



C A P Í T U L O 2

VALORIZAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ADITIVOS ALIMENTARES SUSTENTÁVEIS

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782515102>

Marta Oliveira Soares

Polytechnic Health Higher Institute of the North, CESPU
(University Institute of Health Sciences)- Portugal

Ana F. Vinha

LAQV/REQUIMTE, Department of Chemical Sciences, Faculty
of Pharmacy, University of Porto - Portugal;
FP-I3ID, Research Institute, Innovation and Development
Fernando Pessoa, Faculty of Health Sciences, Portugal

RESUMO: Os óleos essenciais (OEs) compreendem uma fração de compostos químicos relevante obtidos de diversas fontes vegetais e/ou tecidos vegetais. Os seus benefícios têm sido relacionados com a presença de compostos bioativos, como os monoterpenos e os sesquiterpenos, os quais reúnem propriedades benéficas contra problemas críticos relevantes para a indústria alimentar, os quais poderão promover uma produção sustentável para além dos reconhecidos atributos organoléticos. Este trabalho visa enfatizar informações atualizadas sobre as vantagens da integração dos OEs na área alimentar, garantindo alimentos seguros e de elevada qualidade, nomeadamente nas suas capacidades de aditivos naturais como conservantes, antioxidantes e aromatizantes, substituindo parcialmente alguns dos aditivos sintéticos de acordo com as tendências sustentáveis, integradas nos objetivos da agenda 2030.

PALAVRAS-CHAVE: aditivos verdes; compostos bioativos; conservantes naturais; cadeia de abastecimento alimentar sustentável.

Valuing Essential Oils as Sustainable Food Additives

ABSTRACT: Essential oils (EOs) are a group of relevant chemical substances obtained from different plant sources and/or plant tissues. Its benefits have been related to the existence of bioactive substances, such as monoterpenes and sesquiterpenes, which have positive qualities against crucial problems in the food sector and may enhance sustainable production in addition to the recognized organoleptic characteristics. This chapter aims to highlight current knowledge on the advantages of integrating EOs in the food industry, ensuring safe and high-quality food, in their abilities as natural additives such as preservatives, antioxidants, and flavorings, partially replacing some synthetic additives in accordance with sustainable trends and the 2030 agenda's goals.

KEYWORDS: green additives; bioactive compounds; natural preservatives; sustainable food supply chain.

INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais (OEs) são uma mistura complexa de compostos químicos aromáticos de baixo peso molecular (álcoois e fenóis, aldeídos e cetonas, ésteres, éteres e hidrocarbonetos) que se podem extrair de diferentes espécies vegetais e que possuem um vasto leque de propriedades bioativas com interesse industrial [1]. A sua aplicação remonta a 6000 anos, usados para o alívio da dor, na alimentação, na arte e na estética, assim como em rituais religiosos e espirituais, sob as mais diversas formas: infusões, temperos, tintas, perfumes e unguentos [2-4]. Atualmente, os OEs estão associados, principalmente, ao setor dos aromas e são reconhecidos pelas suas propriedades terapêuticas contra distúrbios como a ansiedade e o stress [3]. A medicina tradicional e a fitoterapia têm utilizado os OEs no combate de doenças comuns, incluindo infecções microbianas e víricas, processos inflamatórios e distúrbios gastrointestinais [2,4]. No entanto, a aplicação dos OEs não se restringe apenas ao setor da saúde. Dados bibliográficos recentes têm divulgado a incorporação de OEs em produtos alimentares, destacando as suas vantagens como agentes antioxidantes e antimicrobianos e, consequentemente, reportando os seus benefícios na promoção de alimentos mais seguros [5-7].

Assim, neste capítulo pretende-se valorizar o uso dos OEs como uma alternativa verde e amiga do ambiente para o desenvolvimento de aditivos alimentares, fornecendo características desejadas ou incorporando propriedades que permitam maior estabilidade e segurança aos produtos alimentares.

Sistemas de Produção de OEs Sustentáveis

No âmbito da sustentabilidade, existem diversos fatores críticos que interferem a produção e a qualidade dos OEs, tais como condições ambientais e o processo de produção [8]. Em resposta, nos últimos anos, tem-se assistido ao estudo e ao desenvolvimento de novos sistemas de produção, como a produção em “estufa”, que visam otimizar os recursos (água, fertilizantes, tempo, temperatura, entre outros) para melhorar a produção e a qualidade dos mesmos, enquanto os sistemas convencionais de estufa envolvem o cultivo em solo, promovendo o interesse crescente nos sistemas hidropónicos. Alguns investigadores destacaram vários benefícios desta tecnologia, entre os quais (i) a redução da área de cultivo, (ii) menor consumo de água, (iii) controlo dos parâmetros ambientais, (iv) melhoria da qualidade, (v) a redução do uso de fertilizantes e (vi) melhor manuseamento nutricional das plantas [9]. Este último aspeto é particularmente importante para a produção, uma vez que as plantas requerem concentrações específicas de nutrientes para maximizar a produção de biomassa ou de metabolitos secundários. Chrysargyris e Tzortzakis [10] demonstraram o impacto das variações de concentrações de azoto, potássio e fósforo na produção de compostos fenólicos, atividade antioxidante e metabolitos específicos (carvacrol e *p*-cimeno) de orégão (*Origanum dubium*), concluindo que o aumento destes nutrientes no solo permitiam aumentar a produção de carvacrol e de *p*-cimeno. No entanto, sistemas hidropónicos em culturas do manjericão (*Ocimum basilicum* L.), para obter maior valor económico, concretamente de metabolitos alvo (metil chavicol), não são muito eficazes [11]. Este facto, indica que os sistemas de produção podem ser selecionados com base em exigências específicas do mercado, sendo possível desenvolver futuras pesquisas que visem otimizar a produção específica de biomassa, EOs ou componentes químicos específicos de cada espécie vegetal. Por outro lado, a sustentabilidade da produção de OEs também tem sido explorada através de investigação focada no desenvolvimento de processos com a incorporação de materiais residuais. Por exemplo, os resíduos de folhas de erva-príncipe (*Cymbopogon citratus*) foram avaliados como uma nova fonte de OEs, recorrendo a diferentes métodos para melhorar a recuperação e a qualidade [12]. Outra abordagem envolve métodos de dupla finalidade, como a recuperação de pectina e de OEs a partir de resíduos de casca de pomelo (*Citrus maxima*), que podem oferecer uma solução para a gestão de resíduos agroindustriais [13].

Desta forma, poder-se-á concluir que a produção sustentável de OEs representa uma área-chave de interesse para a atual comunidade científica, que procura não só utilizar os OEs como componentes sustentáveis na indústria alimentar, mas também desenvolver uma cadeia de sustentabilidade desde a produção até à aplicação.

PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS EOS

A procura por compostos bioativos sustentáveis realçou o potencial dos OEs como uma fração bioativa de interesse para a indústria alimentar, particularmente para o desenvolvimento de novos alimentos. No entanto, entre as funcionalidades dos OEs, as suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes constituem as mais extensivamente estudadas na área alimentar.

Potencial Antioxidante

Na indústria, os antioxidantes são compostos atrativos devido à sua capacidade de proteção contra os processos oxidativos que afetam a matriz alimentar. Estas alterações indesejadas são responsáveis pela redução dos atributos sensoriais, alterando o sabor (rancidez) e a cor. Atualmente, a procura de novos antioxidantes verdes tem sido uma área de interesse que visa encontrar alternativas aos antioxidantes industriais sintéticos convencionais, que podem apresentar efeitos adversos ao alimento e/ou à saúde pública [14]. Os OEs, principalmente devido à presença de compostos como os terpenos (timol e carvacrol) e terpenos oxigenados com notável sinergia antioxidante, são uma potencial fonte de interesse como novos antioxidantes. Assim, na última década, as avaliações de culturas bem conhecidas ricas em OEs aumentaram, incluindo o louro (*Laurus nobilis* L.) e o orégão-grego (*Origanum vulgare*) [15,16]. Além da atividade antioxidante do timol e do carvacrol, os OEs da família do gengibre foram reconhecidos como agentes antioxidantes devido à presença de acetato de α-terpinila, β-turmerona, α-zingibereno e de 1,8-cineol [17]. Igualmente, o zimbro, o α-sinensal e o 6-epi-shiobunol presentes no EO de cânfora (*Cinnamomum camphora*) exercem a ação antioxidante [18]. No entanto, o mecanismo antioxidante pode variar. Por exemplo, López et al. [19] definiram três classes de antioxidantes de acordo com os seus mecanismos de ação: os “antioxidantes preventivos”, onde o antioxidante interfere no processo de iniciação; os “antioxidantes de quebra de cadeia” (terpenos fenólicos), onde um grupo fenólico na estrutura química doa um átomo de hidrogénio a um radical lipídico; e os “antioxidantes intensificadores de terminação”, que envolvem a produção de um radical terpeno não fenólico que interage com um radical, levando a uma reação de terminação. Desta forma, compreender o mecanismo antioxidante envolvido nos compostos dos EOs é uma área alternativa à investigação para identificar as melhores interações químicas de forma a garantir a máxima proteção antioxidante nos alimentos.

EOS como potenciais novos aditivos antioxidantes sustentáveis

O uso de aditivos antioxidantes sintéticos, como o BHA e BHT, tem sido um tópico discutível devido à crescente consciencialização sobre escolhas alimentares

saudáveis. Vários estudos têm sido desenvolvidos no sentido de avaliar novos antioxidantes naturais como compostos alternativos aos antioxidantes sintéticos. O OE do eucalipto (*Eucalyptus globulus*), rico em eucaliptol, α-pineno e γ-terpineno (compostos associados a propriedades antioxidantes), apresentou maior atividade antioxidante como agente quelante de Fe²⁺ ($IC_{50} = 8,43 \pm 0,03$ mg/mL) do que o BHA ($IC_{50} 104,73 \pm 7,30$ mg/mL) [20]. O OE da sidra (*Citrus medica L.*) (800 mg/ml) adicionado ao óleo de girassol melhorou a estabilização e reduziu o dano oxidativo, quando comparado com a adição de BHT (200 mg/mL). Da mesma forma, diversos

estudos reportaram capacidades antioxidantes comparáveis dos OEs de orégãos e de menta [21]. Estes resultados podem ser explicados pelas diferentes composições químicas (qualitativas e quantitativas) dos OEs. A substituição dos antioxidantes convencionais por antioxidantes naturais apresenta um foco interessante para a área da investigação. Desta forma, a aplicação de compostos antioxidantes naturais pode ser uma alternativa viável e sustentável relativamente aos antioxidantes sintéticos [21]. No entanto, um desafio atual prende-se com a falta de desenvolvimento e/ou especificação do atual quadro legislativo referente à incorporação de antioxidantes naturais nos alimentos. No caso dos OEs, a escassa informação presente nas regulamentações europeias, prende-se com a inexistência de uma categoria específica para antioxidantes naturais relacionada com as quantidades bem como com as permissões para a utilização de aditivos naturais, de acordo com a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (*European Food Safety Authority - EFSA*).

Potencial Antimicrobiano

Nas últimas décadas, as atividades humanas mudaram drasticamente, promovendo ao aparecimento de novas doenças infeciosas (bacterianas, fúngicas ou virais) com capacidade para desenvolver estratégias de resistência contra os tratamentos convencionais. Isto foi manifestado recentemente, com o impacto da pandemia de COVID-19, resultando na disseminação mundial de problemas físicos, mentais, psicológicos, de depressão, ansiedade, económicos e até sociais. Face ao exposto, torna-se necessário, cada vez mais, encontrar novos compostos antimicrobianos com potencial para combater agentes patogénicos [22]. Esta situação não é exclusiva ao setor da saúde, uma vez que os agentes patogénicos também podem ser encontrados nos setores alimentar e agrícola. Nesse sentido, os OEs têm sido avaliados em inúmeros estudos no que toca às suas atividades bioativas. Os OEs mais estudados são os de espécies como orégãos, louro, gengibre, canela e citrinos (limão, tangerina) [2,23,24], que já foram previamente associados à atividade antimicrobiana. Por exemplo, Bhavaniramya et al. [25] relacionaram o cinamaldeído, o citral, o carvacrol, o eugenol, o timol (fenóis) e outros compostos (cetonas como o β-mirceno, a α-tujona ou o acetato de geranilo), presentes nos EOs

como potenciais agentes antimicrobianos. No entanto, é importante notar que os principais mecanismos de ação dos OEs podem ser diferentes e específicos, uma vez que estes mecanismos envolvem tanto a permeabilidade da membrana, como a apoptose e danos no ADN, entre outros [26].

EOs como potenciais agentes antimicrobianos

As tendências atuais na área alimentar abrangem a procura de compostos naturais como novos aditivos antimicrobianos. Assim, frações bioativas de plantas (como os óleos essenciais, compostos fenólicos e peptídeos bioativos, entre outros) tornaram-se alternativas interessantes. Recentemente, novos métodos de carreamento, como as nanoestruturas, embalagens ativas e as emulsões, têm sido as principais abordagens estudadas. Na área das embalagens ativas, a adição de OEs em filmes tem sido uma técnica extensivamente estudada, com múltiplas formulações promissoras de atividade antimicrobiana. A título de exemplo cita-se o filme de amido de mandioca contendo EO de orégão, o qual apresentou atividade contra *Zygosaccharomyces bailii* [27]. Igualmente, foi elaborada uma combinação de goma aguar, caseinato de cálcio e EO de *Sálvia esclareia* com atividade antimicrobiana contra *Pseudomonas aeruginosa* [28]. Por outro lado, as emulsões tecnologicamente falando manifestam capacidade de retenção dos compostos bioativos presentes nos OEs e, consequentemente, prolongar a sua eficácia [29]. Badret al. [67] reportaram a aplicação de nanoemulsões de OE de lavanda com potencial antimicrobiano contra *Staphylococcus typhimurium* (concentração inibitória mínima; 3105 mg/L) e *Staphylococcus aureus* (3000 mg/L), bem como atividade antifúngica contra *Aspergillus flavus* e *Aspergillus niger*. No entanto, outros aspectos relacionados com as tecnologias, como o tamanho, a forma, a estrutura e os co-aditivos, entre outros, devem ser considerados para alcançar maiores atividades.

SUSTENTABILIDADE E FUNCIONALIDADE DOS OES NOS ALIMENTOS

Os OE apresentam características desejáveis a nível industrial para o desenvolvimento de novos produtos alimentares, bem como na melhoria da qualidade dos processos tecnológicos, incluindo o embalamento. Nos últimos anos, vários investigadores exploraram a possível aplicação dos OEs nos diferentes setores da indústria alimentar (laticínios, panificação, bebidas e desenvolvimento de embalagens), resultando no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis (Figura 1).

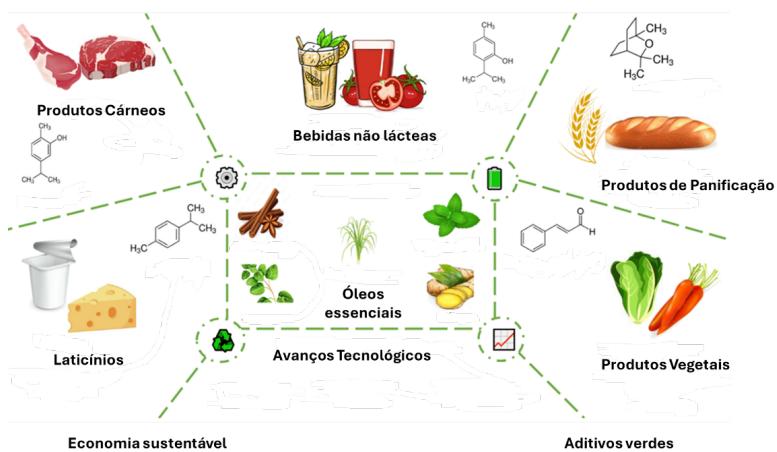


Figura 1. Resumo ilustrativo sobre as possíveis aplicações de OEs em diferentes áreas alimentares.

Laticínios

A indústria dos lacticínios é um dos sectores alimentares que produz elevada quantidade de “Produtos Lácteos, PLs”, alimentos básicos para a dieta humana (leite, queijo, iogurte, natas, entre outros). Recentemente, a incorporação de OEs em PLs tem sido exaustivamente explorada de forma a proporcionar vantagens tecnológicas, propriedades sensoriais melhoradas e prazo de validade alargados. Além disso, as tendências atuais também exploram os PLs como matrizes enriquecidas com compostos bioativos. A aplicação direta de OEs tem sido particularmente bem-sucedida em queijos. Por exemplo, uma emulsão lipossomal à base de quitosana de OE de tomilho foi adicionada ao queijo Karish para aumentar o prazo de validade, resultando num menor crescimento microbiano (bactérias mesófilas e psicotrópicas) [30]. O OE de orégão adicionado durante o processo de maturação de queijos Minas inibiu estirpes patogénicas de *E. coli* e *S. aureus* de forma semelhante aos aditivos padrão comumente usados, como a nisina e a natamicina [7]. Da mesma forma, iogurtes enriquecidos com nanoencapsulamento de OE de *Nepeta cataria* apresentou um efeito inibitório contra *E. coli* e *S. aureus*, potenciando igualmente a aceitabilidade sensorial [31]. A adição de nanocápsulas de quitosano com OE de canela ao leite resultou numa redução da produção de malondialdeído (um produto secundário na oxidação lipídica) promovendo maior tempo de vida útil ao mesmo [32]. No entanto, para além das vantagens tecnológicas, a aplicação de OEs em PLs está em amplo estudo no desenvolvimento de novos produtos funcionais fermentados (por exemplo, iogurte). Estudos conduzidos por Salama et al. [33] e S.

M. El-Sayed [34] destacaram a combinação de OEs, bactérias lácticas e o impacto dos OEs em produtos fermentados, respetivamente. Assim, os OEs e os probióticos podem resultar em produtos alimentares naturais inovadores e mais saudáveis. No entanto, a aplicação direta de OEs pode trazer um impacto negativo na aceitação do consumidor, uma vez que afeta as propriedades sensoriais dos alimentos. Assim, outra abordagem passa pelo desenvolvimento de embalagens ativas, com aplicações de OEs de forma indireta. Recentemente, um revestimento edível feito com mucilagem de marmelo e OE de tomilho foi desenvolvido para potencial aplicação em queijo Kasar, demonstrando supressão do crescimento microbiano e aumento de vida útil [35]. Ainda neste contexto, Nourmohammadi et al. [36] avaliaram um método de embalagem produzido com um biocompósito de proteína de soro de leite/nano argila com OE de lavanda (*Thymus fedtschenkoi*) (timol, 40,67%; carvacrol, 46,61%; endoborneol, 1,68%) e resveratrol, o qual exibiu elevada atividade antioxidante e antimicrobiana no queijo Liqvan.

Produtos de Panificação

A indústria da panificação compreende um mercado importante com uma expectativa económica crescente de 12,39 mil milhões de dólares e uma taxa de crescimento anual de ~8,5% entre 2021 e 2026 [37]. Esta área industrial desenvolve uma grande quantidade de produtos básicos (pão, bolachas, bolos, muffins, farinhas, entre outros) presentes na dieta diária. Os produtos de panificação (PPs) enfrentam graves problemas relacionados com a deterioração microbiana, o que representa um problema crítico, não só nas características químicas como também nas alterações indesejáveis na textura, sabor e cor, bem como a possíveis impactos toxicológicos. Neste contexto, a procura de novos compostos naturais com atividade antimicrobiana pode ser uma alternativa mais atrativa para estender a vida útil dos BPs, potenciando atributos sensoriais e benefícios adicionais (como antioxidantes) [38].

A aplicação direta dos OEs na panificação tem sido explorada como um impulsionador tecnológico. Por exemplo, as formulações de pão enriquecido com OE de Rosmarinus officinalis L. foram bem aceites pelos consumidores [38]. Da mesma forma, Dos Reis Gasparetto et al. [39] aplicaram OE de limão-do-Taiti (*Citrus latifolia* Tanaka) rico em limoneno, observando inibição contra fungos (*Penicillium sumatrense* e *Aspergillus niger*). Outra aplicação direta com a incorporação de oleogéis têm-se mostrado promissora para melhorar os produtos de panificação. Da Silva et al. [40] integraram oleogéis com OE de laranja (limoneno, 95,95%; β-mirceno, 1,76%; β-linalol, 0,98%), resultando em pães com dureza reduzida, elevada estabilidade de armazenamento (~20 dias) e crescimento de bolor reduzido relacionado com a composição química. Outra tecnologia de transporte interessante envolve a tecnologia de fibras carregadas com OEs, que possui atividades antioxidantes e

antifúngicas conservadas, com potencial aplicação na formulação de pão ou no desenvolvimento de embalagens ativas para pão [93]. Por outro lado, em termos tecnológicos, a interação dos óleos essenciais de tomilho e de erva-príncipe com a atividade da levedura e a fermentação da massa pode informar ajustes no tempo de fermentação, na dosagem da levedura e nas condições de processamento para otimizar o processo da fermentação *per si*, melhorando as características reológicas e organoléticas das massas e, consequentemente, dos produtos [42]. As aplicações atuais têm-se concentrado na integração de OEs (ou dos seus principais compostos) em biopolímeros para desenvolver novos métodos de embalagem natural com propriedades de aumento da vida útil dos produtos. Por exemplo, o carvacrol (um composto principal do orégão) foi aplicado na formulação de filmes biodegradáveis para embalagem de bolos. Enquanto as amostras controlo apresentaram crescimento fúngico ao 4º dia, os tratamentos enriquecidos com carvacrol a 2–5% prolongaram a vida útil em 2–4 dias [43]. Da mesma forma, Sharma et al. [44] utilizaram um biopolímero bacteriano (poli(3-hidroxibutirato-co-4-hidroxibutirato) com óleo de tomilho na formulação de filmes ativos (30%, v/p), verificando um maior tempo de vida útil (em pelo menos 5 dias) em pães embalados com este biopolímero. Outros exemplos recentes incluem estudos conduzidos por Sripathco et al. [45], que desenvolveram filmes antifúngicos biodegradáveis (OE de *Anethum graveolens* e goma de gelana de nanocelulose de ananás) eficazes contra o *A. niger* durante o armazenamento (3 semanas); e o estudo de Fan et al., [46] que utilizaram a aplicação, sem contacto direto, de um filme composto (OE de cravinho e amido de milho), observando os mesmos resultados.

Bebidas não lácteas

No setor das bebidas, os OEs têm sido explorados como aditivos para o desenvolvimento de bebidas funcionais, oferecendo vantagens tecnológicas (antioxidantes e antimicrobianas). Assim, bebidas funcionais ou bebidas à base de plantas podem oferecer benefícios para a saúde, com potencial para integrar polifenóis e probióticos, entre outros componentes bioativos [47-49]. Recentemente, o potencial para aumentar a vida útil de sumos vegetais (como o de tomate) foi destacado através da incorporação de OEs como a canela e o tomilho, que apresentam atividade inibitória sinérgica contra *L. monocytogenes* [50]. Dai et al. [51] provaram a atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Litsea cubeba* contra bactérias patogénicas, como *E. coli* 0157:H7, em quatro sumos de vegetais (melão amargo, pepino, cenoura e espinafres) armazenados a 4 °C durante 4 dias; o estudo sugeriu que o citral (componente principal deste OE) pode impedir a replicação do ácido nucleico bacteriano. Recentemente, Sangroula et al. [49] reportaram o potencial do OE de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) como conservante verde em bebidas

“prontas a consumir”, oferecendo vantagens tecnológicas como menor contagem total de microrganismos e leveduras e maior atividade antioxidante. Portanto, novos procedimentos podem ser desenvolvidos para melhorar as vantagens tecnológicas das aplicações dos EOIs. Por exemplo, a

integração de tecnologias complementares poderão aumentar a eficácia. Fan et al. [46] implementaram o carvacrol, componente principal encontrado em espécies de orégãos para melhorar o tempo de armazenamento de sumo de cenoura como tecnologia complementar contra bactérias aeróbias, leveduras e bolores. A aplicação dos OEs no mercado das bebidas tem-se concentrado principalmente na sua incorporação como intensificadores de vida útil através de encapsulamento ou como componentes complementares em tecnologias de conservação emergentes. Assim, a abordagem convencional para incorporar OEs no desenvolvimento de bebidas funcionais ainda é um campo pouco explorado, devendo ser impulsionado o estudo de novos OEs, bem como novas tecnologias de encapsulação.

Produtos Cárneos

A carne é uma fonte significativa de proteína na dieta humana, mas é altamente suscetível a doenças transmitidas por alimentos devido ao seu grau de perecibilidade e elevada suscetibilidade à degradação microbiológica e química. Neste sentido, são necessárias estratégias de preservação eficazes para inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis. Atualmente, estas estratégias incluem o congelamento, refrigeração e o desenvolvimento de novos métodos de embalagem (por exemplo, vácuo) para prevenir a contaminação ou limitar a níveis aceitáveis [52,53]. Recentemente, foi proposta a incorporação de componentes bioativos para o desenvolvimento de embalagens ativas (funcionais) para inibir a deterioração dos alimentos (oxidação lipídica, degradação proteica e alterações indesejadas nas propriedades organoléticas) [54,55]. Estas alterações podem impactar negativamente a aceitação por parte do consumidor e a qualidade dos produtos alimentares, alterando a cor, o odor e o sabor.

Lages et al. [56] através da aplicação de OE de tomilho, rico em carvacrol (54,5%) e o-cimol (26,9%), demonstrou um comportamento antimicrobiano semelhante ao dos conservantes alimentares químicos sintéticos (nitritos), comumente aplicados em salsichas cárnea. Na mesma abordagem, outros estudos avaliaram a aplicação de OE (livre e por encapsulação) noutras matrizes alimentares, como mortadela, utilizando o mesmo OE contra *Salmonella* spp. e *L. monocytogenes* [57]. Além disso, a aplicação de OEs não têm apenas um efeito positivo no controlo microbiano. Fan et al. [46] demonstraram que as nanopartículas de OE de orégão podem inibir a

oxidação lipídica, reter o sabor e as propriedades organoléticas e prolongar a vida útil de salsichas vermelhas.

Também de forma indireta, o potencial dos OEs como componentes ativos tem sido testado em embalagens ativas utilizando diferentes tecnologias, como os filmes nanofibrosos (0,5, 1, 2%) encapsulados com OE de menta (*Mentha longiflora* L.) cujos componentes principais deste OE incluem ~47 %) de pulegona, ~23% de eucaliptol e ~14% de mentona, monoterpenos que apresentaram atividade antimicrobiana contra *Enterobacteriaceae*, associada à interrupção da expressão do ADN, menor oxidação lipídica, degradação proteica e melhores pontuações sensoriais quando comparados com os controlos (sem filmes ativos) [38]. Outra tecnologia recente envolve o revestimento recorrendo a emulsões. Neste contexto, foram desenvolvidos filmes de gelatina-nanoquitosana enriquecidos com óleo essencial de tomilho (*Zatazia multiflora* a 0,9%), capazes de inibir o crescimento de *Pseudomonas* spp., e diminuir o índice de peróxido na carne de frango [58]. Além disso, as emulsões de EOs de tomilho, orégãos e pimenta-malagueta num sistema de revestimento de alginato demonstraram uma redução das estirpes bacterianas patogénicas (*Pseudomonas* spp., bactérias produtoras de H₂S e *Enterobacteriaceae*); prolongando a qualidade e a vida útil dos filetes de carpa [108]. Da mesma forma, o EO de gengibre em revestimento de óleo-gelatina apresentou uma redução de microrganismos em condições de armazenamento e inibiu a produção de compostos voláteis com sabor desagradável em pescados [109]. De perto, a nanoemulsão com EO de ajowan (*Carum copticum*) rico em timol (62,5%) e γ-terpineno (19,40%) e azeite virgem revelou menor crescimento microbiológico e índice de peróxidos, em comparação com os grupos controlo [59].

Outros sistemas têm apresentado resultados semelhantes em filetes de truta, através da redução de crescimento microbiano durante o armazenamento, recorrendo a um novo sistema de nanopartículas composto por um complexo proteico e OE de cânhamo (*Cannabis sativa* L.), prolongando o tempo de vida útil dos filetes de 8 para 14 dias de armazenamento [59]. Assim, a aplicação de EOs no setor cárneo surgiu como uma área interessante para o desenvolvimento de métodos capazes de aumentar a vida útil sob novas tendências verdes e inovadoras.

Produtos Vegetais

Um dos setores mais desafiantes é, sem dúvida, o setor das frutas e dos legumes, o qual enfrenta desafios no que toca ao armazenamento e, consequentemente, aumento de validade. Devido ao elevado grau de perecibilidade, estes alimentos estão mais suscetíveis à contaminação microbiana (bactérias e fungos). Semelhante aos outros sectores alimentares, a aplicação convencional de conservantes químicos é uma

prática comum. No entanto, a potencial incorporação de compostos naturais pode levar a uma melhor aceitação do consumidor, oferecendo um produto sustentável e amigo do ambiente com menos

conservantes artificiais [60]. Nos últimos anos, a investigação permitiu alcançar resultados notáveis na inibição de pragas fúngicas como *Aspergillus* spp. (*A. flavus*, *A. niger*, *A. versicolor*) e *Penicillium italicum*, entre outras espécies. Por exemplo, na indústria dos produtos cítricos, a aplicação de nanoemulsão de quitosana funcionalizada com OE de *Valeriana officinalis* demonstrou uma redução na perda de peso e degradação de sólidos solúveis totais e de compostos fenólicos em *Citrus sinensis* L.; o que pode estar relacionado com as propriedades antioxidantes dos principais componentes deste OE (~ 78% de valerianol e ~14% de borneol) [24]. Da mesma forma, Chen et al. [61] demonstraram o potencial de filmes preparados com OE de lilás (*Syringa vulgaris*), capazes de inibirem a germinação dos esporos e o alongamento do micélio de *Penicillium* spp., impactando positivamente as características físicas dos frutos (firmeza, redução da perda de vitaminas e de sólidos solúveis totais). Adicionalmente, o potencial antimicrobiano dos OEs no mercado de frutas e produtos hortícolas foi realizado em diferentes matrizes alimentares visando pragas específicas, incluindo *Carica papaya* (contra *Lasiodiplodia theobromae* e *Rhizopus stolonifera*), banana (*Colletotrichum musae*), tâmaras (*Phoenix dactylifera*), morangos (*Fragaria x ananassa*), goiabas (*Psidium guajava* L.) e alface (*Lactuca sativa*), entre outros [61-63]. Uma nova abordagem para além da embalagem ativa envolve o mercado de alimentos prontos a consumir, que apresenta uma potencial área de investigação para a aplicação de OEs. Tao et al. [64] aplicaram OEs (orégão e canela) em adesivos de celulose contra *Listeria grayi* em pimentos verdes durante 5 dias (22 °C), mostrando uma redução do crescimento microbiano (Controlo: 8,60 log UFC/g, Orégão: 4,22 log UFC/g; e Canela: 1 log UFC/g). Além disso, a sua aplicação foi estudada para reduzir a produção bacteriana de nitrito durante o período de armazenamento em produtos vegetais prontos a consumir. Os resultados deste estudo mostraram que os microencapsulados de OE de alho reduziram o teor de nitrito para 7,09 mg/kg em comparação com 17,33 mg/kg (controlo) ao fim de 7 dias [65]. Desta forma, os estudos sugerem uma alternativa viável para a aplicação de OEs em embalagens ativas na indústria de vegetais, com a capacidade de inibir bactérias patogénicas e melhorar a segurança alimentar. Esta tecnologia também pode ser aplicada a outras matrizes, como morangos, frutos vermelhos, mangas ou outros frutos, cujo grau de perecibilidade é elevado e, consequentemente, apresenta uma proporcionalidade direta com a contaminação biológica.

PERSPECTIVAS FUTURAS

As tendências atuais de sustentabilidade têm promovido o interesse pelos produtos naturais (por exemplo, óleos essenciais) como potenciais aditivos verdes e sustentáveis, que permitem a produção primária sustentável (otimização dos recursos produtivos), apoiam a economia das comunidades produtoras e incentivam o consumo de aditivos naturais, levando a uma produção e consumo mais responsáveis. Além disso, a incorporação de OEs em produtos alimentares abre o campo a novas questões, algumas relacionadas com o campo da engenharia alimentar que visa otimizar a eficiência do processo através de energia renovável ou ligadas à sua aplicação em alimentos; como determinar a concentração adequada para uma boa bioatividade e aceitação por parte do consumidor; avaliar possíveis alterações químicas durante o processo gastrointestinal (hidrólise, interações proteicas); elucidar o possível impacto nas estirpes microbianas gastrointestinais (efeito prebiótico) e explorar outros possíveis benefícios para a saúde. O campo da inovação e desenvolvimento de embalagens ativas oferece uma nova tendência com perspectivas valiosas, como a incorporação de novos OEs, alterações na concentração ou a atividade sinérgica de múltiplos OEs. O interesse na incorporação de OE na indústria alimentar é acompanhado por estudos científicos que suportam a sua potencial aplicação como aditivos verdes (antioxidantes e antimicrobianos). No entanto, a regulamentação e a segurança alimentar representam um dos maiores desafios para alcançar a sua plena aceitação e futura aplicação no mercado. A complexidade da padronização dos OEs deve-se à sua composição química variável e complexa de múltiplos compostos. Por fim, é importante destacar a falta de informação sobre os OEs, bem como a necessidade de investigar mais a fundo a área da toxicologia, garantindo a segurança alimentar e do consumidor. No entanto, alguns OEs, como o *Citrus aurantium* L., já foram explorados na área da alimentação animal, determinando as concentrações máximas seguras para animais em alimentos humanos [66]. Isto destaca uma outra área de interesse na indústria alimentar, como potencial aplicação dos OEs como aditivos em rações para animais.

CONCLUSÃO

Os óleos essenciais são uma fração bioativa sustentável com potenciais aplicações na área alimentar. As suas aplicações baseiam-se principalmente nas suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, servindo como potenciais intensificadores de sabor, conservantes e antioxidantes. Podem ser aplicados a diferentes setores alimentares (carnes, panificação, lacticínios, frutas e bebidas, entre outros), de acordo com os resultados publicados em bases de dados científicas. No entanto, o método de aplicação é um aspecto crítico da tecnologia devido ao potencial impacto negativo nas características organoléticas. Assim, a seleção dos OEs é uma etapa crítica

para o sucesso da aplicação, assim como a escolha do método de carreamento. Em resposta, novos transportadores (por exemplo, encapsulamento e emulsões) ou aplicações indiretas (embalamento ativo) têm sido estudados nos últimos 5 anos. De acordo com a visualização de redes bibliométricas, a atual abordagem de investigação tem-se concentrado em aplicações e métodos de carreamento para além da caracterização química ou avaliação bioativa, destacando as tendências atuais para os óleos essenciais.

REFERÊNCIAS

1. KASHYAP, N.; KUMARI, A.; RAINA, N.; ZAKIR, F.; GUPTA, M. **Phytomedicine plus prospects of essential oil-loaded nanosystems for skincare.** Phytomedicine Plus, v. 2, n. 1, p. 100198, Feb. 2022.
2. AL-ABRI, S.S.; SAID, S.A.; TOUBY, S.S.A.; HOSSAIN, M.A.; AL-SABAHI, J.N. **Composition analysis and antimicrobial activity of essential oil from leaves of *Laurus nobilis* grown in Oman.** Journal Bioresource Bioproducts, v. 7, n. 4, p. 328–334. Nov. 2022.
3. XU, Y.; MA, L.; LIU, F.; YAO, L.; WANG, W.; YANG, S.; HAN, T. **Lavender essential oil fractions alleviate sleep disorders induced by the combination of anxiety and caffeine in mice.** Journal Ethnopharmacology, v. 302, p. 115868. Feb. 2023.
4. EROL, N.D.; EDEM, A.; YILMAZ, S.T.; CAKLI, S. **Effects of the BHA and basil essential oil on nutritional, chemical, and sensory characteristics of sunflower oil and sardine (*Sardina pilchardus*) fillets during repeated deep-frying.** LWT, v. 163, p. 113557. Jun. 2022.
5. FALLEH, A.; JEMAA, M.B.; SAADA, M.; KSOURI, R. **Essential oils: A promising eco-friendly food preservative.** Food Chemistry, v. 330, p. 127268. Nov. 2020.
6. FREDERICO, C.; FRANCISCATO, L.M.S.S.; RUIZ, S.P. Essential oils as natural food additives: stability and safety. Arquivos da Ciências Saúde da UNIPAR, v. 27, n. 10, p. 5739-5755. Oct. 2023.
7. CAMPOS, A.C.L.P.; NANDI, R.D.S.; SCANDORIEIRO, S.; GONÇALVES, M.C.; REIS, G.F.; DIBO, M., et al. **Antimicrobial effect of *Origanum vulgare* (L.) essential oil as an alternative for conventional additives in the Minas cheese manufacture.** LWT, v. 157, p. 113063. Mar. 2023.
8. TALEBI, S.M.; NASER, A.; GHORBANPOUR, M. **Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils in different populations of *Coriandrum sativum* L. (coriander) from Iran and Iraq.** Food Science & Nutrition, v. 12, n. 6, p. 3872–3882. Feb. 2024.

9. FARVARDIN, M.; TAKI, M.; GORJIAN, S.; SHABANI, E.; SOSA-SAVEDRA, J.C. **Assessing the physical and environmental aspects of greenhouse cultivation: A comprehensive review of conventional and hydroponic methods.** Sustainability, v. 16, n. 3, p. 1273. Feb. 2024.
10. CHRYSARGYRIS, A.; TZORTZAKIS, N. **Optimizing nitrogen, phosphorus and potassium requirements to improve *Origanum Dubium* Boiss. growth nutrient and water use efficient oil yield and composition.** Industrial Crops & Products, v. 224, p. 120291. Feb. 2025.
11. AGHAMIRZAEI, H.; MUMIVAND, H.; NIA, A.E.; RAJI, M.R.; MAROYI, A.; MAGGI, F. **Effects of micronutrients on the growth and phytochemical composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) in the field and greenhouse (hydroponics and soil culture).** Plants, v. 13, n. 17, p. 2498. Sep. 2024.
12. KHASANAH, L.U.; ARIVIANI, S.; PURWANTO, E.; PRASEPTIANGGA, D. **Chemical composition and citral content of essential oil of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) leaf waste prepared with various production methods.** Journal Agriculture Food Research, v.19, p. 101570. Mar. 2025.
13. ZHANG, X.; ZHUANG, X.; CHEN, M.; WANG, J.; QIU, D.; LIU, Z.; HUANG, Y.; Zhang, L.; LIU, Z. **An environmentally friendly production method: The pectin and essential oil from the waste peel of juvenile pomelo (*Citrus Maxima* 'Shatian Yu') were extracted simultaneously in one step with an acid-based deep eutectic solvent.** LWT, v. 206, p. 116622. Aug. 2024.
14. KONFO, T.R.C.; DJOUHOU, F.M.C.; KOUDORO, Y.A.; DAHOUENON-AHOUSSI, E.; AVLESSI, F.; SOHOUNHLOUE, C.K.D.; SIMAL-GANDARA, J. **Essential oils as natural antioxidants for the control of food preservation.** Food Chemistry Advances, v. 2, p. 100312. Oct. 2023.
15. KOSAKOWSKA, O.; WEGLARZ, Z.; PIÓRO-JABRUCKA, E.; PRZBYT, J.L.; KRASNIEWSKA, K.; GNIEWOSZ, M.; BACZEK, K. **Antioxidant and antibacterial activity of essential oils and hydroethanolic extracts of Greek oregano (*O. vulgare* L. Subsp. *Hirtum* (Link) letswaart) and common oregano (*O. vulgare* L. Subsp. *Vulgare*).** Molecules, v. 26, n. 4, p. 988. Feb. 2021.
16. MSSILLOU, I.; AGOUR, A.; EL GHOUIZI, A.; HAMAMOUCH, N.; LYOUSSE, B.; DERWICH, E. **Chemical composition, antioxidant activity, and antifungal effects of essential oil from *Laurus nobilis* L. flowers growing in Morocco.** Journal Food Quality, v. 2020, 819311. Dec. 2020.
17. IVANOVIC, M.; MAKOTER, K.; RAZBORSEK, M.I. **Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of essential oils and crude extracts of four characteristic Zingiberaceae herbs.** Plants, v.10, n. 3, p. 501. Mar. 2021.

18. ASSAEED, A.; ELSHARMY, A.; EL GENDY, A.E.N.; DAR, B.; AL-ROWAILY, S.; ABDUL-ELGAWAD, A. **Sesquiterpenes-rich essential oil from above ground parts of *Pulicaria somalensis* exhibited antioxidant activity and allelopathic effect on weeds.** Agronomy, v. 10, n. 3, p. 399. Feb. 2020.
19. LÓPEZ, P.L.; GUERBEROFF-ENEMARK, G.K.; GROSSO, N.R.; OLMEDO, R.H. **Antioxidant effectiveness between mechanisms of “chain breaking antioxidant” and “termination enhancing antioxidant” in a lipid model with essential oils.** Food Bioscience, v. 57, p. 103498. Feb. 2024.
20. BOUJHATEM, M.N.; BOUMAIZA, A.; NADA, H.G.; RAJABI, M.; MOUSA, S.A. ***Eucalyptus globulus* essential oil as a natural food preservative: antioxidant, antibacterial and antifungal properties *in vitro* and in a real food matrix (Orangina fruit juice).** Applied Science, v.10, n. 16, p. 5581. Aug. 2020.
21. OKHLI, S.; MIRZAEI, H.; HOSSEINI, S.E. **Antioxidant activity of citron peel (*Citrus medica* L.) essential oil and extract on stabilization of sunflower oil.** OCL—Oilseeds Fats Crops Lipids, v. 27, p. 32. Jul. 2020.
22. STAN, D.; ENCIU, A.M.; MATEESCU, A.L.; ION, A.C.; BREZEANU, A.C.; STAN, D.; TANASE, C. **Natural compounds with antimicrobial and antiviral effect effectsn carriers used for their transportation.** Frontiers Pharmacology, v. 12, p. 723233. Sep. 2021.
23. RASOOL, N.; SAEED, Z.; PERVAIZ, M.; ALI, F.; YOUNAS, U.; BASHIR, R.; BUKHARI, S.M.; MAHMOON KHAN, R.R.; JELANI, S.; SIKANDAR, R. **Evaluation of essential oil extracted from ginger, cinnamon and lemon for therapeutic and biological activities.** Biocatalysis Agricultural Biotechnology, v. 44, p. 102470. Sep. 2022.
24. DAS, S.; CHAUDHARI, A.K.; SINGH, V.K.; DWIVEDY, A.K.; DUBEY, N.K. **Chitosan based encapsulation of *Valeriana officinalis* essential oil as edible coating for of Fungi and Aflatoxin B1 contamination, nutritional quality improvement, and shelf-life extension of *Citrus sinensis* fruits.** International Journal Biological Macromolecules, v. 233, p. 123565. Apr. 2023.
25. 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 Technology, v. 2, n. 2, p. 49–55. Jun. 2019.
26. YANG, S.K.; TAN, N.P.; CHONG, C.W.; ABUSHELAIBI, A.; LIM, S.H.E.; LAI, K.S. **The missing piece: Recent approaches investigating the antimicrobial mode of action of essential oils.** Evolutionary Bioinformatics, v. 17, 1176934320938391. May 2021.

27. HERNÁNDEZ, M.S.; LUDUENA, L.N.; FLORES, S.K. **Citric acid, chitosan and oregano essential oil impact on physical and antimicrobial properties of cassava starch films.** Carbohydrate Polymer Technololgies Applications, v. 5, 100307. Jun. 2023.
28. BHATIA, S.; SHAH, Y.A.; AL-HARRASI, A.; ALHADHRAMI, A.S.; AL-HASHMI, D.S.H.; JAWAD, M.; DIBLAN, S.; AI DAWERY, S.K.H.; ESATBEYOGLU, T.; ANWER, M.K.; et al. **Characterization of biodegradable films based on aguar gum and calcium caseinate incorporated with clary sage oil: Rheological, physicochemical, antioxidant, and antimicrobial properties.** Journal Agriculture Food Research, v. 15, n. 1, p. 100948. Dec. 2024.
29. SINGH, I.R.; PULIKKAL, A.K. **Preparation, stability and biological activity of essential oil-based nano emulsions: A comprehensive review.** OpenNano, v. 8, p. 100066. Dec. 2022.
30. AL-MOGHAZY, M.; EL-SAYED, H.S.; SALAMA, H.H.; NADA, A.A. **Edible packaging coating of encapsulated thyme essential oil in liposomal chitosan emulsions to improve the shelf life of Karish cheese.** Food Bioscience, v. 43, p. 101230. Oct. 2021.
31. HASELI, A.; POURAHMAND, R.; ESHAGHI, M.R.; RAJAEI, P.; AKBARI-ADERGANI, B. **Application of nanoencapsulated Mofarrah (*Nepeta crista*) essential oil as a natural preservative in yogurt drink (Doogh).** LWT, v. 186, p. 115256. Aug. 2023.
32. BASHIRI, S.; GHANBARZADEH, B.; AYASEH, A.; DEHGHANNYA, J.; EHSAINI, A. **Preparation and characterization of chitosan-coated nanostructured lipid carriers (CH-NLC) containing cinnamon essential oil for enriching milk and antioxidant activity.** LWT, v. 119, p. 108836. Feb. 2020.
33. SALAMA, H.H.; EL-SAYED, H.S.; KHALIF, A.M.M.; EDRIS, A.E. **Essential oils nanoemulsion for the flavoring of functional stirred yogurt: Manufacturing, physicochemical, microbiological, and sensorial investigation.** Journal Saudi Society Agricultural Science, v. 21, n. 6, p. 372–382. Sep. 2022.
34. EL-SAYED, S.M.; EL-SAYED, H.S. **Antimicrobial nanoemulsion formulation based on thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil for UF Labneh preservation.** Journal Materials Research Technology, v. 10, p. 1029–1041. Feb. 2021.
35. ERKAYA-KOTAN, T.; GURGUS, Z.; DAGDEMİR, E.; SENGUL, M. **Utilization of edible coating based on quince seed mucilage loaded with thyme essential oil: Shelf life, quality, and ACE-inhibitory activity efficiency in Kasar cheese.** Food Bioscience, v. 54, p. 102895. Aug. 2023.
36. NOURMOHAMMADI, A.; HASSANZADAZAR, H.; AMINZARE, M.; HASHEMI, M. **The effects of whey protein/nanoclay biocomposite containing *Thymus Fedtschenkoi* Ronniger essential oil and resveratrol on the shelf Life of Liqvan cheese during refrigerated storage.** LWT, v. 187, p. 115175. Sep. 2023.

37. RAHAMAN, S.M.; BHATTARAI, A.; KUMAR, D.; SINGH, B.; SAHA, B. **Application of biosurfactants as emulsifiers in the processing of food products with diverse utilization in the baked goods.** In Applications of Next Generation 925 Biosurfactants in the Food Sector; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2023; p. 203–237.
38. KESSLER, J.C.; VIEIRA, V.; MARTINS, I.M.; MANRIQUE, Y.A.; FERREIRA, P.; CALHELHA, R.C.; et al. **Chemical and organoleptic properties of bread enriched with *Rosmarinus officinalis* L.: The potential of natural extracts obtained through green extraction methodologies as food ingredients.** Food Chemistry, v. 384, p. 132514. Aug. 2022.
39. DOS REIS GASPERETTO, B.; CHELALA MOREIRA, R.; MELO, P.F.R.; DE SOUZA LOPES, A.; OLIVEIRA ROCHA, L.; et al. **Effect of supercritical CO₂ fractionation of tahiti lemon (*Citrus Latifolia* Tanaka) essential oil on its antifungal activity against predominant molds from pan bread.** Food Research International, v. 162, p. 111900. Dec. 2022.
40. DA SILVA, F.T.; DOS SANTOS, F.N.; FONSECA, L.M.; DE SOUZA, E.J.D.; DOS SANTOS HACKBART, H.C.; et al. **Oleogels based on germinated and non-germinated wheat starches and orange essential oil: Application as a hydrogenated vegetable fat replacement in bread.** International Journal Biological Macromolecules, v. 253, p. 126610. Dec. 2023.
41. CRUZ, E.P.; PIRES, J.B.; DOS SANTOS, F.N.; FONSECA, L.M.; RADUNZ, M.; DAL MAGRO, J.; GANDRA, E.A.; et al. **Encapsulation of lemongrass essential oil into cassava starch fibers for application as antifungal agents in bread.** Food Hydrocolloids, v. 145, p. 109105. Dec. 2023.
42. JURKANINOVÁ, L.; ŠVEC, I.; KUCEROVÁ, I.; HAVRLENTOVÁ, M.; BOZIK, M.; KLOUCEK, P.; LEUNER, O. **The use of thyme and lemongrass essential oils in cereal technology—effect on wheat Dough behavior and bread properties.** Applied Sciences, v.14, p. 4831. May 2024.
43. KLINMALAI, P.; SRISA, A.; LAORENZA, Y.; KATEKHONG, W.; HARNKARNSUJARIT, N. **Antifungal and plasticization effects of carvacrol in biodegradable poly(lactic acid) and poly(butylene adipate terephthalate) blend films for bakery packaging.** LWT, v. 152, p. 112356. Dec. 2021
44. SHARMA, P.; AHUJA, A.; DILSAD IZRAYEEL, A.M.; SAMYN, P.; RASTOGI, V.K. **Physicochemical and thermal characterization of poly (3-Hydroxybutyrate-Co-4-Hydroxybutyrate) films incorporating thyme essential oil for active packaging of white bread.** Food Control, v. 133, p. 108688. Mar. 2022
45. SRIPAHCO, T.; KHRUENGSAI, S.; PRIPDEEVECH, P. **Biodegradable antifungal films from nanocellulose-gellan gum incorporated with *Anethum graveolens* essential oil for bread packaging.** International Journal Biological Macromolecules, v. 243, p. 125244. Jul. 2023.

46. FAN, S.; YIN, X.; LIU, X.; WANG, G.; QIU, W. **Enhancing bread preservation through non-contact application of starch-based composite film infused with clove essential oil nanoemulsion.** International Journal Biological Macromolecules, v. 263, p. 130297. Apr. 2024.
47. VALLATH, A.; SHANMUGAM, A. **Study on model plant based functional beverage emulsion (non-dairy) using ultrasound-A physicochemical and functional characterization.** Ultrasonics Sonochemistry, v. 88, p. 106070. Aug. 2022.
48. JEONG, C.H.; HWANG, H.; LEE, H.J.; KIM, T.W.; KO, H.I.; JANG, D.E.; SIM, J.G.; PARK, B.G.; HONG, S.W. **Enhancement of the functional properties of vegetable sponge beverage fermented with *Lactobacillus plantarum* isolated from Korean dongchimi.** LWT, v. 165, p. 113721. Aug. 2022.
49. SANGROULA, G.; KHATRI, S.B.; SANGROULA, P.; BASNET, A.; KHADKA, N.; KHADKA, M. **Essential oil of black pepper (*Piper nigrum*) and cardamom (*Amomum sublatum* Roxb) as a natural food preservative for plum RTS.** Journal Agriculture Food Research, v. 16, p. 101159. Jun. 2024.
50. KIM, J.; KIM, H.; BEUCHAT, L.R.; RYU, J.H. **Synergistic antimicrobial activities of plant essential oils against *Listeria monocytogenes* in organic tomato juice.** Food Control, v. 125, p. 108000. Jul. 2021.
51. DAI, J.; LI, C.; CUI, H.; LIN, L. **Unraveling the anti-bacterial mechanism of *Litsea cubeba* essential oil against *E. coli* O157:H7 and its application in vegetables.** Internacional Journal Food Microbiology, v. 338, p. 108989. Nov. 2021.
52. SEGLI, F.; MELIAN, C.; MUÑOZ, V.; VIGNOLO, G.; CASTELLANO, P. **Bioprotective extracts from *Lactobacillus acidophilus* CRL641 and *Latilactobacillus curvatus* CRL705 inhibit a spoilage exopolysaccharide producer in a refrigerated meat system.** Food Microbiology, v. 97, p. 103739. Aug. 2021.
53. Bekhit, A.E.D.A.; Holman, B.W.B.; Giteru, S.G.; Hopkins, D.L. **Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review.** Trends Food Science Technology, v. 109, p. 280–302. Mar. 2021.
54. MUNEKATA, P.E.S.; PATEIRO, M.; BELLUCCI, E.R.B.; DOMÍNGUEZ, R.; DA SILVA BARRETO, A.C.; LORENZO, J.M. **Strategies to increase the shelf life of meat and meat products with phenolic compounds.** Advances Food Nutrition Research, v. 98, p. 171–205. Mar. 2021.
55. LIU, Y.; YANG, Y.; LI, B.; LAN, Q.; ZHAO, X.; WANG, Y.; PEI, H.; HUANG, X.; DENG, L.; LI, J.; et al. **Effects of lipids with different oxidation levels on protein degradation and biogenic amines formation in sichuan-style sausages.** LWT, v. 161, p. 113344. May 2022.

56. LAGES, L.Z.; RADUNZ, M.; GONÇALVES, B.T.; SILVA DA ROSA, R.; FOUCHY, M.V.; DA CONCEIÇÃO SANTOS, R.; GULARTE, M.A.; BARBOZA MEDONÇA, C.R.; GANDRA, E.A. **Microbiological and sensory evaluation of meat sausage using thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil and powdered beetj (*Beta vulgaris* L.), eraryl wonder cultivar.** LWT, v. 148, p. 111794. Aug. 2021.
57. LASTRA-VARGAS, L.; HERNÁNDEZ-NAVA, R.; RUÍZ-GONZÁLEZ, N.; JIMÉNEZ-MUNGUÍA, M.T.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E. **Oregano essential oil as an alternative antimicrobial for the control of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* in Turkey mortadella during refrigerated storage.** Food Chemistry Advances, v. 2, p. 100314. Oct. 2023.
58. HEMATIZAD, I.; KHANJARI, A.; BASTI, A.A.; KARABAGIAS, I.K.; NOORI, N.; GHADAMI, F.; GHOLAMI, F.; TEIMOURIFARD, R. **In vitro antibacterial activity of gelatin-nanochitosan films Incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and its influence on microbial, chemical, and sensorial properties of chicken breast meat during refrigerated storage.** Food Packaging Shelf Life, v. 30, p. 100751. Dec. 2021.
59. JAFARINIA, S.; FALLAH, A.A.; DEHKORDI, S.H. **Effect of virgin olive oil nanoemulsion combined with ajowan (*Carum copticum*) essential oil on the quality of lamb loins stored under chilled condition.** Food Science Human Wellness, v. 11, n. 4, p. 904–913. Jul. 2022.
60. YOUSUF, B.; WU, S.; SIDDIQUI, M.W. **Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-cut produce.** Trends Food Science Technology, v. 108, p. 245–257. Feb. 2021.
61. CHEN, K.; XU, G.; TIAN, R.; JIANG, J.; WU, K.; KUANG, Y.; JIANG, F. **Development of konjac glucomannan based syringa essential oil film and its fragmented form for quality maintenance of citrus fruits.** Food Packaging Shelf Life, v. 40, p. 101185. Dec. 2023.
62. DHARINI, V.; SELVAM, P.; JAYARAMUDU, J.; SADUKI, R.E. **Effect of functionalized hybrid chitosan/gum arabic bilayer coatings with lemongrass essential oil on the postharvest disease control and the physicochemical properties of papaya (*Carica Papaya*) Fruits.** South African Journal Botony, v. 160, p. 602–612. Sep. 2023.
63. DA COSTA GOSÇALVES, D.; RIBEIRO, W.R.; GONÇALVES, D.C.; DIAN, V.S.; DA SILVA XAVIER, A.; DE OLIVEIRA, Á.A.; MENINI, L.; COSTA, H. **Use of *Melaleuca alternifolia* essential oil as an efficient strategy to extend the shelf life of banana fruits.** Biochemical Systematics Ecology, v. 108, p. 104641. Jun. 2023.
64. TAO, R.; SEDMAN, J.; ISMAIL, A. **Antimicrobial activity of various essential oils and their application in active packaging of frozen vegetable products.** Food Chemistry, v. 360, p. 129956. Oct. 2021.

65. TENG, X.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A.S.; WANG, H. **Garlic essential oil microcapsules prepared using gallic acid grafted chitosan: Effect on nitrite control of prepared vegetable dishes during storage.** Food Chemistry, v. 388, p. 132945. Sep. 2022.
66. WELLS, C.W. **Effects of essential oils on economically important characteristics of ruminant species: A comprehensive review.** Animal Nutrition, v. 16, p. 1-10. Mar. 2024.