *Daphnia* sp. - acute immobilization test. Paris, 2004.

OFOSU, F. K.; DALIRI, E. B. M.; ELAHI, F.; CHELLIAH, R.; LEE, B. H.; OH, D. H. Novos insights sobre o uso de polifenóis como conservantes naturais e suas preocupações emergentes com a segurança. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 525810, 2020.

OLARU, O.; IVOPOL, M.; NITULESCU, G.; DUNE, A.; CALINESCU, I.; IVOPOL, G.; ... NITULESCU, G. M. Toxicity of various antimicrobial essential oils assessed using *Artemia salina* and *Daphnia magna*. **Toxicology Letters**, v. 258, S68, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.06.1329>

OLIVEIRA, E. G.; PEREIRA ARAÚJO, R. J.; DA SILVA DOS SANTOS, A. B.; SERRA ROSA, P. V.; DE OLIVEIRA CARVALHO JUNIOR, R. G.; TELES, A. M.; ... MOUCHREK FILHO, V. E. Caracterização química, atividade antimicrobiana e toxicidade dos óleos essenciais da *Pimenta dioica* L. (pimenta da Jamaica) e *Citrus sinensis* L. Osbeck (laranja doce). **Revista Colombiana de Ciências Químico-Farmacéuticas**, v. 49, n. 3, p. 641–655, 2020.

OMONIJO, F. A.; NI, L.; GONG, J.; WANG, Q.; LAHAYE, L.; YANG, C. Essential oils as alternatives to antibiotics in swine production. **Animal Nutrition**, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.001>

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Fishstatj, uma ferramenta para análise de estatísticas pesqueiras, versão: 3.04.5. Departamento de Pesca, Unidade de Informação, Dados e Estatísticas Pesqueiras, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>. Acesso em: 12 dez. 2020.

OUASSIL, M.; ABDOUL-LATIF, F. M.; AM, A.; ATTAHAR, W.; AINANE, A.; AINANE, T. Composição química dos óleos essenciais de louro e alecrim do Marrocos e sua atividade antifúngica contra cepas de *Fusarium*. **Pharmacologyonline**, v. 2, p. 426–433, 2021.

- OZOGUL, Y.; BOĞA, E. K.; AKYOL, I.; DURMUS, M.; UCAR, Y.; REGENSTEIN, J. M.; KÖŞKER, A. R. Atividade antimicrobiana de nanoemulsões de óleo essencial de tomilho sobre bactérias deteriorantes de peixes e patógenos de origem alimentar. **Food Bioscience**, v. 36, 100635, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100635>
- ÖZOGUL, Y.; EL ABED, N.; ÖZOGUL, F. Antimicrobial effect of laurel essential oil nanoemulsion on food-borne pathogens and fish spoilage bacteria. **Food Chemistry**, v. 368, p. 130831, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130831>
- PARAY, B. A.; EL-BASUINI, M. F.; ALAGAWANY, M.; ALBESHR, M. F.; FARAH, M. A.; DAWOOD, M. A. O. Uso de *Yucca schidigera* para animais aquáticos saudáveis: papéis potenciais para a sustentabilidade. **Animals**, v. 11, p. 93, 2021.
- PAVELA, R.; BENELLI, G.; PETRELLI, R.; CAPPELLACCI, L.; LUPIDI, G.; SUT, S.; DALL'ACQUA, S.; MAGGI, F. Explorando o potencial inseticida do óleo essencial de boldo (*Peumus boldus*): toxicidade para pragas e vetores e impacto não-alvo no microcrustáceo *Daphnia magna*. **Molecules**, v. 24, n. 5, p. 879, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24050879>
- PECNARD, S.; PROVOT, O.; LEVAIQUE, H.; BIGNON, J.; ASKENATZIS, L.; SALLER, F.; HAMZE, A. Análogos de ponte cíclicos de isoCA-4: Design, síntese e avaliação biológica. **Eur. J. Med. Chem.**, v. 209, p. 112873, 2021.
- PECORARO, R.; SCALISI, E. M.; MESSINA, G.; FRAGALÀ, G.; IGNOTO, S.; SALVAGGIO, A.; ZIMBONE, M.; IMPELLIZZERI, G.; BRUNDO, M. V. *Artemia salina*: um microcrustáceo para avaliar a toxicidade de nanopartículas projetadas. **Microsc. Res. Tech.**, v. 84, p. 531–536, 2021.
- PEIXE, B. R. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2024**. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura, 2024.
- PEREIRA, G. A.; CHAVES, D. S. D. A.; SILVA, T. M. E.; MOTTA, R. E. D. A.; SILVA, A. B. R. D.; PATRICIO, T. C. D. C. Antimicrobial activity of *Psidium guajava* aqueous extract against sensitive and resistant bacterial strains. **Microorganisms**, v. 11, n. 7, p. 1784, 2023.
- POLEZ, V. L. P.; DANTAS, K. D. S.; DUARTE, A. D. O.; MAGARELLI, G.; DA SILVA, L. P. Método de avaliação antioxidante de material vegetal por DPPH em microplaca e controle de qualidade, 2023.
- PRAMITHA, D. A. I.; HERLINA, T.; MAKSUM, I. P.; HARDIANTO, A.; AKILI, A. W. R.; LATIP, J. Perfil metabólico e atividades antioxidantes dos óleos essenciais de Trikatu, pimenta-do-reino, pimenta-longa javanesa e gengibre vermelho. **Phytomedicine Plus**, v. 5, n. 1, p. 100702, 2025. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PHYPLU.2024.100702](https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2024.100702)
- RAEISI, M.; HASHEMI, M.; AMINZARE, M.; GHORBANI-BIDKORBEH, F.; EBRAHIMI, M.; JANNAT, B.; TEPE, B.; NOORI, S. M. A. Efeitos do revestimento de alginato de sódio e quitosana combinados com três óleos essenciais diferentes nos atributos microbianos e químicos de filés de truta arco-íris. **J. Aquat. Tecnologia de Produção de Alimentos**, v. 29, p. 253–263, 2020.
- RAGNO, R.; PAPA, R.; PATSILINAKOS, A.; VRENNA, G.; GARZOLI, S.; TUCCIO, V. Essential oils against bacterial isolates from cystic fibrosis patients by means of antimicrobial and unsupervised machine learning approaches. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 2653, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59553-8>

RASUL, M. G.; MAJUMDAR, B. C. Abuso de antibióticos na aquicultura e seus efeitos no ser humano, nos animais aquáticos e no meio ambiente. **Saudi J Life Sci**, v. 2, n. 3, p. 81–88, 2017. <https://doi.org/10.21276/haya>

REDA, F. M.; EL-SAADONY, M. T.; ELNESR, S. S.; ALAGAWANY, M.; TUFARELLI, V. Effect of dietary supplementation of biological curcumin nanoparticles on growth and carcass traits, antioxidant status, immunity and caecal microbiota of Japanese quails. **Animals**, v. 10, n. 5, p. 754, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10050754>

REVERTER, M.; SARTER, S.; CARUSO, D.; AVARRE, J. C.; COMBE, M.; PEPEY, E. Aquaculture at the crossroads of global warming and antimicrobial resistance (Aquicultura na encruzilhada do aquecimento global e da resistência antimicrobiana). **Nat Commun**, v. 11, p. 1870, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15735-6>

REVERTER, M.; TAPISSIER-BONTEMPS, N.; SARTER, S.; SASAL, P.; CARUSO, D. Moving towards more sustainable aquaculture practices: a meta-analysis on the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 1, p. 537–555, 2021. <https://doi.org/10.1111/raq.12485>

REVERTER, M.; TAPISSIER-BONTEMPS, N.; SASAL, P.; SAULNIER, D. Uso de plantas medicinais na aquicultura. **Diagnóstico e controle de doenças de peixes e crustáceos**, p. 223–261, 2017.

RIBEIRO, R. V.; BIESKI, I. G. C.; BALOGUN, S. O.; DE OLIVEIRA MARTINS, D. T. Estudo etnobotânico de plantas medicinais utilizadas pelos ribeirinhos na microrregião do Araguaia Norte, Mato Grosso, Brasil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 205, p. 69–102, 2017.

RICARDO-RODRIGUES, S.; ROUXINOL, M. I.; AGULHEIRO-SANTOS, A. C.; POTES, M. E.; LARANJO, M.; ELIAS, M. The antioxidant and antibacterial potential of thyme and clove essential oils for meat preservation—an overview. **Applied Biosciences**, v. 3, n. 1, p. 87–101, 2024. <https://doi.org/10.3390/applbiosci3010006>

RICO, A.; VAN DEN BRINK, P. J. Avaliação de risco probabilística de medicamentos veterinários aplicada a quatro espécies principais de aquicultura produzidas na Ásia. **Science of the Total Environment**, v. 468, p. 630–641, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.063>

SADEGHI, F.; AHMADIFAR, E.; MOGHADAM, M. S.; GHIYASI, M.; DAWOOD, M.; YILMAZ, S. Limão, *Citrus aurantifolia*, casca e *Bacillus licheniformis* protegeram a carpa comum, *Cyprinus carpio*, da infecção por *Aeromonas hydrophila*, melhorando a imunidade humoral e da mucosa da pele e as respostas antioxidantes. **J. World Aquac. Soc.**, 2020.

SAEED HAJIREZAEI, F.; ROHANIZADEHGHADIKOLAEI, F.; AFZALI-KORDMAHALLEH, A.; KHANJANI, M. H. Effects of dietary common juniper (*Juniperus communis*) essential oil on growth, immunity, antioxidant status, and disease resistance in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture Reports**, v. 34, p. 101895, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101895>

EGBEWALE, S. O.; KUMAR, A.; OLASEHINDE, T. A.; MOKOENA, M. P.; OLANIRAN, A. O. ABTS mediator enhances biotransformation of fluoranthene by laccases from *Trichoderma lixii* FLU1 and *Talaromyces pinophilus* FLU12. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 196, p. 105946, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2024.105946>

AFONSO, S.; FERREIRA, V.; MOREIRA-SANTOS, M. Comparing the sensitivity of aquatic organisms relative to *Daphnia sp.* toward essential oils and crude extracts: a meta-analysis.

Science of the Total Environment, v. 908, p. 168467, 2024.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168467>

SANTANA, B. F.; VOEKS, R. A.; FUNCH, L. S. Ethnomedicinal survey of a maroon community in Brazil's Atlantic tropical forest. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 181, p. 37–49, 2016.

SARHADI, I.; ALIZADEH, E.; AHMADIFAR, E.; ADINEH, H.; DAWOOD, M. A. Mucosa da pele, imunidade sérica e capacidade antioxidante da carpa comum (*Cyprinus carpio*) alimentada com artemísia (*Artemisia annua*). 2020, v. 20, p. 1011–1027.

SAVIANO, A. M.; LOURENÇO, F. R. Estimativa de incerteza de medição com base em análise de regressão múltipla (MRA) e simulações de Monte Carlo (MC) — Aplicação ao método de difusão em ágar. **Measurement**, v. 115, p. 269–278, 2018.

SCHERER, R.; GODOY, H. T. Antioxidant activity index (AAI) by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method. **Food Chemistry**, v. 112, n. 3, p. 654–658, 2009.

SHAH, B. R.; MRÁZ, J. Avanços em nanotecnologia para aquicultura e pesca sustentáveis. **Rev. Aquac.**, v. 12, p. 925–942, 2019.

SHARIFI-RAD, J.; ADETUNJI, C. O.; OLANIYAN, O. T.; OJO, S. K.; SAMUEL, M. O.; TEMITAYO, B. T.; CONTRERAS, M. D. Atividades antimicrobianas, antioxidantes e outras atividades farmacológicas de espécies de *Ocimum*: potencial para serem usadas como conservantes de alimentos e ingredientes funcionais. **Food Rev. Int.**, p. 1–31, 2021.

SHEKARABI, S. P. H.; OMIDI, A. H.; DAWOOD, M.; ADEL, M.; AVAZEH, A.; HEIDARI, F. Efeito do pó de amoreira-preta (*Morus nigra*) no desempenho do crescimento, parâmetros bioquímicos, concentração de carotenoides no sangue e cor do filé de truta arco-íris. **Ann. Anim. Sci.**, v. 20, p. 125–136, 2020.

SHOKRY, A.; KHALIL, M.; IBRAHIM, H.; SOLIMAN, M.; EBRAHIM, S. Avaliação de toxicidade aguda de pontos quânticos de polianilina/nanopartículas de Ag/óxido de grafeno em *Cypridopsis vidua* e *Artemia salina*. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5336, 2021.

SHOURBELA, R.; KHATAB, S.; HASSAN, M.; VAN DOAN, H.; DAWOOD, M. O efeito da densidade de estocagem e das fontes de carbono no estado oxidativo e na imunidade inespecífica da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) criada em condições de bioflocos. **Animais**, v. 11, p. 184, 2021.

SRIVASTAVA, S.; LAL, R. K.; YADAV, K.; PANT, Y.; BAWITLUNG, L.; KUMAR, P.; GUPTA, P.; PAL, A.; ROUT, P. K.; CHANOTIYA, C. S. Chemical composition of phenylpropanoid rich chemotypes of *Ocimum basilicum* L. and their antimicrobial activities. **Industrial Crops and Products**, v. 183, p. 114978, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114978>

SUTILI, F. J.; GATLIN, D. M. III; HEINZMANN, B. M.; BALDISSEROTTO, B. Óleos essenciais de plantas como aditivos na dieta de peixes: benefícios na saúde dos peixes e estabilidade na ração. **Reviews in Aquaculture**, v. 10, p. 716–726, 2018. <https://doi.org/10.1111/raq.12197>

SWATHY, J. S.; MISHRA, P.; THOMAS, J.; MUKHERJEE, A.; CHANDRASEKARAN, N. Antimicrobial potency of high-energy emulsified black pepper oil nanoemulsion against aquaculture pathogen. **Aquaculture**, v. 491, p. 210–220, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.045>

DAS, S.; PRADHAN, C.; PILLAI, D. Dietary coriander (*Coriandrum sativum* L.) oil improves antioxidant and anti-inflammatory activity, innate immune responses and resistance to

Aeromonas hydrophila in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 132, p. 108486, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.108486>

THANGALEELA, S.; SIVAMARUTHI, B. S.; KESIKA, P.; BHARATHI, M.; KUNAVIKTIKUL, W.; KLUNKLIN, A. Essential oils, phytoncides, aromachology, and aromatherapy—a review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 9, p. 4495, 2022.

THIELMANN, J.; MURANYI, P.; KAZMAN, P. Triagem de óleos essenciais quanto às suas atividades antimicrobianas contra as bactérias patogênicas de origem alimentar *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. **Heliyon**, v. 5, n. 6, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01860>

TISSERAND, R.; YOUNG, R. Essential Oil Safety: A Guide for Health Professionals. 2. ed. Elsevier, 2014. ISBN 978-0-443-06241-4

TRINDADE, J. K. M.; TRINDADE, Í. T. M.; ABEGG, M. A.; CORRÊA, G. M.; DO CARMO, D. F. D. M. Perfil químico e atividade antimicrobiana do óleo essencial de variedades de *Psidium guajava* L. (*Myrtaceae*). **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 10, e211101018794-e211101018794, 2021.

UGBOGU, E. A.; EMMANUEL, O.; UCHE, M. E.; DIKE, E. D.; OKORO, B. C.; IBE, C. The ethnobotanical, phytochemistry and pharmacological activities of *Psidium guajava* L. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 5, p. 103759, 2022.

UNITED NATIONS. **Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)**. 8th rev. ed. New York; Geneva: United Nations, 2019. 536 p. ISBN 978-92-1-117199-0

VALDIVIESO-UGARTE, M.; PLAZA-DIAZ, J.; GOMEZ-LLORENTE, C.; GÓMEZ, E. L.; SABÉS-ALSINA, M.; GIL, Á. In vitro examination of antibacterial and immunomodulatory activities of cinnamon, white thyme, and clove essential oils. **Journal of Functional Foods**, v. 81, p. 104436, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104436>

VALENTIM, D. S. S.; DUARTE, J. L.; OLIVEIRA, A. E. M. F. M.; CRUZ, R. A. S.; CARVALHO, J. C. T.; CONCEIÇÃO, C. E. Nanoemulsão de óleo essencial de *Pterodon emarginatus* (Fabaceae) mostra eficácia in vitro contra monogenéticos de *Colossoma macropomum* (Pisces: Serrasalminidae). **J. Peixe Dis.**, v. 41, p. 443–449, 2018.

VALLADÃO, G. M. R.; GALLANI, S. U.; PALA, G.; JESUS, R. B.; KOTZENT, S.; COSTA, J. C.; SILVA, T. F. A.; PILARSKI, F. Practical diets with essential oils of plants activate the complement system and alter the intestinal morphology of Nile tilapia. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 5640–5649, 2017. <https://doi.org/10.1111/are.13386>

VAN STAPPEN, G.; SUI, L.; HOA, V. N.; TAMTIN, M.; NYONJE, B.; MEDEIROS ROCHA, R. Revisão sobre produção integrada da artêmia *Artemia* em lagoas solares de sal. **Rev. Aquacult.**, v. 12, p. 1054–1071, 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12371>

VASEEHARAN, B.; THAYA, R. Derivados de plantas medicinais como imunoestimulantes: Uma alternativa aos quimioterápicos e antibióticos na aquicultura. **Aquac. Int.**, v. 22, p. 1079–1091, 2014.

WEI, R.; GE, F.; CHEN, M.; WANG, R. Ocorrência de ciprofloxacino, enrofloxacino e florfenicol em águas residuais animais e recursos hídricos. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, p. 1481–1486, 2012. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0014>

TANG, W.; ZHANG, Z.; NIE, D.; LIU, S.; LI, Y.; LIU, M.; ZHANG, Y.; OU, N.; LI, Y. Selective antibacterial activity of *Citrus medica* limonum essential oil against *Escherichia coli* K99 and

Lactobacillus acidophilus and its antibacterial mechanism. **LWT**, v. 186, p. 115215, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115215>

WELI, A.; AL-KAABI, A.; AL-SABAHI, J.; SAID, S.; HOSSAIN, M. A.; AL-RIYAMI, S. Chemical composition and biological activities of the essential oils of *Psidium guajava* leaf. **Journal of King Saud University-Science**, v. 31, n. 4, p. 993–998, 2019.

GUO, X.-M.; GAO, W.; CHEN, X.; WANG, H.-L.; ZHAO, R.-H.; XIE, G.-S.; HUANG, J. Is *Artemia* susceptible to the microsporidium *Ecytonucleospora hepatopenaei* (EHP) infection? **Aquaculture**, v. 590, p. 741014, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741014>

YAP, P. S. X.; YIAP, B. C.; PING, H. C.; LIM, S. H. E. Essential oils, a new horizon in combating bacterial antibiotic resistance. **The Open Microbiology Journal**, v. 8, p. 6–14, 2014.

YAP, P. S. X.; YUSOFF, K.; LIM, S. H. E.; CHONG, C. M.; LAI, K. S. Membrane disruption properties of essential oils—A double-edged sword? **Processes**, v. 9, n. 4, p. 595, 2021.

YAZBEK, P. B.; MATTA, P.; PASSERO, L. F.; DOS SANTOS, G.; BRAGA, S.; ASSUNÇÃO, L. Plantas utilizadas como medicamentos pelos moradores do Quilombo da Fazenda, Núcleo Picinguaba, Ubatuba, São Paulo, Brasil: Uma pesquisa participativa. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 244, p. 112123, 2019.

YIN, X. L.; LI, Z. J.; YANG, K.; LIN, H. Z.; GUO, Z. X. Effect of guava leaves on growth and the non-specific immune response of *Penaeus monodon*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 40, n. 1, p. 190–196, 2014.

YOUSEFI, M.; GHAFARIFARSANI, H.; HOSEINI, S. M.; HOSEINIFAR, S. H.; ABTAHI, B.; VATNIKOV, Y. A. Effects of dietary thyme essential oil and prebiotic administration on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) welfare and performance. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 120, p. 737–744, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.023>

ZANETTI, M.; TERNUS, Z.; DALCANTON, F.; DE MELLO, M.; DE OLIVEIRA, D.; ARAUJO, P.; RIELLA, H.; FIORI, M. Caracterização microbiológica do geraniol puro e comparação com a atividade bactericida do ácido cinâmico em bactérias gram-positivas e gram-negativas. **J. Microb. Biochem. Technol.**, v. 7, p. 186–193, 2015.

ZENG, Z.; ZHANG, S.; WANG, H.; PIAO, X. Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 7, 2015.

ZHAO, Y.; YANG, Q. E.; ZHOU, X.; WANG, F.-H.; MUURINEN, J.; BRANDT, K. K.; ZHU, Y. Resistoma de antibióticos nas indústrias de pecuária e aquicultura: status e soluções. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, p. 1–38, 2020.

ZHU, F. Uma revisão sobre a aplicação de medicamentos fitoterápicos no controle de doenças de animais aquáticos. **Aquaculture**, v. 526, p. 735422, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735422>

ZUCKER, E. Hazard evaluation division, Standard evaluation procedure: Acute toxicity test for freshwater invertebrates. EPA/540/9-85/005, Washington: US Environmental Protection Agency.