III SICITAL
SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Explorando o potencial antimicrobiano e antioxidante do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) como conservante natural: um estudo de revisão

Tatiane Tavares Fujii Centeno[1], Denise Oliveira Pacheco[2], Chirle de Oliveira Raphaelli[3], Raquel Moreira Oliveira[4], Jéssica Silveira Vitória[5], Thamires Soares Shug[6], Bruna Roberta Andreola[7], Rosana Colussi[8], Tatiane Kuka Valente Gandra[9], Eliezer Avila Gandra[10]

[1]Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas, RS, Brasil. ORCID: 0000-0003-1106-8898. E-mail: tathytf@gmail.com

[2]Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Pelotas, RS, BR. ORCID: 0000-0001-8564-3205. E-mail: depacheco.sls@gmail.com

[3]Universidade Federal do Pampa, Curso de Nutrição, Itaqui, RS, BR. ORCID: 0000-0001-6398-3567. E-mail: chirleraphaelli@hotmail.com

[4]Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas, RS, BR. ORCID: 0000-0002-1081-8012. E-mail: raquelmoroli@gmail.com

[5]Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Pelotas, RS, BR. ORCID: 0000-0001-8364-0334. E-mail: jessicasilveiravitoria@gmail.com

[6]Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas, RS, Brasil. ORCID: 0009-0008-6786-6649. E-mail: tamiresschug@gmail.com

[7]Universidade Federal de Pelotas, Graduação em Biotecnologia, Laboratório de Ciência dos Alimentos e Biologia Molecular, Pelotas, RS, BR. ORCID: 0009-0007-7375-4937. E-mail: brunaroberta.andreola@gmail.com

[8]Universidade Federal de Pelotas, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Laboratório de Ciência dos Alimentos, Pelotas, RS, BR. ORCID: 0000-0002-8927-2074. E-mail: rosana_colussi@yahoo.com.br

[9]Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Nutrição, Pelotas, RS, BR. ORCID: 0000-0002-2248-0725. E-mail: tkvgandra@yahoo.com.br

[10]Universidade Federal de Pelotas, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Laboratório de Ciência dos Alimentos, Pelotas, RS, BR. ORCID: 0000-0003-0978-6014. E-mail: gandraea@hotmail.com

RESUMO

Os óleos essenciais (OEs) são compostos voláteis extraídos de plantas aromáticas e medicinais e têm sido objeto de estudo devido às suas propriedades terapêuticas e funcionais. Dentre as diversas atividades biológicas atribuídas aos OEs, destacam-se suas ações antimicrobiana e antioxidante, de particular interesse na área da saúde e na indústria de alimentos. A deterioração e o processo de rancidez, derivados principalmente da oxidação lipídica, associados à proliferação de microrganismos indesejáveis, levam à produção de produtos inadequados para o consumo humano e podem contribuir para a ocorrência de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA), representando um sério problema de saúde pública global. Diante disso, torna-se fundamental desenvolver estratégias eficazes de conservação para inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis nos alimentos, sendo os compostos naturais destacados em pesquisas relacionadas a essa temática. O tomilho (*Thymus vulgaris L.*), uma planta da família Lamiaceae, apresenta diversas espécies no Brasil, reconhecidas por suas características sensoriais e terapêuticas, sendo popularmente utilizadas no tratamento de diversas enfermidades e na produção de óleos essenciais. Os OEs emergem como alternativa relevante, podendo ser empregados como agentes antioxidantes e antimicrobianos naturais em produtos alimentícios, proporcionando uma opção viável para reduzir o uso de aditivos químicos. Esta revisão bibliográfica tem como objetivo explorar o conhecimento científico acerca do potencial antioxidante e antimicrobiano do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris L.*) na indústria de alimentos. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram eficácia do OE de tomilho contra *Salmonella Typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, destacando também sua ação antioxidante natural, que contribui para aumentar a estabilidade oxidativa nos alimentos. Por fim, esse estudo busca contribuir significativamente para a indústria alimentícia ao abordar os benefícios e limitações do fitoquímico em questão, visando aprimorar sua aplicabilidade como agente bioconservante em produtos alimentícios.

Palavras-chave: Compostos bioativos; Conservação de alimentos; Potencial antimicrobiano; Segurança alimentar.

INTRODUÇÃO

As exigências para a produção de alimentos de alta qualidade e seguros têm se intensificado, apresentando um desafio crescente para a indústria alimentícia. Apesar da ampla variedade de métodos de conservação disponíveis, a presença de microrganismos patogênicos e deteriorantes no ambiente pode resultar na contaminação dos alimentos em qualquer fase do processo produtivo (Ferreira *et al*., 2020).

Os microrganismos deteriorantes podem desencadear processos oxidativos que resultam em modificações nas propriedades sensoriais dos alimentos, como cor, sabor, aroma e textura dos alimentos (Ferreira *et al*., 2020). Este fenômeno contribui para a diminuição da qualidade dos alimentos, levando a desperdícios alimentares e grandes perdas econômicas. Adicionalmente, o desequilíbrio entre a produção de radicais livres e o sistema antioxidante, com o segundo em queda, está associado a diversas doenças patofisiológicas (Nandi *et al*., 2019), tais como a doença de Alzheimer (Peskind *et al.*, 2014) e a doença de Crohn (Patlevic *et al.*, 2016).

Ainda, os microorganismos patogênicos podem causar as Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA), as quais, segundo o Ministério da Saúde do Brasil, são de natureza infecciosa ou tóxica, sendo causadas pelo consumo de alimentos ou água contaminados (BRASIL, 2020). Estas DTHAs ocorrem quando um ou mais indivíduos apresentam sintomas semelhantes após a ingestão de tais alimentos e água (BRASIL, 2020). Dentre os patógenos mais relevantes em relação a enfermidades de transmissão hídrica e alimentar, destacam-se *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus* spp., *Staphylococcus aureus* e *Clostridium* spp. (Kalogianni *et al*., 2020).

A ocorrência das DTHA tem demonstrado um crescimento contínuo anual no Brasil, destacando a importância de assegurar a qualidade e a segurança dos alimentos (Marques *et al*, 2023). No intervalo de 2016 a 2019, foi documentado um total de 626 surtos anuais de DTHA, afetando 37.247 indivíduos e resultando em 38 óbitos. (Brasil, 2020).

Outrossim, a crescente preocupação com o aumento no número de bactérias resistentes a substâncias antimicrobianas, juntamente com a escassez de novos antimicrobianos aprovados nas últimas décadas, tem impulsionado o interesse crescente pela ação frente a patógenos dos óleos essenciais vegetais (Cebrián *et al*., 2023). Dessa forma, os óleos essenciais (OE) têm sido objeto de estudo como uma alternativa ao emprego de aditivos sintéticos, sendo reconhecidos como aditivos naturais e ativos que exercem efeito inibitório sobre o processo oxidativo e o desenvolvimento microbiano nos alimentos (Gonçalves *et al*., 2017; Bhavaniramya *et al*., 2019; Valdivieso-Ugarte *et al*., 2019). Por esse motivo, os OEs têm sidos amplamente estudados pelas indústrias alimentícias não apenas para a conservação dos alimentos, mas também para o desenvolvimento de embalagens ativas (Lima *et al.*, 2021).

Os OEs são geralmente lipofílicos e caracterizam-se por serem "...produtos obtidos de matérias-primas naturais de origem vegetal, por destilação a vapor, por processos mecânicos

a partir do epicarpo de frutos cítricos, ou por destilação a seco, após a separação da fase aquosa - se houver - por processos físicos" (ISO, 2021). Dentro desta categoria, o OE derivado da espécie *Thymus vulgaris L*., conhecida popularmente como tomilho, tem se destacado devido à sua notável ação antimicrobiana contra microrganismos patógenos e deteriorantes presentes em alimentos (Radünz, *et al*., 2020), agindo especificamente sobre a membrana plasmática bacteriana (Nieto, 2020).

Dentro dos compostos bioativos conhecidos, evidenciam-se o carvacrol e o timol. Esses elementos, além de estarem associados às propriedades antimicrobianas, desempenham um papel crucial em sua capacidade antioxidante. Eles auxiliam na eliminação dos radicais livres gerados durante as reações fisiológicas no corpo e/ou na prevenção de sua formação (De Morais *et al*., 2018). O OE de tomilho pode ser empregado de maneira segura como aditivo alimentar pelo FDA (Food and Drug Administration), em conformidade com as diretrizes do Generally Recognized as Safe – GRAS, podendo substituir aditivos sintéticos.

Uma possibilidade viável para utilizar esses OEs de maneira indireta ou com liberação gradual em alimentos, com o intuito de evitar mudanças perceptíveis e manter os componentes ativos intactos, devido à sua alta volatilidade, consiste na encapsulação em matrizes com escala nanométrica (Venturelli e Gripa, 2017)

Assim, o propósito deste trabalho foi realizar uma revisão da literatura sobre as principais aplicações do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) como agente antimicrobiano e antioxidante na indústria de alimentos, oferecendo uma visão abrangente das informações relevantes sobre o impacto positivo dos compostos bioativos do tomilho e sua utilização como conservante em alimentos, tanto na forma livre quanto encapsulada.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi estruturado de modo a contemplar as atualidades no que diz respeito ao potencial antimicrobiano e antioxidante do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) em suas diversas formas de aplicação. Para isto, foram considerados estudos de pesquisa inéditos e de revisão bibliográfica dos últimos 10 anos, ou seja, do ano de 2014 até 2024.

Os trabalhos foram pesquisados nas bases de dados *Web of Science* e Google Acadêmico, utilizando as seguintes palavras-chave para a busca, em inglês e em português: "óleo essencial de tomilho", "antioxidante", "antimicrobiano", "conservante natural".

A seleção dos trabalhos foi realizada a partir da leitura dos títulos e resumos convergentes aos objetivos deste estudo. Destes, foram eleitos os que apresentaram dados relevantes a respeito do efeito antioxidante e/ou antimicrobiano do óleo essencial de tomilho, isolado ou em suas diversas aplicações.

ÓLEOS ESSENCIAIS

Ao longo dos séculos, em diversas civilizações antigas, há registros que apontam a utilização de plantas, especialmente aquelas reconhecidas por suas propriedades medicinais de forma empírica. Segundo Harari (2016), durante o período neolítico, houve a transição do homem para a prática da agricultura, chamada "revolução agrícola do Neolítico", acompanhada pela extração de óleos vegetais por meio de métodos rudimentares, como a utilização de pressão exercida por meio de pedras. No entanto, foi durante o séxulo XV que os óleos essenciais (OEs) começaram a ser utilizados, graças à descoberta de métodos de destilação feita pelso árabes na Idade média (Silva, 1998), para aplacar os deuses (Farrer-Halls, 2018). Ainda, é estimado que os óleos essenciais têm sua utilização na alimentação e na medicina há quase 3.500 anos (Felipe e Bicas, 2017)

Os óleos essenciais (OEs) são compostos encontrados nas plantas aromáticas, medicinais e condimentares, sendo voláteis, bioativos e líquidos, com coloração e aroma característicos em temperatura ambiente. Originam-se do metabolismo especializado dessas plantas, sendo capazes de serem sintetizados em flores, brotos, sementes, caules e frutos, ou seja, em praticamente todos os órgãos, e armazenados em células epidérmicas, cavidades e células secretoras. Geralmente, os OEs correspondem a uma fração pequena da composição total da planta, menos de 5% de matéria seca (Bhavaniramya *et al.*, 2019; Valdivieso-Ugarte *et al., 2019;* Falleh *et al*., 2020).

Os OEs apresentam um elevado potencial na nutracêutica contemporânea, visto que esses compostos, reconhecidos tanto como alimentos quanto como fármacos, demonstraram eficácia na prevenção e no tratamento de uma variedade de doenças (Vieira, 2018). Dessa forma, desde sua descoberta, os OEs são amplamente utilizados em várias áreas, como na área de cosméticos, na agricultura, nos produtos de limpeza, na aromaterapia, na indústria de alimentos, entre outros. Isso se dá pelo fato de que os OEs exibem uma ampla gama de atividades biológicas, abrangendo propriedades antibacteriana, antiviral, antifúngica,

antioxidante, antimicótica, antiparasitária e inseticida (Bhavaniramya *et al*., 2019; Falleh *et al*., 2020).

Nesse contexto, os óleos essenciais (OEs), seja de forma isolada ou em combinação, têm sido amplamente empregados devido às suas notáveis propriedades antimicrobianas e antioxidantes (Nikmaram *et al*, 2018). Considera-se que um óleo essencial exiba uma excelente ação antimicrobiana quando sua concentração mínima inibitória (CIM) fica abaixo de 100 mg/mL (Menezes *et al*., 2018). Além disso, os estudos indicam que a eficácia antimicrobiana dos OEs modifica conforme o microrganismo e sua sensibilidade, bem como em relação ao OE empregado e sua concentração (Almeida *et al*., 2020)

Os OEs são compostos por diversos componentes químicos bioativos, como terpenos, terpenoides e fenólicos, responsáveis pelos odores e aromas específicos que as plantas aromáticas emitem (Bhavaniramya *et al.*, 2019; Falleh *et al.*, 2020). Entre os principais constituintes dos OEs, destacam-se os terpenos, formados pela condensação de duas ou mais unidades de isopreno, e os hidrocarbonetos, que são compostos de dois elementos básicos, átomos de carbono e hidrogênio (Tongnuanchan e Benjakul, 2014). Os hidrocarbonetos simples são conhecidos como não terpenoides, sendo os compostos fenólicos responsáveis pelos efeitos antimicrobianos nos OEs (Souza, 2021) .

Para a extração de óleos essenciais (OEs), uma variedade de métodos pode ser empregada, dentre os quais se destacam a hidrodestilação e a destilação a vapor (Bhavaniramya *et al*., 2019; Falleh *et al*., 2020). Além processo de extração, diversos podem influenciar na eficiência da extração desses compostos, como a espécie utilizada, sua composição, o *timing* e as condições de temperatura no momento da colheita (Barros *et al*., 2014).

Atualmente, encontra-se mais de 3 mil tipos de OEs identificados, destes, aproximadamente 10% contêm importância para indústria de alimentos (Santos *et al*., 2019). O OE de tomilho, por exemplo, vem mostrando potencial para aplicação em alimentos em diversos estudos, devido aos seus efeitos bioativos (Bhavaniramya *et al*., 2019; Valdivieso-Ugarte *et al. 2019;* Nieto, 2020; Radünz *et al*., 2020; Lages *et al.*, 2021).

ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO (*Thymus vulgaris*)

O *Thymus vulgaris* (Figura 1) é uma planta medicinal, aromática e condimentar da família *Lamiaceae*, popularmente conhecida como tomilho, originária da Europa e cultivada no sul e sudeste do Brasil (Nieto, 2020).



Figura 1 - Tomilho **(***Thymus vulgaris)*
Fonte: Jakiemiu (2008).

Estudos demonstram que o óleo essencial de tomilho é rico em timol (68,1%) e carvacrol (10,0%) (Figura 2). Esses compostos fenólicos são os principais componentes responsáveis pela ação antimicrobiana deste e de outros óleos essenciais, bem como as propriedades antioxidantes para combater espécies reativas e evitar a oxidação de alimentos (Gonçalves *et al.*, 2017; Ruiz-Gonzales *et al*., 2019; Nieto, 2020; Radünz *et al.*, 2020).

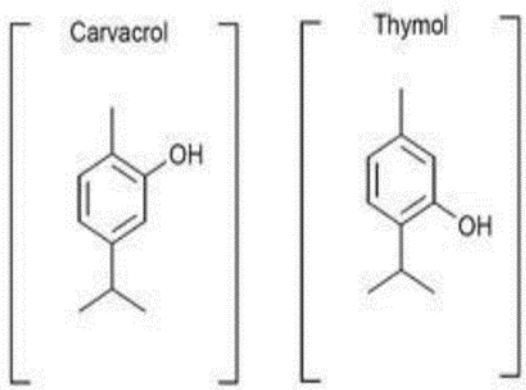


Figura 2: Estruturas químicas presentes no óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris)*
Fonte: Nieto (2020)

No entanto, a composição química do OE de tomilho tem gerado divergências entre diferentes estudos. Alguns pesquisadores obtiveram o carvacrol como composto majoritário (Lages *et al.*, 2021), o que pode ser explicado devido a fatores edafoclimáticos da região onde são cultivadas as plantas originárias e aos métodos de extração.

A utilização de óleo essencial de tomilho em alimentos como conservante vem sendo explorada por muitos autores, devido ao seu potencial antioxidante e antimicrobiano (Bhavaniramya *et al.*, 2019; Valdivieso-Ugarte *et al. 2019;* Nieto, 2020; Radünz *et al.*, 2020; Lages *et al.*, 2021).

O efeito antioxidante do OE de tomilho se deve a combinação de seus, pelo menos, 60 compostos bioativos com poderosas propriedades antioxidantes. Os principais compostos fenólicos são timol (68,1%), carvacrol (3,5%), hidrocarbonetos monoterpênicos ρ-cimeno (11,2%) e γ-terpineno (4,8%), que têm propriedades antioxidantes significativas (Radünz *et al.*, 2020).

ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO COMO ANTIOXIDANTE NATURAL

Os antioxidantes são substâncias que apresentam a capacidade de retardar e/ou inibir o surgimento de alterações oxidativas. A oxidação é um processo metabólico que ocorre principalmente nas mitocôndrias, através da cadeia transportadora de elétrons (De Morais *et al.*, 2018), resultando na produção de energia necessária para as atividades essenciais das células. Contudo, esse processo também origina radicais livres, que promovem o estresse oxidativo, predispondo o aparecimento de doenças crônicas e degenerativas. Estudos sugerem que a utilização de antioxidantes fenólicos de frutas, hortaliças e cereais atuam sobre os radicais livres diminuindo a incidência do aparecimento dessas doenças (da Silva *et al.*, 2019).

Os antioxidantes apresentam dois mecanismos de ação: os primários interrompem a cadeia da reação ao doarem elétrons ou hidrogênio aos radicais livres, transformando-os em produtos termodinamicamente estáveis ou reagem com radicais livres formando um complexo lipídio-antioxidante que pode exercer reação com outro radical livre, enquanto os secundários retardam o início da autoxidação por meio de sequestro de oxigênio, de complexação de metais, de absorção de radiação ultravioleta, de decomposição de hidroperóxidos ou desativação de oxigênio singlete (Borges *et al.*, 2019).

Diversos autores já estudaram a atividade antioxidante do óleo essencial de tomilho, devido à sua habilidade em reduzir a oxidação lipídica e proteica, além de prevenir a formação de radicais livres.

Dentre esses estudos, Mancini *et al.* (2015) comprovaram a atividade antioxidante de óleos essenciais de tomilho (*Thymus vulgaris)*, sugerindo o seu uso na preservação do alimento, assim como na medicina fitoterápica. Ainda, óleos essenciais de três espécies de tomilho (*Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. And Reut and *Thymus vulgaris* L.) também apresentaram forte atividade antioxidante, assim como atividade antimicrobiana (Nikolić *et al.*, 2014). Em estudo semelhante, Roby *et al.* (2013) avaliaram a capacidade antioxidante de extratos de tomilho, sálvia e manjerona frente ao radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) *in vitro.* Os autores obtiveram a maior capacidade antioxidante no extrato de tomilho seguido pelos extratos de sálvia e manjerona. Por fim, Radünz *et al.* (2020) avaliou a atividade antioxidade de óleo essencial de tomilho não encapsulado e encapsulado por *spray drying*, pelo método de captura de radicais livres DPPH, hidroxila (OH) e óxido nítrico (ON). A porcentagem de inibição dos radicais livres foi maior no óleo essencial quando comparado ao OE essencial encapsulado. A baixa atividade do óleo encapsulado pode ser decorrente da interação dos compostos com o material da parede, não permitindo sua liberação completa.

ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO COMO ANTIMICROBIANO NATURAL

Os compostos antimicrobianos são substâncias que podem eliminar ou impedir o desenvolvimento dos microrganismos, podendo ser sintéticos ou naturais oriundos de bactérias ou fungos. A maioria das plantas também sintetizam compostos antimicrobianos que os protegem de microrganismos (revisado por Vaou *et al.*, 2021).

Os componentes hidrofóbicos são responsáveis pela ação antimicrobiana dos óleos essenciais, pois ocasionam o rompimento de lipídios da membrana, levando a perda da funcionalidade, entretanto altas doses podem tornar o produto sensorialmente intolerável, sendo necessário realizar estudos para avaliar as concentrações mais baixas de óleos que promovam a inibição da multiplicação destes microrganismos (revisado por Vaou *et al.*, 2021).

Conforme relatado anteriormente, o óleo essencial de tomilho pode ser considerado um conservante natural com a capacidade de inibir microrganismos. Diversos autores obtiveram resultados positivos ao testarem este OE em suas pesquisas, tanto *in vitro* como *in situ.* Em seu estudo, Lages *et al.* (2021) avaliaram o efeito antimicrobiano do óleo essencial de tomilho

aplicado à embutido cárneo em substituição à conservantes sintético. Os autores obtiveram resultados positivos na inibição *in vitro* e *in situ* de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas quando aplicado combinado a metade da concentração recomendada de conservante sintético, fato considerável e vantajoso nutricionalmente.

Nos ensaios realizados por Freire *et al.* (2014), verificou-se que o óleo essencial de tomilho exibiu atividade antibacteriana contra cepas de *Streptococcus mutans* e *Staphylococcus aureus*, assim como o óleo de *Cinnamomum cassia* (canela-da-China) também demonstrou essa propriedade. Já Radünz *et al.* (2020) avaliaram a atividade antibacteriana de óleo essencial de tomilho não encapsulado e encapsulado por *spray drying.* Na análise *in vitro*, o óleo essencial de tomilho apresentou efeito inibitório contra todas as bactérias avaliadas, *Salmonella* Typhimurium, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*.

No mesmo estudo, as cápsulas foram aplicadas em hambúrgueres cárneos para avaliação *in situ* frente à contaminação por coliformes termotolerantes e *E. coli*. Os autores observaram efeito antimicrobiano do OE encapsulado em até 14 dias de armazenamento, possivelmente devido à liberação lenta de compostos voláteis que são protegidos pelo material da parede, sendo bastante útil para alimentos com tempos de armazenamento refrigerado mais longos (Radünz *et al.*, 2020).

Pesquisas também avaliaram o potencial antifúngico do OE de tomilho. Em seu estudo, Gonçalves *et al.* (2017) avaliou o efeito antifúngico frente à contaminação por *Aspergillus Níger in vitro* e frente à bolores e leveduras *in situ*, ao aplicarem o OE encapsulado pulverizado em tortas à base de farinha de trigo. O OE apresentou efeito inibitório positivo *in vitro* e *in situ* (Gonçalves *et al.*, 2017).

O principal aspecto limitante para o uso de OE de tomilho nos alimentos é o desenvolvimento de características sensoriais negativas, contribuindo para um odor e sabor desagradável. Sendo de extrema importância empregar estratégias que visam diminuir estas limitações sensoriais, como o uso de baixas concentrações ou o preparo na forma de cápsulas, conforme já relatado por vários autores (Nieto, 2020; Radünz *et al.*, 2020).

ENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

Apesar do potencial antimicrobiano e antioxidante dos OEs, eles apresentam baixa estabilidade em temperaturas elevadas, luz e oxigênio, além de aroma e sabor intensos, muitas vezes interferindo nas características sensoriais quando adicionados diretamente a produtos

alimentícios, limitando seu uso como conservantes naturais (Gonçalves *et al.*, 2017; Radünz *et al.*, 2020). Nesse cenário, o encapsulamento se destaca como uma técnica eficaz para proteção do composto, além de mascarar características sensoriais indesejadas e permitir uma liberação mais controlada do composto no meio (Gonçalves *et al.*, 2017; Radünz *et al.*, 2020; Freitas *et al.*, 2022).

A encapsulação é um processo de empacotamento de partículas (ex: compostos de sabor, pigmentos, acidulantes, nutrientes, enzimas, conservantes) em cápsulas que podem ser comestíveis, no caso de aplicação em alimentos. O material encapsulado é denominado de núcleo, e o material que forma a cápsula, encapsulante, cobertura ou parede. As cápsulas podem ser classificadas por tamanho em 3 categorias: macro (>5000 µm), micro (0,1-5000 µm) e nanocápsulas (<0,1 µm) (Eun *et al.*, 2019; Sundar e Parik, 2023).

Um dos métodos para encapsulamento é emulsionar o ingrediente sensível (óleo essencial) em uma solução contendo o material da parede seguido de secagem, de modo que o material da parede em seguida, reveste ou aprisiona a matriz de óleo dentro dela, fornecendo uma barreira ao oxigênio e ao vapor de água (Biduski *et al.*, 2019; Eun *et al.*, 2019*;* Maz *et al.*, 2023).

Para converter a emulsão em cápsulas, um dos métodos utilizados é a liofilização. Este método é baseado na desidratação por sublimação de um produto congelado. Consiste em duas etapas: (a) congelamento rápido do produto e (b) sublimação do gelo sob vácuo. O método gera produtos de excelente qualidade, uma vez que minimiza as alterações associadas a altas temperaturas (Eun *et al.*, 2019*;* Maz *et al.*, 2023).

Além da escolha do método, um dos principais fatores que influenciam a estabilidade de compostos encapsulados é a natureza do material encapsulante. A escolha do material a ser utilizado deve levar em consideração uma série de fatores, como: propriedades físicas e químicas do núcleo (porosidade, solubilidade etc.) e da parede (viscosidade, propriedades mecânicas, transição vítrea, capacidade de formação de filme etc.), compatibilidade do núcleo com a parede, mecanismo de controle e fatores econômicos. O material de parede deve ser insolúvel e não reativo com o núcleo (Eun *et al.*, 2019*;* Sundar e Parikh, 2023).

O amido é um material abundante e de baixo custo, e quando modificado quimicamente passa a ter características ideias para sua utilização como material de parede (Biduski *et al.*, 2019*).* Exemplos disto são os amidos modificados com grupos polares e apolares, que demonstraram fornecer maior eficiência de encapsulação do que emulsificantes à base de

proteínas e outros polissacarídeos (Biduski *et al.*, 2019). Além disso, os amidos modificados tendem a apresentar maior estabilidade térmica e de pH do que os emulsificantes proteicos, o que é desejável para aplicações de encapsulamento e liberação controlada (Biduski *et al.*, 2019).

Um método de modificação química de amido envolve a introdução de grupos hidrofóbicos, através dos grupos hidroxila na molécula de amido, para produzir amido de anidrido succínico octenil (amido OSA) com propriedades ativas de superfície. Quando usado como emulsificante, o amido OSA pode fornecer uma alta capacidade de carrear óleo essencial, baixa viscosidade e material de camada interfacial mais espessa (Biduski *et al.*, 2019; Sundar e Parikh, 2023).

Em seu estudo, Biduski *et al.* (2019) utilizaram o amido OSA (nome comercial CAPSUL®) para encapsular óleo essencial de alecrim pela técnica de *eletrospraying*, obtendo resultados satisfatórios de eficiência de encapsulação e capacidade de carregar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura propiciou uma compreensão abrangente sobre o potencial dos óleos essenciais, em particular o óleo de tomilho, como agentes antimicrobianos e antioxidantes na indústria de alimentos. Estudos demonstraram que o óleo de tomilho, rico em compostos fenólicos como o carvacrol e o timol, exerce efeitos significativos na inibição de microrganismos patogênicos e na prevenção da oxidação de alimentos.

Além disso, o processo de encapsulação surge como uma estratégia promissora para a aplicação desses óleos essenciais, permitindo uma liberação controlada dos compostos ativos e evitando alterações sensoriais indesejadas nos alimentos. A utilização de materiais de encapsulação, como o amido modificado, tem se mostrado eficaz na proteção dos óleos essenciais contrafatores externos, como luz, oxigênio e temperatura elevada, garantindo assim a estabilidade e eficácia desses compostos.

Portanto, diante da crescente demanda por conservantes naturais na indústria de alimentos, o óleo essencial de tomilho e sua encapsulação representam uma alternativa tecnológica para garantir a segurança e qualidade dos alimentos, especialmente em produtos "*clean label*". Essa abordagem pode contribuir significativamente para a redução de perdas e desperdícios, além de promover a saúde pública de forma geral a quem consome.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. C. de; ALMEIDA, P. P. de; GHERARDI, S. R. M. Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018. **Nutritime Revista Eletrônica**, Sandra Regina Marcolino Gherardi, v. 17, p. 8623-8633, fev. 2020

BORGES, J.; SATURNINO, K.; CRUZ, V.; ARAÚJO, E. (2019). ação antioxidante da curcumina (*curcuma longa l.*) na injúria de isquemia e reperfusão tecidual. Enciclopédia Biosfera. 16. 48-62. 10.18677/EnciBio_2019A4.

AZEREDO, Henriette Monteiro Cordeiro de. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos & Nutrição**, Araraquara. v.16, n.1, p.89-97, 2005

BARROS, N. A.; ASSIS, A. R.; MENDES, M. F. Extração do óleo essencial de manjericão usando fluido supercrítico: análise experimental e matemática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.8, 1499-1505, 2014

BELITZ, H. D., GROSH, W., SCHIEBERLE, P. **Food Chimistry**. 4ª edição. Springer: Berlin. 2009

BIDUSKI, B.; KRINGEL, D. H.; COLUSSI, R.; HACKBART, H. C. S.; LIM, L.-T.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R. Electrosprayed octenyl succinic anhydride starch capsules for Rosemary essential oil encapsulation. **International Journal of Biological Macromolecules** v. 132, p.300–307, 2019

BHAVANIRAMYA, S.; VISHNUPRIYA, S.; AL-ABOODY, M. S.; VIJAYAKUMAR, R.; BASKARAN, D. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. **Grain & Oil Science and Technology.** v. 2, n. 2, p 49-55. 2019. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259025981930007X>

BRASIL. **Bol. Epidemiol**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde, v.51, n,32, 2020

BRASIL. **Instrução Normativa n° 161, de 1° de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Ministério da Saúde. Disponível em: < https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-161-de-1-de-julho-de-2022-413366880>

BRASIL. Ministério da Saúde. Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA). Brasília: Ministério da Saúde. 2020 [acesso em 2024 Abril 22]. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dtha

CEBRIÁN, R.; LUCAS, R.; FERNÁNDES-CANTOS, M. V.; SLOT, K.; PEÑALVER, P.; MARTÍNEZ-GARCIA, M.; PÁRRAGO-LEO, A.; PAZ, M.V.; GARCÍA, F.; KUIPERS, O. P.; MORALES, J. C. Synthesis and antimicrobial activity of aminoalkyl resveratrol derivatives inspired by cationic peptides. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**. v. 38, n. 1, p. 267-281, 2023

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema** - tradução Adriano Brandelli. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010

DA SILVA, D. L.; SOUSA, H. M. S.; DE SOUZA MARTINS, G. A.; DA SILVA, J. F. M.; PELUZIO, J. M.; LEAL, G. F. (2019). Capacidade antioxidante de frutos do cerrado. DESAFIOS-Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins, 6(Especial), 127-133.

DEMIRCI, F. *et al*. Antibacterial activity of two Phlomis essential oils against food pathogens. **Food Control**, v. 19, n. 12, p. 1159-1164, 2008

DOKIĆ, L.; KRSTONOSIC, V.; NIKOLIC, I. Physicochemical characteristics and stability of oil in-water emulsions stabilized by OSA starch. **Food Hydrocoll**. v. 29 p. 185–192. 2012

EUN, J-B, MARUF, A, DAS, P R, NAM, S-H. A review of encapsulation of carotenoids using spray drying and freeze drying. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2019.DOI: 10.1080/10408398.2019.1698511

FALLEH, H.; BEN J., M.; SAADA, M.; KSOURI, R. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. **Food chemistry**, v. 330, p. 127268, 2020

FARRER-HALLS, G. l. Guia completo dos óleos essenciais: para a saúde e beleza e o bem estar. Tradução: Marcelo Cipolla. São Paulo: Editora Cultrix, 2018.

FELIPE, L. O.; BICAS, Juliano L. Terpenos, aromas e a Química dos compostos naturais. Revista Química Nova na Escola, v. 39, n 2, p. 120-130, São Paulo-SP, 2017.

FREIRE, I. C. M.; PÉREZ, A. L. A. L.; CARDOSO, A. M. R.; MARIZ, B. A. L. A.; ALMEIDA, L. F. D.; CAVALCANTI, Y. W.; PADILHA, W. W. N. Atividade antibacteriana de Óleos Essenciais sobre Streptococcus mutans e Staphylococcus aureus. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v. 16, n. 2, 372-377, 2014

FREITAS, T. J.; ASSUNÇÃO, L. S.; SILVA, V. L.; OLIVEIRA, T. S.; CONCEIÇÃO, I. S. R.; MACHADO, B. A. S.; NUNES, I. L.; OTERO, D. M.; RIBEIRO, C. D, F. Prospective Study on Microencapsulation of Oils and Its Application in Foodstuffs. **Recent Patents on Nanotechnology**. v. 16, p 219-234. 2022. DOI: 10.2174/1872210515666210422123001

GONÇALVES, N. D.; PENA, F. L.; SARTORATTO, A.; DERLAMELINA, C.; DUARTE, M. C. T.; ANTUNES, A. E. C.; PRATA, A. S. Encapsulated thyme (Thymus vulgaris) essential oil used as a natural preservative in bakery product. **Food Research International** v. 96, p. 154–160. 2017

HARARI, Y. N. Sapiens – uma breve história da humanidade. Porto Alegre/RS: L&PM, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9235:2021. Aromatic natural raw materials - Vocabulary. International Organization for Standardization: Genebra, 2021.

KALOGIANNI, A. I.; LAZOU, T.; BOSSIS, I.; GELASAKIS, A. I. Natural Phenolic Compounds for the Control of Oxidation, Bacterial Spoilage, and Foodborne Pathogens in Meat. **Foods**. v. 9, n. 794, 2020

LAGES, L. Z.; RADÜNZ, M.; GONÇALVES, B. T.; ROSA, R. S.; FOUCHY, M. V.; CONCEIÇÃO, R. C. S.; GULARTE; M. A.; MENDONÇA, C. R. B.; GANDRA, E. A. Microbiological and sensory evaluation of meat sausage using thyme (Thymus vulgaris, L.) essential oil and powdered beet juice (Beta vulgaris L., Early Wonder cultivar). **LWT - Food Science and Technology**. v. 148. 2021. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111794

LEE, K. G.; SHIBAMOTO, T. Determination of Antioxidant Potential of Volatile Extracts Isolated from Various Herbs and Spices. **J. Agric. Food Chem**. v. 50, p.4947–4952. 2002

LIMA, J. C. da C.; PEREIRA, J. de C. N.; ANDRADE, M. F. de; GÓIS, G. da S.; SIMÕES, I. T. de A.; SILVA, M. A. A. D. da; ALMEIDA, Y. M. B. de.; VINHAS, G. M. Study and influence of clove, cinnamon, and orange essential oils in the preparation of poly (lactic acid) films: Active packaging development. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e41810414340, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14340. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14340.

MAS, M., DEWI, D., SURJAWAN, I., ARISTA, D., AMELIA, V., SURJADI, A. & KHO, K. Production of red fruit (*Pandanus conoideus*) oil powder using spray drying and freeze drying. **International Journal of Food Engineering,** v. 19, n. 5, 211-224. 2023. https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1515/ijfe-2022-0285

MANCINI, E.; SENATORE, F.; DEL MONTE, D.; DE MARTINO, L.; GRULOVA, D.; SCOGNAMIGLIO, M.; SNOUSSI, M.; DE FEO, V. Studies on Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Five Thymus vulgaris L. Essential Oils. Molecules 2015, 20, 12016-12028. https://doi.org/10.3390/molecules200712016

MARQUES, J. M.; SERRANO, S.; SELMI, H.; COTOVIO, P. G.; SEMEDO-LEMSADDEK, T. Antimicrobial and Antibiofilm Potential of Thymus vulgarisand Cymbopogon flexuosusEssential Oils against Pure and Mixed Cultures of Foodborne Bacteria. **Antibiotics**. v. 12, n. 565, 2023. Doi: https://doi.org/10.3390/ antibiotics12030565

MENEZES, T. O. A.; ALVES, A. C. B. A.; VIEIRA, J. M. S.; MENEZES, A. F.; ALVES, B. P.; MENDONÇA, L. C. V. Avaliação in vitro da atividade antifúngica de óleos essenciais e extratos de plantas da região amazônica sobre cepa de *Candida albicans*. **Revista de Odontologia da UNESP**, v.38, 184-191, 2009

NANDI A.; YAN L. J.; JANA C. K.; DAS N. Role of Catalase in Oxidative Stress-and Age-Associated Degenerative Diseases. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2019; 9613090. https://doi.org/10.1155/2019/9613090

NIETO, G. A review on applications and uses of thymus in the food industry. **Plants**, v. 9, n. 8, p. 961, 2020

NIKMARAM, N.; BUDARAJU, S.; BARBA, F. J.; LORENZO, J. M.; COX, R. B.; MALLIKARJUNAN, K.; ROOHINEJAD, S. Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. **Meat Sci**. 2018 Nov;145:245-255. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.031. Epub 2018 Jun 27. PMID: 29982079

NIKOLIĆ M.; GLAMOČLIJA J.; FERREIRA I. C. F. R.; CALHELHA R. C.; FERNANDES Â.; MARKOVIĆ T.; MARKOVIĆ D.; GIWELI A.; SOKOVIĆ M., Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of Thymus serpyllum L., Thymus algeriensis Boiss. and Reut and Thymus vulgaris L. essential oils, Industrial Crops and Products, Volume 52, 2014 Pages 183-190, ISSN 0926-6690, https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.006.

PATLEVIČ P.; VAŠKOVÁ J.; ŠVORC P.; J. R. VAŠKO L.; ŠVORC P. Reactive oxygen species and antioxidant defense in human gastrointestinal diseases. Integrative medicine research, 2016; 5(4):250–258. https://doi.org/10.1016/j.imr.2016.07.004

PESKIND, E. R. et al. Influence of lifestyle modifications on age--related free radical injury to brain. Jama Neurol., Chicago, v. 71, n. 9, p.1150-1154, Sept. 2014.

RADÜNZ, M.; HACKBART, H. C. S.; CAMARGO, T. M.; NUNES, C. F. P.; BARROS, F. A. P.; MAGRO, J. D.; SANCHES, P. J. F.; GANDRA, E. A.; RADÜNZ, A. L.; ZAVAREZE, E. R.. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (Thymus vulgaris) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products**. International Journal of Food Microbiology**, p 330. 2020. https://doi.org/10.1016/j. ijfoodmicro.2020.108696

ROBY, M. H. H.; SARHAN, M. A.; SELIM, K. A.; KHALEL, 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 http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.029

RUIZ-GONZALEZ, N.; LOPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; RAMIREZ-CORONA, N.; JIMENEZ-MUNGUIA, M. T. Antimicrobial activity and physicochemical characterization of pregano, thyme and clove leave essential oils, nonencapsulated and nanoencapsulated, using emulsification. **Appl Food Biotechnol**. v. 4. n. 6. p. 237-246. 2019 DOI: http://dx.doi.org/10.22037/afb.v6i4.25541

SANTOS, J. *et al*. O uso de óleos essenciais como conservantes naturais em substituição aos conservantes sintéticos: uma revisão. **Thieme Revinter Publicações Ltda Rio de Janeiro, Brazil.**. 2019

SCHWARZ, K.; ERNST, H.; TERNES, W. Evaluation of antioxidative constituents from thyme. **Journal Science Food Agriculture**. v. 70, p.217. 1996

SILVA, A. R. **Tudo Sobre Aromaterapia**.São Paulo: Roca Ltda. 1998

SOUZA, Rafaela Vieira *et al*. Potencial antifúngico de constituintes de óleos essenciais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e457101220537-e457101220537, 2021.

SUNDAR, S. K.; PARIKH, J. K. Advances and trends in encapsulation of essential oils. **International Journal of Pharmaceutics,** v. 635, n. 25. 2023. DOI https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.122668

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S. Essential Oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. **Journal of Food Science**, [S.L.], v. 79, n. 7, p. 1231-1249, 2 jun. 2014. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.12492.

VALDIVIESO-UGARTE, M.; GOMES-LORENTE, C.; PLAZA-DIÁZ, J.; GIL, Á. Antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties of essential oils: a systematic review. **Nutrients.** v. 11, p. 2786, 2019. DOI:10.3390/nu11112786

Vaou N.; Stavropoulou E.; Voidarou C.; Tsigalou C.; Bezirtzoglou E. Towards Advances in Medicinal Plant Antimicrobial Activity: A Review Study on Challenges and Future Perspectives. Microorganisms. 2021; 9(10):2041. https://doi.org/10.3390/microorganisms9102041

VIEIRA, A. J.; BESERRA, F. P.; SOUZA, M. C.; TOTTI, B. M.; ROZZA, A. Limonene: Aroma of innovation in health and disease. ChemBiolInteract,283:97-106, Mar. 2018.

VENTURELLI, R. B., GRIPA, S. Electrospinning: an alternative for nonwovens production. **Revista da UNIFEBE**, ISSN 2177-742X, Brusque, v. 1, n. 22, 2017