

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

Potencial fitoquímico dos óleos essenciais: exploração e aplicações

Phytochemical potential of essential oils: exploration and applications

Zuleide Silva de Carvalho¹

¹ Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Campus Universitário, CEP: 44380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil, e-mail: zuleidescarvalho@gmail.com

Recebido: 14 setembro 2023;

Aceito: 20 setembro 2023;

Publicado: 21 setembro 2023.

Como citar:

CARVALHO, Z. S. de. Potencial fitoquímico dos óleos essenciais: exploração e aplicações. **Boletim Científico Agrônomo do CCAAB/UFRB**, v. 1, e2254, 2023. Disponível em:

<https://ufrb.edu.br/ccaab/boletim-cientifico-agronomico-do-ccaab-volume1/2254-2254-pdf>

Resumo: O potencial fitoquímico dos óleos essenciais engloba um amplo espectro de tópicos, desde o conceito fundamental desses compostos aromáticos e suas rotas metabólicas de produção até as estruturas secretoras especializadas em plantas, como cavidades oleíferas, canais resiníferos e tricomas. A complexa composição química dos óleos essenciais, variável entre diferentes partes das plantas, é fundamental para sua função nas interações ecológicas e aplicações práticas. Esses óleos desempenham papéis vitais como antioxidantes, combatendo os radicais livres e o estresse oxidativo, enquanto também demonstram atividade antimicrobiana contra fungos, bactérias e vírus. A compreensão abrangente desses aspectos contribui para a valorização e aplicação desses recursos naturais em diversas áreas, desde a indústria até a saúde humana e ambiental. Objetivou-se revisar o potencial fitoquímico dos óleos essenciais, abordando diversos tópicos relevantes na compreensão de suas propriedades e aplicações.

Palavras-chave: Óleos essenciais. Metabólitos secundários. Compostos bioativos. Atividade antimicrobiana. Atividade antioxidante.

Abstract: The phytochemical potential of essential oils encompasses a broad spectrum of topics, ranging from the fundamental concept of these aromatic compounds and their metabolic production pathways to specialized secretory structures in plants, such as oil cavities, resin ducts, and trichomes. The complex chemical composition of essential oils, which varies across different plant parts, is crucial to their role in ecological interactions and practical applications. These oils play vital roles as antioxidants, combating free radicals and oxidative stress, while also exhibiting antimicrobial activity against fungi, bacteria, and viruses. A comprehensive understanding of these aspects contributes to the appreciation and utilization of these natural resources across various domains, from industry to human and environmental health. The aim of this study was to review the phytochemical potential of essential oils, addressing various relevant topics in understanding their properties and applications.

Keywords: Essential oils. Secondary metabolites. Bioactive compounds. Antimicrobial activity. Antioxidant activity.

1. Introdução

Os óleos essenciais, obtidos de diversas partes de plantas, emergem como alvo central de pesquisa científica devido à sua complexidade fitoquímica e a uma ampla gama de aplicações em várias indústrias e terapêuticas (Bakkali *et al.*, 2008). Compostos voláteis, esses óleos são conhecidos por sua diversidade molecular, o que confere a eles propriedades únicas e impulsiona seu estudo tanto na botânica quanto na biomedicina (Dudareva, *et al.*, 2006). A fitoquímica dos óleos essenciais, que abrange desde sua composição química até as estruturas secretoras especializadas envolvidas em sua síntese, assume papel central na compreensão das interações ecológicas e nas aplicações humanas.

A extensa lista de benefícios atribuídos aos óleos essenciais tem suscitado interesse interdisciplinar, englobando áreas como biologia e medicina. Estudos demonstram que os óleos essenciais podem atuar como agentes antioxidantes, protegendo as células contra danos oxidativos (Kashyap *et al.*, 2023; Pan; Luo; Gong, 2023). Além disso, sua atividade antimicrobiana tem sido extensivamente investigada, com resultados promissores contra diversas bactérias, fungos e vírus (Huong *et al.*, 2024; Awuchi; Morya, 2023). A ação anti-inflamatória dos óleos essenciais também tem se destacado, sendo relatados efeitos moduladores em vias inflamatórias chave (Veras *et al.*, 2023; Valente *et al.*, 2013). Tais características bioativas conferem aos óleos essenciais uma

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

relevância significativa no combate a condições patológicas e na promoção do bem-estar humano.

Os avanços científicos têm lançado novas luzes sobre a diversidade de compostos presentes nos óleos essenciais e seu impacto multifacetado. À medida que se expande a compreensão das complexas interações entre os componentes químicos e seus efeitos biológicos, torna-se cada vez mais claro que uma revisão holística é necessária para integrar esse conhecimento fragmentado e guiar pesquisas futuras.

Apesar dos avanços notáveis na pesquisa sobre óleos essenciais, a sistematização do vasto potencial e das aplicações desses compostos permanece um desafio crucial. Uma revisão atualizada é fundamental para preencher as lacunas que ainda persistem no entendimento desses óleos, abrindo portas para novas descobertas e insights. A complexidade da fitoquímica envolvida e a ampla variedade de aplicações requerem uma análise aprofundada e integrada, capaz de lançar luz sobre os mecanismos subjacentes e as potenciais aplicações práticas.

Nesse contexto, a presente nota técnica se propõe a abordar de maneira abrangente a pesquisa sobre óleos essenciais, preenchendo uma necessidade crucial de compreensão mais profunda. Seu âmbito abrange uma minuciosa investigação das vias metabólicas subjacentes à produção desses compostos, detalhando os processos bioquímicos que culminam na síntese dessas substâncias aromáticas. A análise aprofundada das rotas metabólicas busca elucidar a complexa interação molecular que resulta na diversidade fitoquímica dos óleos essenciais, destacando sua formação e composição distintas. Adicionalmente, esta nota técnica destaca-se ao conduzir uma análise detalhada das múltiplas funções biológicas atribuídas aos óleos essenciais e suas aplicações práticas, fornecendo uma compreensão abrangente e enriquecedora de seu potencial para impactar uma ampla gama de domínios científicos e aplicados.

2.0 Os óleos essenciais

Os óleos essenciais, compostos aromáticos voláteis de origem vegetal, representam uma expressão intrincada da química natural, encapsulando os perfis aromáticos característicos das plantas das quais são extraídos. Seu nome, "essenciais", deriva do fato de que eles capturam a "essência" do aroma e das propriedades biológicas únicas das plantas, refletindo sua evolução adaptativa e papel na ecologia. Em geral, os óleos essenciais consistem em uma mistura complexa de compostos orgânicos, frequentemente contendo terpenos, terpenóides, fenilpropanóides e outros metabólitos secundários, todos caracterizados por baixo peso molecular.

A importância dos óleos essenciais transcende sua mera característica aromática. Eles desempenham um papel fundamental nas interações ecológicas das plantas, atuando como sinais químicos para a comunicação intra e interespecíficas. Através da atração de polinizadores, repelência de herbívoros e defesa contra patógenos, os óleos essenciais desempenham

um papel crucial na sobrevivência e adaptação das plantas em seus ambientes.

Além de seu papel na ecologia, os óleos essenciais têm aplicações práticas significativas nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética e terapêutica. Na indústria de alimentos, são utilizados como aditivos naturais para conferir sabores e aromas distintos, bem como para preservar os alimentos devido às suas propriedades antimicrobianas (Yasir *et al.*, 2024). Na indústria farmacêutica, muitos óleos essenciais têm sido estudados por suas atividades bioativas, incluindo propriedades antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias (Valente *et al.*, 2013). Além disso, os óleos essenciais são amplamente empregados na aromaterapia e produtos de cuidados pessoais, devido aos seus efeitos terapêuticos e benefícios para o bem-estar (Zhou *et al.*, 2023).

A complexa rede de compostos químicos presentes nos óleos essenciais reflete a diversidade da biossíntese vegetal e, conseqüentemente, oferece um tesouro de potencialidades científicas e aplicadas. A investigação contínua desses compostos, suas interações e mecanismos de ação abre portas para uma compreensão mais profunda da biologia vegetal, além de impulsionar inovações nas áreas de medicina, química e biotecnologia.

2.1 Principais Rotas Metabólicas de Produção

A produção de óleos essenciais está intrinsecamente relacionada com vias metabólicas complexas, desempenhando um papel crítico na síntese desses compostos aromáticos de alta relevância biológica. Duas das principais vias metabólicas envolvidas são o sistema de terpenoides e a rota dos fenilpropanoides, que têm suas origens nos metabólitos primários.

A via dos terpenoides é notavelmente responsável pela produção de monoterpenos e sesquiterpenos, que constituem uma porção significativa dos óleos essenciais (Dudareva *et al.*, 2013). Esses compostos são formados a partir de precursores de metabólitos primários, como isopentenil pirofosfato (IPP) e dimetilalil pirofosfato (DMAPP), derivados das rotas do ácido mevalônico e do metil eritritol fosfato (Tholl, 2006). Esses precursores são subsequentemente convertidos em terpenos por uma série de reações enzimáticas, que, por sua vez, levam à diversidade de estruturas e funções dos terpenos.

A rota dos fenilpropanoides, por sua vez, contribui para a produção de compostos como fenóis, aldeídos e álcoois aromáticos, conferindo complexidade e riqueza química aos óleos essenciais (Dudareva *et al.*, 2013). A fenilalanina e o ácido cinâmico, produtos de metabólitos primários, são precursores fundamentais nessa rota, e as enzimas envolvidas catalisam uma variedade de reações de modificação e conjugação para gerar os compostos finais dos óleos essenciais.

A interconexão entre vias de metabólitos primários e a produção de óleos essenciais evidencia a intrincada rede metabólica das plantas, onde metabólitos secundários, como os óleos essenciais, emergem como produtos derivados e

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

modificados dos metabólitos primários (Figura 1). A compreensão aprofundada dessas vias bioquímicas é crucial não apenas para elucidar a produção desses compostos, mas também para explorar potenciais rotas de modulação e engenharia metabólica visando aprimorar as características desejadas nos óleos essenciais.

2.2 Fontes e Estruturas de Síntese de Óleos Essenciais

Os óleos essenciais podem ser extraídos de diversas partes das plantas, como sementes, flores, cascas, raízes, brotos,

caules, frutas e folhas, cada uma conferindo uma assinatura aromática única e uma composição química distinta (Manion; Widder, 2017).

As flores também são notáveis fontes de óleos essenciais, muitas vezes atraindo polinizadores através de perfumes delicados e complexos (Dudareva *et al.*, 2013). Os frutos e sementes, por sua vez, abrigam óleos essenciais que podem conferir características aromáticas e funcionais, desempenhando um papel na dispersão de sementes e proteção dos embriões (Bakkali *et al.*, 2008).

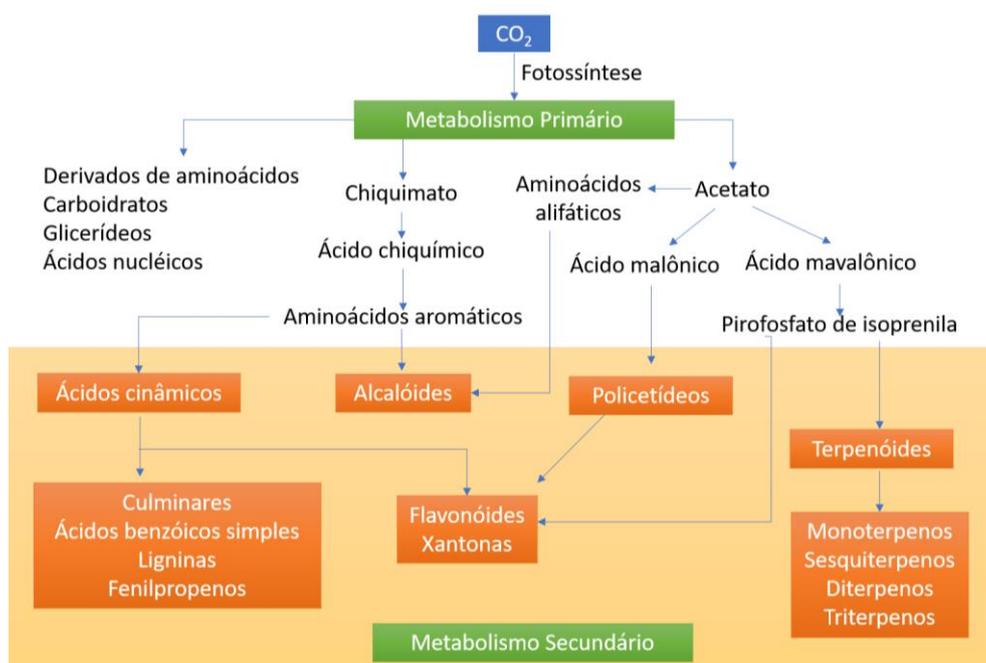


Figura 1. Esquema simplificado das principais rotas biossintéticas dos metabólitos secundários e suas interações com o metabolismo primário. **Fonte:** Adaptado de Taiz e Zeiger, (2009).

Por trás da produção dos óleos essenciais estão estruturas secretoras especializadas que agem como laboratórios de síntese. As cavidades oleíferas, cavidades secretoras encontradas em várias partes das plantas, são os locais onde os óleos essenciais são acumulados (Soares; Marques; Torquillo, 2022). Essas cavidades armazenam os óleos em forma líquida ou semi-sólida, prontos para serem liberados quando necessário.

Os tricomas glandulares, saliências microscópicas nas superfícies das plantas, são verdadeiros mestres na produção de óleos essenciais (Taiz *et al.*, 2017). Essas estruturas secretoras liberam óleos essenciais através de suas glândulas secretoras, muitas vezes em resposta a estresses bióticos ou abióticos. Os tricomas glandulares são especialmente abundantes nas folhas, onde contribuem para a resistência da planta contra herbívoros e patógenos, além de participarem na atração de polinizadores (Wagner *et al.*, 2004).

A interação entre as partes das plantas e as estruturas secretoras especializadas destaca a complexidade da síntese de óleos essenciais, que se desenrola em cenários moleculares

dignos de admiração. O estudo dessas estruturas não apenas desvenda os segredos da química vegetal, mas também oferece insights preciosos para a utilização e exploração sustentável dos óleos essenciais em diversas aplicações.

2.3 Composição e concentração dos componentes químicos dos óleos essenciais

A complexidade química dos óleos essenciais, como um reflexo da ampla variedade de metabólitos secundários que as plantas têm a capacidade de biossintetizar, é verdadeiramente notável. Essas misturas aromáticas apresentam-se como elixires químicos, compostos por uma diversidade multifacetada de substâncias químicas, cada uma desempenhando um papel específico na contribuição dos aromas característicos e nas potenciais atividades biológicas inerentes a esses óleos. A identificação meticulosa e a quantificação precisa desses componentes são premissas essenciais para uma compreensão abrangente da composição química intrínseca aos óleos essenciais.

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

Neste cenário, a técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-EM) assume um papel proeminente (Adams, 2007; Joulain; König, 1998). Através desta abordagem, a separação e identificação dos diversos compostos químicos presentes nos óleos essenciais são realizadas, atribuindo a cada um um espectro de massa único e característico. Essa abordagem analítica minuciosa revela a diversidade de terpenos, fenilpropanoides e outras entidades químicas que conferem a complexidade intrínseca a esses óleos.

A concentração dos componentes químicos apresenta notáveis variações entre diferentes óleos essenciais e até mesmo entre amostras provenientes da mesma planta (Tavares *et al.*, 2005; Matos, 2000). Esta variabilidade é moldada por uma interação sinérgica entre fatores genéticos, abióticos e bióticos. Enquanto alguns compostos podem ser detectados em concentrações mínimas, outros dominam a mistura, refletindo a influência intrincada de cada fator (Carvalho *et al.* 2023a). A variação substancial das concentrações dos principais compostos de dois acessos (L01 e L02) de *Lippia alba* em relação à idade da planta foi evidenciada por Carvalho *et al.* (2023b). No estudo, os componentes predominantes para o acesso L01 foram identificados como carvona, limoneno e germacreno D, enquanto que para o acesso L02, o-cimeno, óxido de cariofileno, α -citrinal e β -citrinal foram identificados como os componentes majoritários.

2.4 Funções dos óleos essenciais para os vegetais

Os óleos essenciais, conhecidos por seus aromas distintivos e propriedades terapêuticas, desempenham um papel vital nas plantas, transcendendo seu papel estético e aromático. Essas substâncias voláteis são produzidas por uma variedade de tecidos vegetais e executam funções multifacetadas, contribuindo para a adaptação, defesa e interações com o ambiente circundante (Dudavera *et al.*, 2006).

Uma das funções primordiais dos óleos essenciais é a adaptação das plantas às condições ambientais. Os compostos voláteis liberados pelos óleos essenciais podem funcionar como sinais químicos, transmitindo informações às plantas sobre mudanças ambientais iminentes, como a presença de herbívoros ou variações climáticas. Essas respostas adaptativas podem incluir a ativação de mecanismos de defesa, como a produção de compostos secundários tóxicos para afastar herbívoros ou inibir o crescimento de patógenos (Pichersky; Noel; Dudareva, 2006).

Além disso, os óleos essenciais têm um papel crucial nas interações ecológicas das plantas. A emissão de compostos voláteis pelos óleos essenciais pode atrair polinizadores, como insetos e aves, para as flores (Pichersky; Gershenzon, 2002). Esse é um exemplo de coevolução, onde as plantas desenvolvem aromas específicos para atrair polinizadores e garantir sua reprodução bem-sucedida. Essas interações

benéficas também podem incluir a atração de predadores naturais de herbívoros, contribuindo para o controle populacional dessas pragas.

Os óleos essenciais também têm um papel importante na proteção das plantas contra patógenos. Muitos dos componentes químicos presentes nos óleos essenciais exibem atividade antimicrobiana e antifúngica, que pode ajudar a prevenir infecções por patógenos e manter a saúde da planta. Além disso, a liberação de óleos essenciais após danos mecânicos, como a mastigação por herbívoros, pode auxiliar na cicatrização e na redução do risco de infecções (Pichersky *et al.*, 2006).

No contexto de interações planta-planta, os óleos essenciais também podem influenciar a competição entre espécies vegetais. Alguns compostos voláteis liberados pelos óleos essenciais podem inibir o crescimento de outras plantas próximas, proporcionando uma vantagem competitiva à planta produtora. Essa competição química desempenha um papel importante na estruturação de comunidades vegetais e na distribuição de espécies (Dudareva *et al.*, 2013).

Em suma, os óleos essenciais são elementos versáteis e multifuncionais nas plantas, desempenhando papéis cruciais na adaptação, defesa, interações ecológicas e competição. A compreensão dessas funções intrincadas não apenas enriquece nosso conhecimento sobre a biologia vegetal, mas também tem implicações importantes na agricultura, ecologia e na busca por aplicações sustentáveis na indústria e pesquisa.

2.5 Aplicação dos óleos essenciais

A aplicação dos óleos essenciais estende-se a várias áreas, como a indústria de alimentos, onde são utilizados como aromatizantes naturais e conservantes (Burt, 2004). Na indústria farmacêutica e cosmética, os óleos essenciais são valorizados por suas propriedades terapêuticas e potencial no desenvolvimento de produtos naturais (Tholl, 2006). Além disso, sua utilização em aromaterapia, fitoterapia e produtos de cuidados pessoais tem ganhado destaque devido às suas atividades biológicas benéficas (Bakkali *et al.*, 2008).

2.5.1 Atividade antioxidante dos óleos essenciais

A ação antioxidante dos óleos essenciais tem atraído crescente atenção devido ao seu potencial em combater os efeitos nocivos dos radicais livres e mitigar o estresse oxidativo nas células. Radicais livres são moléculas altamente reativas, formadas naturalmente durante processos metabólicos, mas também resultantes de estressores externos como radiação ultravioleta, poluentes e inflamação (Alves *et al.*, 2010).

Esses radicais livres podem causar danos nas células por meio da oxidação de lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, resultando em disfunções celulares, envelhecimento acelerado e contribuindo para doenças crônicas como câncer, diabetes e doenças neurodegenerativas (Slatern, 1987).

Diversos estudos têm investigado os mecanismos subjacentes da atividade antioxidante dos óleos essenciais. Em seu estudo Almeida *et al.* (2022) avaliando a atividade

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

antioxidante e as propriedades antifúngicas dos óleos essenciais de orégano (*Origanum vulgare*) e menta (*Mentha arvensis*) contra os fungos *Aspergillus flavus* e *Penicillium commune* mostraram que ambos os óleos apresentaram atividade antioxidante contra *Aspergillus flavus* e *Penicillium commune* superior a 70% nas concentrações de 0,5 mg/mL para o óleo de orégano e 30 mg/mL para o óleo de menta, sendo citotóxicos para ambas as linhagens celulares testadas, com taxas de sobrevivência das células inferiores a 20% quando em contato com concentrações de óleos de 25 µg/mL. Os óleos essenciais de plantas como o manjeriço (*Ocimum Basilicum*) e murta (*Myrtus communis*) foram observados reduzindo significativamente a formação de radicais livres em pesquisas *in vitro* (Eid *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023).

Em resumo, os óleos essenciais apresentam uma notável atividade antioxidante, atuando como defensores celulares contra os efeitos nocivos dos radicais livres e o estresse oxidativo. Seus mecanismos de ação variados, que envolvem a doação de elétrons, indução de enzimas antioxidantes e modulação do equilíbrio oxidativo, conferem-lhes um potencial terapêutico promissor no combate a doenças relacionadas à oxidação e envelhecimento precoce.

Os óleos essenciais, ricos em uma diversidade de compostos bioativos, apresentam uma notável atividade antioxidante, onde substâncias como flavonoides, terpenoides e constituintes fenólicos desempenham papéis cruciais. O mecanismo de ação dos óleos essenciais na proteção celular contra o estresse oxidativo envolve a interação sinérgica desses componentes. Esses componentes são reconhecidos por sua capacidade de neutralizar radicais livres, inibir a peroxidação

lipídica e quelar íons metálicos, contribuindo para a proteção celular contra o estresse oxidativo (Roby *et al.*, 2013; Rao *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2010).

2.5.2 Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais

A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais tem sido reconhecida por sua eficácia no combate a uma variedade de microrganismos, incluindo fungos, bactérias e vírus. Esses compostos naturais apresentam mecanismos de ação diversificados que inibem o crescimento e a proliferação desses patógenos, contribuindo para seu potencial terapêutico e aplicações em saúde pública.

No contexto dos fungos, os óleos essenciais têm demonstrado atividade antifúngica, sendo capazes de interferir nas membranas celulares, perturbar o metabolismo energético e inibir a síntese de componentes essenciais para o crescimento fúngico. A atividade antifúngica do óleo essencial de dois acessos da espécie *Lippia alba* contra *Aspergillus welwitschiae*, avaliada por Carvalho *et al.* (2023b) mostraram que ambos acessos mostraram capacidade de inibição do crescimento micelial de *A. welwitschiae*, reduzindo a velocidade de crescimento e produção de esporos, indicando o potencial desses óleos como agentes antifúngicos. Componentes lipofílicos dos OEs, como terpenoides e aldeídos, têm afinidade por fosfolipídios presentes nas membranas, causando desorganização estrutural e vazamento de constituintes celulares essenciais (Figura 2). Isso resulta em perda de integridade da membrana, levando à morte celular (Lew, 2011).

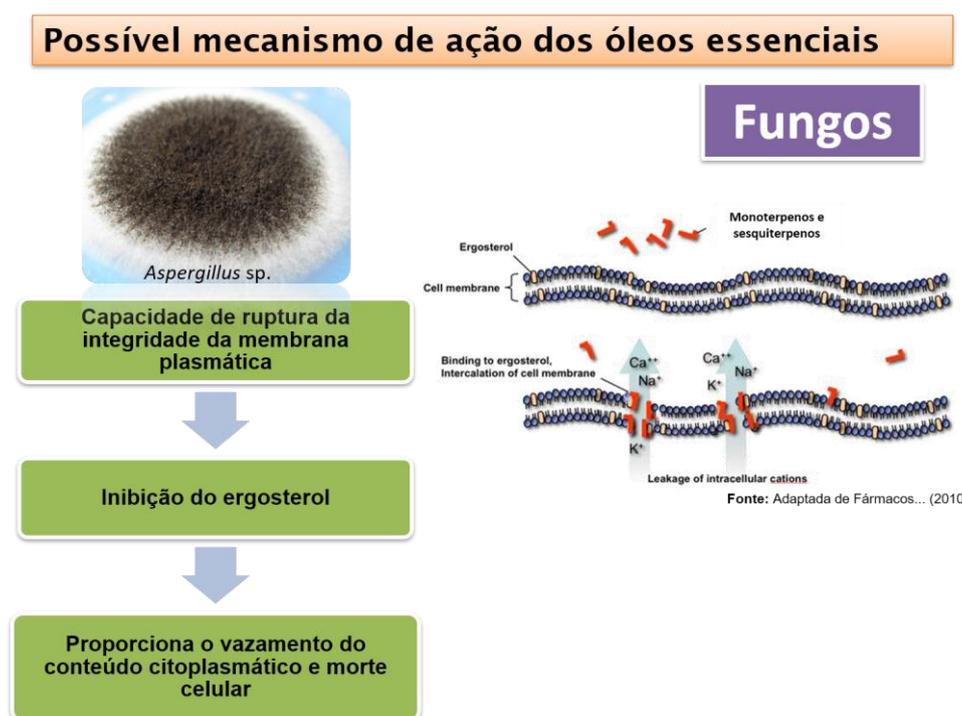


Figura 2. Esquema simplificada dos possíveis mecanismos de ação antifúngica dos óleos essenciais.

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

No caso das bactérias, os óleos essenciais também apresentam um amplo espectro de atividade antibacteriana (Figura 3). Seus mecanismos de ação podem envolver danos à parede celular bacteriana, inibição da síntese de proteínas essenciais, perturbação do transporte de nutrientes e interação direta com componentes celulares vitais (Nazarro *et al.*, 2013). A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais tem sido especialmente relevante em relação a bactérias patogênicas resistentes a antibióticos convencionais. A ampla atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de tomilho (*Thymus*

vulgaris), orégano (*Oregano vulgare*), alecrim (*Rosemarinus officinalis*), hortelã (*Mentha spicata*) e capim-limão (*Cymbopogon citratus*), foi verificada em ensaio contra patógenos de origem alimentar multirresistentes isolados do leite cru (bactérias Gram-negativas *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Proteus*, e *Klebsiella* e as bactérias Gram-positivas *Staphylococcus*), sugerindo o potencial do uso desses óleos como agentes antibacterianos naturais para preservação de alimentos (Yasir *et al.*, 2024).

Possível mecanismo de ação dos óleos essenciais

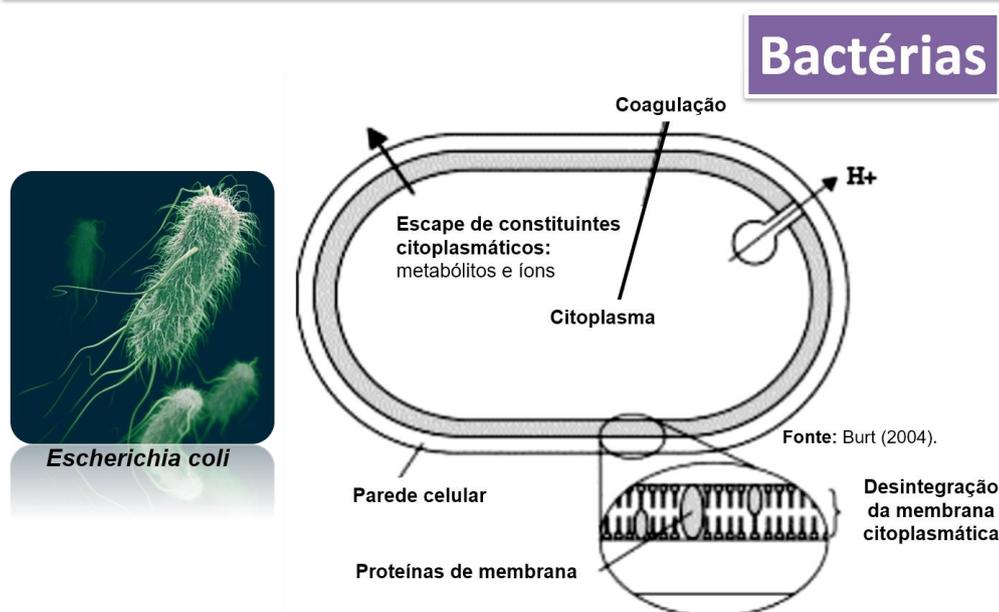


Figura 3. Esquema simplificado dos possíveis mecanismos de ação antibactericida dos óleos essenciais.

Além disso, a ação dos óleos essenciais se estende aos vírus, onde eles podem atuar tanto na prevenção quanto no tratamento. Embora a atividade antiviral seja menos compreendida em comparação com fungos e bactérias, estudos indicam que os óleos essenciais podem interferir na adsorção viral às células hospedeiras, bloqueando a entrada viral ou inibindo a replicação do material genético viral (Alhadj; Qasem; Al-Mufarrej, 2020; Ma; Yao, 2020), conforme esquema da Figura 4. Em ensaios *in vitro* Mohamed *et al.*, (2022) investigaram a atividade antiviral do óleo essencial da casca de *Agathus robusta* contra SARS-CoV2, demonstrando um

efeito antiviral e citopático anti SARS-CoV2 promissor para o óleo essencial para a proteção contra ou o tratamento de COVID-19.

A complexidade dos mecanismos de ação dos óleos essenciais, muitas vezes envolvendo múltiplos alvos dentro do microrganismo, dificulta o desenvolvimento de resistência microbiana. Além disso, a diversidade química dos óleos essenciais e a capacidade de agir em diferentes estágios do ciclo de vida microbiano contribuem para sua eficácia duradoura (Astani; Reichling; Schnitzler, 2010).

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

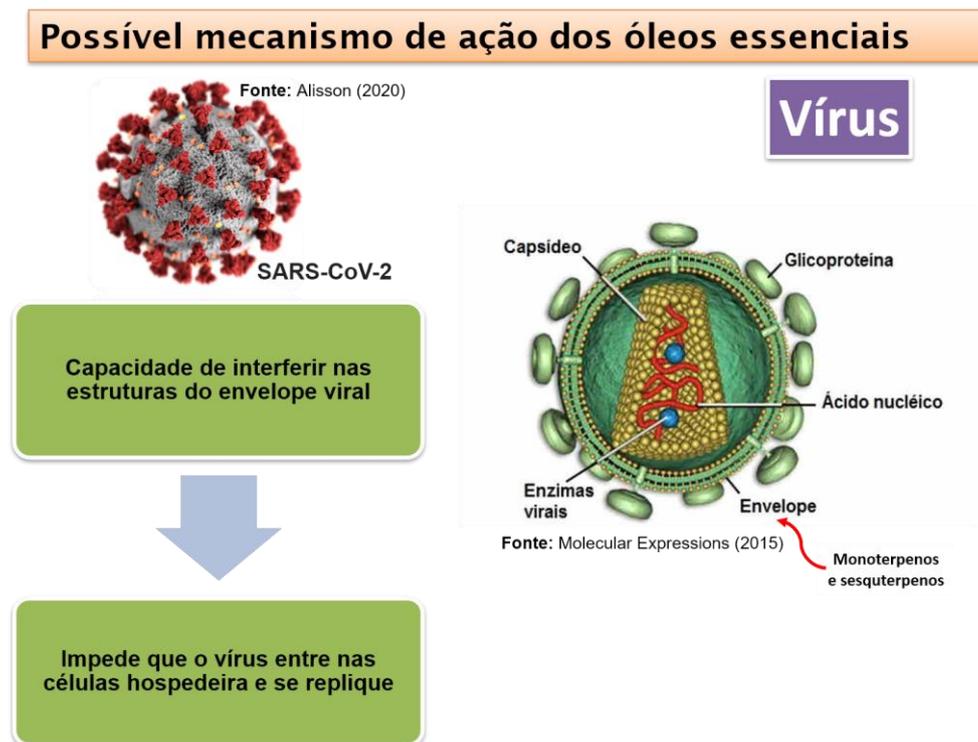


Figura 4. Esquema simplificada dos possíveis mecanismos de ação antiviral dos óleos essenciais.

3.0 Considerações

A relevância dos óleos essenciais como alternativas sustentáveis em diversas áreas merece destaque. Suas propriedades antimicrobianas podem oferecer soluções promissoras para enfrentar o aumento da resistência antimicrobiana, um desafio global. Além disso, sua aplicação em práticas agrícolas pode representar uma abordagem biorracional para reduzir a dependência de pesticidas químicos nocivos, contribuindo para uma agricultura mais saudável e ecologicamente responsável.

O conhecimento em constante expansão sobre os mecanismos de ação dos óleos essenciais abre caminhos para pesquisas futuras. A compreensão mais profunda desses mecanismos poderia impulsionar a criação de novos produtos e terapias, oferecendo soluções inovadoras para desafios emergentes. Além disso, a investigação mais aprofundada das interações complexas entre os diversos componentes químicos dos óleos essenciais pode levar a descobertas surpreendentes.

À medida que prosseguimos nesta análise dos óleos essenciais, torna-se claro que a exploração desses compostos é uma empreitada em constante evolução, repleta de promissoras possibilidades. O desafio de compreender plenamente a complexidade dessas substâncias e suas aplicações permanece aberto, e é por meio da colaboração multidisciplinar e da investigação rigorosa que continuaremos a desvendar os segredos e benefícios intrínsecos a esses notáveis compostos bioativos.

4.0 Referências

ADAMS, R.P. Identification of essential oil components by Gas Chromatography/Mass Spectropy. Illinois: Allure Publishing Corporation, 2007. 804p.

ALHAJJ, M. S.; QASEM, M. A.; AL-MUFARREJ, S. I Inhibitory activity of *Illicium verum* extracts against avian viruses. *Advances In Virology*, v. 2020, p.1-8, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2020/4594635>.

ALISSON, E. Cientistas brasileiros estão desenvolvendo vacina contra o coronavírus. *El País*, 2020. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/ciencia/2020-03-16/cientistas-brasileiros-estao-desenvolvendo-vacina-contra-o-coronavirus.html>. Acesso em: 20 set 2023.

ALMEIDA, P. de; BLCANCO-PASCUAL, N.; ROSOLEN, D.; CISILOTTO, J. CREZYNSKI-PASA, T.; LAURINDO, J. Antioxidant and antifungal properties of essential oils of oregano (*Origanum vulgare*) and mint (*Mentha arvensis*) against *Aspergillus flavus* and *Penicillium commune* for use in food preservation. *Food Science and Technology*, v. 42, e64921, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.64921>.

ALVES, C. Q.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V.; AGUIAR, R. M. Métodos para determinação de atividade antioxidante *in vitro* em substratos orgânicos. *Química Nova*, v. 33, n. 10, p.

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

2202-2210, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010001000033>.

ASTANI, A.; REICHLING, J.; SCHNITZLER, P. Comparative study on the antiviral activity of selected monoterpenes derived from essential oils. **Phytotherapy Research**, v. 24, p. 673-679, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.2955>.

AWUCHI, C. G.; MORYA, S. Herbs of asteraceae family: nutritional profile, bioactive compounds, and potentials in therapeutics. **Harvesting Food from Weeds**, p. 21-78, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119793007.ch2>.

AZEVEDO, E.; BARATA, M. Diversidade no reino fungi e aplicações à indústria. **Revista de Ciência Alimentar**, v. 6, n. 4, 077, p. 1-7. DOI: <http://doi.org/doi.org/10.24927/rce2018.077>.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.

BARBOSA, K. B. F.; COSTA, N. M. B.; ALFENAS, R. C. G.; PAULA, S. O. de; MINIM, V. P. R.; BRESSAN, J. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 4, p. 629-643, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000400013>.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>.

CARVALHO, Z. S. de; CARVALHO, M. A. P de; ALMEIDA, W. A. B. de; LUCCHESI, A. M.; PEREIRA, J. A.; SILVA, F. da. Genetic diversity of accessions of *Lippia alba* cultivated in Cruz das Almas, Bahia. **Magistra**, v. 33, 2023 (volume contínuo). Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/artic/e/view/1040>. Acesso em: 13 set 2023.

CARVALHO, Z. S. de; CARVALHO, M. A. P de; ALMEIDA, W. A. B. de; LUCCHESI, A. M.; PEREIRA, J. A.; SILVA, F. da. Atividade antifúngica do óleo essencial de *Lippia alba* em *Aspergillus welwitschiae*. **Magistra**, v. 33, 2023 (volume contínuo). Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/artic/e/view/1050>.

DUDAREVA, N.; NEGRE, F.; NAGEGOWDA, D. A.; ORLOVA, I. Plant volatiles: recent advances and future perspectives. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, p. 417-440, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352680600899973>.

EID, A. M.; JARADAT, N.; SHRAIM, N.; HAWASH, M.; ISSA, L.; SHAKHSHER, M.; NAWAHDA, N.; HANBALI, A.; BARAHMEH, N.; TAHA, B.; MOUSA, A. Assessment of anticancer, antimicrobial, antidiabetic, anti-obesity and antioxidant activity of *Ocimum*

Basilicum seeds essential oil from Palestine. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 23, n. 221, p. 1-11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-023-04058-w>.

FÁRMACOS para tratamento de infecções fúngicas sistêmicas. 2010. Disponível em: <http://infungicas.blogspot.com/2010/12/farmacos-para-tratamento-de-infecoes.html>. Acesso em: 13 set. 2023.

HUONG, L. T.; THINH, B. B.; HUNG, N. H.; PHU, H. V.; HIEU, N. C.; DAI, D. N. Chemical composition, antimicrobial and larvicidal activities of essential oils of two *Syzygium* species from Vietnam. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e270967, p. 1-9, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.270967>.

JOULAIN, D.; KÖNIG, W. A. **The atlas of spectral data of sesquiterpene hydrocarbons**. Hamburg-Germany: EB-Verlag, 1988. 658p.

KASHYAP, P.; SHIKHA, D.; GAUTAM, S.; RANI, UMEXI. *Eleusine indica*. **Harvesting Food from Weeds**, p. 113-141, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119793007.ch4>.

LEW, R. R. How does a hypha grow? The biophysics of pressurized growth in fungi. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, p. 509-518, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro2591>

LI, B.; YANG, Z.; MAO, F.; WANG, Q.; FANG, H.; GU, X.; ZHENG, Y.; ZHAO, Y.; JIANG, J. Phytochemical profile and biological activities of the essential oils in the aerial part and root of *Saposhnikovia divaricata*. **Scientific Reports**, v. 13, 8672, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35656-w>.

MA, L.; YAO, L. Antiviral effects of plant-derived essential oils and their components: an updated review. **Molecules**, v. 25, n. 11, p. 2627-2640, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25112627>.

MATOS, F. J. A. **Plantas Medicinais: guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no Nordeste do Brasil**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária UFC, 2000, 344 p.

MANION, C. R.; WIDDER, R. M. Essentials of essential oils. **American Journal of Health-System Pharmacy**, v.74, n. 9, p. e153-e162, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2146/ajhp151043>.

MOLECULAR EXPRESSIONS. **O vírus da imunodeficiência humana (HIV)**. Florida State University, 2015. Disponível em: <https://micro.magnet.fsu.edu/cells/viruses/hivvirus.html>. Acesso em 13 set. 2023.

NAZZARO, F.; FRATIANNI, F.; MARTINO L. de; COPPOLA R.; FEO, V. de. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. **Pharmaceuticals (Basel)**, v. 6, n. 12, p. 1451-1474, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph6121451>.

PAN, Y.; LUO, X.; GONG, P. *Spatholobi caulis*: A systematic review of its traditional uses, chemical constituents, biological

ARTIGO DE REVISÃO TÉCNICA

activities and clinical applications. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 317, 116854, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116854>.

PICHERSKY, E.; GERSHENZON, J. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, n. 3, p. 237-243, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(02\)00251-0](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(02)00251-0).

PICHERSKY, E.; NOEL, J. P.; DUDAREVA, N. Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity. **Science**, v. 311, n. 5762, p. 808-811, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1118510>.

RAO P, S.; KALVA, S.; YERRAMILI, A.; MAMID, S. Free radicals and tissue damage: role of antioxidants. **Free Radicals and Antioxidants**, v. 1, Issue 4, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5530/ax.2011.4.2>.

ROBY; M. H. H.; SARHANA, M. A.; SELIMA, K. ABDEL-HAMED; KHALEL. K. I. Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 827-831, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.029>.

SLATER, T.F. Free radicals and tissue injury: fact and fiction. **British Journal of Cancer**, v. 55, Suppl. VIII, p. 5-10, 1987. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2149453/pdf/brjncancersuppl00066-0011.pdf>.

SOARES, F. M.; MARQUES, C. A.; TORQUILHO, H. S. Aspectos anatômicos e da composição do óleo essencial da folha de *Triphasia trifolia* (Burm. F.) P. Wilson (Rutaceae). **Revista Fitos**, v. 16, n. 4, p. 418-430, 2022. DOI: <https://doi.org/10.32712/2446-4775.2022.1395>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TAVARES, E. S.; JULIÃO, L. S.; LOPES, D.; BIZZO, H. R.; LAGE, C. L. S.; LEITÃO, S. G. Análise do óleo essencial de folhas de três quimiotipos de *Lippia alba* (Mill.) N. E. BR. (Verbenaceae)

cultivados em condições semelhantes. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, p. 1-5. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2005000100002>.

THOLL, D. Terpene synthases and the regulation, diversity and biological roles of terpene metabolismo. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 9, p. 297-304, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.03.014>.

WAGNER, G. L.; WANG, E.; SHEPHERD, R. W. New approaches for studying an exploiting an old protuberance, the plant trichome. **Annals of Botany**, v. 93, p. 3-11, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mch011>.

VALENTE, J.; ZUZURTE, M.; GONÇALVES, M. J.; LOPES, M. C.; CAVALEIRO, C.; SALGUEIRO, L.; CRUZ, M.T. Antifungal, antioxidant and anti-inflammatory activities of *Oenanthe crocata* L. essential oil. **Food and Chemical Toxicology**, v. 62, p. 349-354, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2013.08.083>.

VERAS, B. O. de; MOURA, G. M. M.; BARROS, A. V. de; SILVA, M. V. da; ASSIS, P. A. C. de; AGUIAR, J. C. R. O. F. de; NAZARRO, D. M. A. F.; XIMENSES, R. M.; WANDERLEY, A. G.; OLIVEIRA, M. B. M. de; LOPES, A. C. S. Antinociceptive and anti-inflammatory activities of essential oil of the leaves of *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith. from the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 317, 116858, p. 1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116858>.

YASIR. M.; NAWAZ, A.; GHAZANFAR, S. OKLA, M. K.; CHAUDHARY, A.; AL, W. H.; AJMAL, M. N.; ABDELGAWAD, H.; AHMAD, A.; ABBAS, F.; WADOOD, A.; MANZOOR, Z. Anti-bacterial activity of essential oils against multidrug-resistant foodborne pathogens isolated from raw milk. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e259449, p. 1-8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.259449>.

ZHOU LI-JUN; HUANG RUN-HUAN; LIU TING-HAN; LIU WEI-CHAO; CHEN YUN-YI; LÜ PEI-FENG; LUO LE; PAN HUI-TANG; YU, CHAO; ZHANG QI-XIANG. Volatile metabolome and transcriptome reveal fragrance release rhythm and molecular mechanisms of *Rosa yangii*. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 22, n. 7, p. 2111-2125, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.06.015>.