

BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM EMBALAGENS ATIVAS BIODEGRADÁVEIS DE ALIMENTOS

BENEFITS OF APPLYING ESSENTIAL OILS IN BIODEGRADABLE ACTIVE FOOD PACKAGING

FLÁVIA AUGUSTA DO NASCIMENTO¹  KATIA REGINA SOUZA^{*2} 

¹Pós-graduanda em Ciências e Tecnologia dos Alimentos. Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Currais Novos – RN, Brasil.

²Professora Adjunta do Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN - Campus Currais Novos – RN, Brasil.

^{2*}Autor Correspondente: katia.regina@ifrn.edu.br

RESUMO

Os óleos essenciais (OEs) são um grupo de compostos botânicos com potentes propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Consistem em uma mistura complexa de compostos fenólicos, terpenos e terpenoides. A incorporação de OEs nas embalagens pode melhorar suas propriedades físico-químicas, mecânicas, antimicrobianas e antioxidantes. A aplicabilidade da embalagem ativa consiste na utilização de matérias que podem liberar, emitir, absorver ou retirar substâncias direta ou indiretamente do alimento para manter a qualidade ou retardar sua degradação. Sua tecnologia consiste na utilização de compostos ativos com propriedades antioxidantes ou antimicrobianas incorporados em uma matriz polimérica, revestimentos ou em rótulos, almofadas ou sachês. Portanto, este trabalho tem por objetivo explorar o potencial do uso de OEs em embalagens ativas na conservação de alimentos através do uso de embalagens biodegradáveis. A pesquisa foi conduzida em três bases de dados de referência: Scopus, PubMed e Science Direct. A seleção de estudos foi através da aplicação de termos combinados ao operador booleano "AND". As palavras-chave empregadas foram: "active food packaging", "biodegradable packaging" e "essential oils". Para refinar a busca, foram aplicados os seguintes filtros: texto integral disponível; texto integral de acesso gratuito e idioma inglês, resultando em 199 trabalhos. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, um total de 41 artigos foram selecionados para compor o corpus da presente revisão sistemática.

Palavras-chave: óleos Essenciais; embalagem ativa; biopolímeros.

ABSTRACT

Essential oils (EOs) are a group of botanical compounds with powerful antioxidant and antimicrobial properties. They consist of a complex mixture of phenolic compounds, terpenes and terpenoids. Incorporating EOs into packaging can improve its physicochemical, mechanical, antimicrobial and antioxidant properties. The applicability of active packaging consists of using materials that can release, emit, absorb or remove substances directly or indirectly from the food to maintain its quality or slow down its degradation. Its technology consists of using active compounds with antioxidant or antimicrobial properties incorporated into a polymer matrix, coatings or on labels, pads or sachets. Therefore, this work aims to explore the potential of using EOs in active packaging for food preservation through the use of biodegradable packaging. The research was conducted in three reference databases: Scopus, PubMed and Science Direct. Studies were selected by applying terms combined with the Boolean operator "AND". The keywords used were: "active food packaging", "biodegradable packaging" and "essential oils". To refine the search, the following filters were applied: full text available; free access full text and English language, resulting in 199 papers. After applying the inclusion and exclusion criteria, a total of 41 articles were selected to make up the corpus of this systematic review.

Keywords: essential oils ; active packaging ; biopolymers.

Citar este artigo como:

NASCIMENTO, F. A. do; SOUZA, K. R. Benefícios da aplicação de óleos essenciais em embalagens ativas biodegradáveis de alimentos . Nutrivisa - Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. e12825, 2024. DOI: 10.59171/nutrivisa-2024v11e12825. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/nutrivisa/article/view/12825>.

INTRODUÇÃO

O uso de embalagens para alimentos serve para diversos motivos, dentre eles: protegê-los de estresses físicos, químicos ou biológicos de seus ambientes, melhorar sua qualidade e segurança, aumentar sua vida útil e facilitar seu manuseio, armazenamento e transporte. Uma variedade de materiais de embalagem tem sido tradicionalmente usada para esse fim, incluindo plástico, vidro, metal, papel, madeira e têxteis (GROH *et al.*, 2019; IVANKOVIĆ *et al.*, 2017)

Os materiais poliméricos para embalagens de alimentos podem ser amplamente divididos em biodegradáveis e não biodegradáveis. Os polímeros não biodegradáveis, como polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET) e poliamida (PA) são os comumente usados em aplicações de embalagens de alimentos (BASHIR *et al.*, 2018; BENBETTAÏEB *et al.*, 2018; ZHU *et al.*, 2018). Para a fabricação das embalagens, as indústrias têm utilizado polímeros sintéticos, como poliamida, polipropileno, tereftalato de polietileno, álcool etileno vinílico, poliestireno e cloreto de polivinila (IVANKOVIĆ *et al.*, 2017).

Entretanto, a utilização em grade escala dos plásticos sintéticos, causa danos ambientais indesejáveis, uma vez que esse material pode persistir no ambiente por longos períodos e pode formar microplásticos ou nanoplásticos quando se degrada, contaminando a água, o solo e os alimentos (DIN *et al.*, 2020; GROH *et al.*, 2019). Pelos danos ambientais que os plásticos sintéticos causam, tem havido crescente interesse pelo uso de polímeros naturais, como polissacarídeos e proteínas, muitas vezes em combinação com outros componentes naturais (como lipídios, fosfolipídios, surfactantes ou nanopartículas naturais), para fabricar materiais de embalagem biodegradáveis (ALIZADEHSANI *et al.*, 2019; ANGELLIER-COUSSY *et al.*, 2013; CAZÓN *et al.*, 2017).

Na busca de materiais alternativos aos plásticos, os biopolímeros têm tido destaque nas pesquisas científicas. Uma das condições mais importantes, a disponibilidade, é preenchida por alguns polímeros naturais abundantes como a celulose (e derivados como carboximetilcelulose - CMC, metilcelulose - MC, acetato de celulose - CA, etc.), quitosana, lignina, amido, ácido polilático (PLA), álcool polivinílico (PVA), ácido algínico e derivados (MOTELICA *et al.*, 2020).

Devido às vantagens dos biopolímeros, seu uso tem sido mais promissor, pois apresenta características biodegradáveis, sustentáveis e ecológicas quando comparado aos polímeros sintéticos (DIN *et al.*, 2020; IORDANSKII, 2020; RHIM; PARK; HA, 2013). Os filmes à base de biopolímeros, em particular, podem ser facilmente degradados por microrganismos e alguns compostos inorgânicos no meio ambiente (BHARGAVA *et al.*, 2020; KAKADELLIS; HARRIS, 2020; MELLINAS *et al.*, 2020). Por isso, uma grande variedade de biopolímeros tem sido explorada para esse fim, isoladamente ou em combinação, incluindo celulose, quitina, quitosana, pectina, ágar, alginato, carragenina, gelatina, zeína e proteína de soro de leite (ŁUPINA *et al.*, 2019; MOTELICA *et al.*, 2020; RHIM *et al.*, 2013).

Diversos pesquisadores estão tentando elucidar qual é o desempenho funcional de materiais de embalagem à base de biopolímeros, tal situação tem levado à criação de filmes ativos e/ou inteligentes. Os materiais de embalagem ativos contêm aditivos, como antioxidantes ou antimicrobianos, que podem melhorar a qualidade, o prazo de validade ou a segurança dos alimentos, inibindo de reações químicas ou o crescimento microbiano (SANI *et al.*, 2021).

Uma embalagem é definida como “ativa” quando fornece funções além da proteção tradicional e barreira inerte ao ambiente externo (EUROPEAN PHARMACOPOEIA COMMISSION E EUROPEAN DIRECTORATE FOR THE QUALITY OF MEDICINES & HEALTHCARE, 2010). Ela interage consistentemente com o alimento e o ambiente circundante do alimento dentro da embalagem. Essas embalagens contêm componentes ativos que atuam como antimicrobianos, antioxidantes, eliminadores de O₂, emissores/absorventes de CO₂, reguladores de umidade, liberadores de sabor e absorventes podem retardar ou interromper a deterioração microbiana, enzimática e oxidativa (AHMED *et al.*, 2017; ALPARSLAN; BAYGAR, 2017; YILDIRIM *et al.*, 2018).

Tais componentes ativos (antioxidantes e antimicrobianos) se dividem em naturais ou sintéticos. Os naturais são obtidos de plantas, incluindo óleos essenciais (OE) e na literatura científica consta que seus principais componentes, possuem propriedades antimicrobianas e antioxidantes conhecidas (SARFRAZ *et al.*, 2021). Substâncias antimicrobianas naturais obtidas de óleos essenciais (cravo, orégano, tomilho,

óleos de alecrim) podem ser incluídos em materiais de embalagem biodegradáveis (SANI *et al.*, 2021).

Pela definição, os óleos essenciais (OE) são um grupo de compostos botânicos com potentes propriedades antioxidantes e antimicrobianas, que consistem em uma mistura complexa de compostos fenólicos, terpenos e terpenoides (ALIZADEH-SANI; MOHAMMADIAN; MCCLEMENTS, 2020; KAMKAR *et al.*, 2021). Seu uso foi classificado como Geralmente Reconhecido como seguros (GRAS), com isso sua utilização pode ser feita em materiais ativos de embalagem de alimentos como ingredientes funcionais (SANI *et al.*, 2021).

Diversos revestimentos comestíveis e embalagens biodegradáveis contendo componentes ativos derivados de óleos essenciais, como capim-limão, canela, ziziphora clinopodioides, e/ou nanopartículas como óxido de cobre, óxido de zinco, foram registradas na literatura. Essas substâncias apresentam propriedades antibacterianas e são incorporados em substratos como alginato, poli(3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato), quitosana, alginato de sódio-carboximetilcelulose, ou matriz de PLA, (ALARCÓN-MOYANO *et al.*, 2017; CASTRO MAYORGA *et al.*, 2018; HIGUERAS *et al.*, 2013; REZAEI; SHAHBAZI, 2018; WEN *et al.*, 2016).

Quando há a incorporação de OEs nas embalagens, pode ser que melhore suas propriedades físico-químicas e mecânicas, bem como suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes (ALIZADEH-SANI; KHEZERLOU; EHSANI, 2018; SANI *et al.*, 2021). O OE de orégano apresenta o carvacrol como principal componente com ação antimicrobiano que no estudo realizado por Yildirim *et al.*, 2018 demonstrou um aumento da permeabilidade das paredes celulares microbianas, provocando sua morte (YILDIRIM *et al.*, 2018). Quando ele foi usado em combinação com o timol em filmes de nanocompósitos de argila / polímero, obteve um efeito antimicrobiano sinérgico contra o mofo cinzento do morango (SANI *et al.*, 2021).

Os óleos essenciais também têm sido usados em combinação com outros tipos de aditivos de nanopartículas inorgânicas em materiais de embalagem de biopolímeros, como aqueles compostos de óxido de titânio (TiO₂), óxido de zinco (ZnO) e prata (Ag), relata-se na literatura que uma combinação de óleo de alecrim e nanopartículas de TiO₂ incorporadas em um material de embalagem de biopolímero reduz significativamente a oxidação lipídica e o crescimento

microbiano (ALIZADEH-SANI; MOHAMMADIAN; MCCLEMENTS, 2020).

Nos últimos anos, vários estudos relataram revestimentos biodegradáveis e comestíveis aliado a componentes ativos como hortelã, extratos de casca de uva, timol, ácido ferúlico, ácido cafeico e tirosol incorporados em, por exemplo, goma guar, gelatina, quitosana, álcool polivinílico, ou matriz de ácido polilático (PLA) houve uma ação com propriedades antioxidantes (BASHIR *et al.*, 2018; BENBETTAÏEB *et al.*, 2018; ZHU *et al.*, 2018).

Investigações demonstraram que a incorporação de óleos essenciais encapsulados em β-ciclodextrinas em materiais de embalagem aumenta a vida útil e a qualidade dos tomates-cereja (BUENDÍA-MORENO *et al.*, 2019). Já em materiais de embalagem com funções antimicrobianas contendo óleos essenciais de palmarosa ou anis-estrelado aumentam o prazo de validade e reduzem o crescimento de *Penicillium expansum* em maçãs (NETO *et al.*, 2019).

Portanto, o objetivo deste artigo foi explorar o potencial do uso de OEs em embalagens ativas na conservação de alimentos através do uso de embalagens biodegradáveis para prolongar a vida útil, preservação e outras propriedades dos alimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

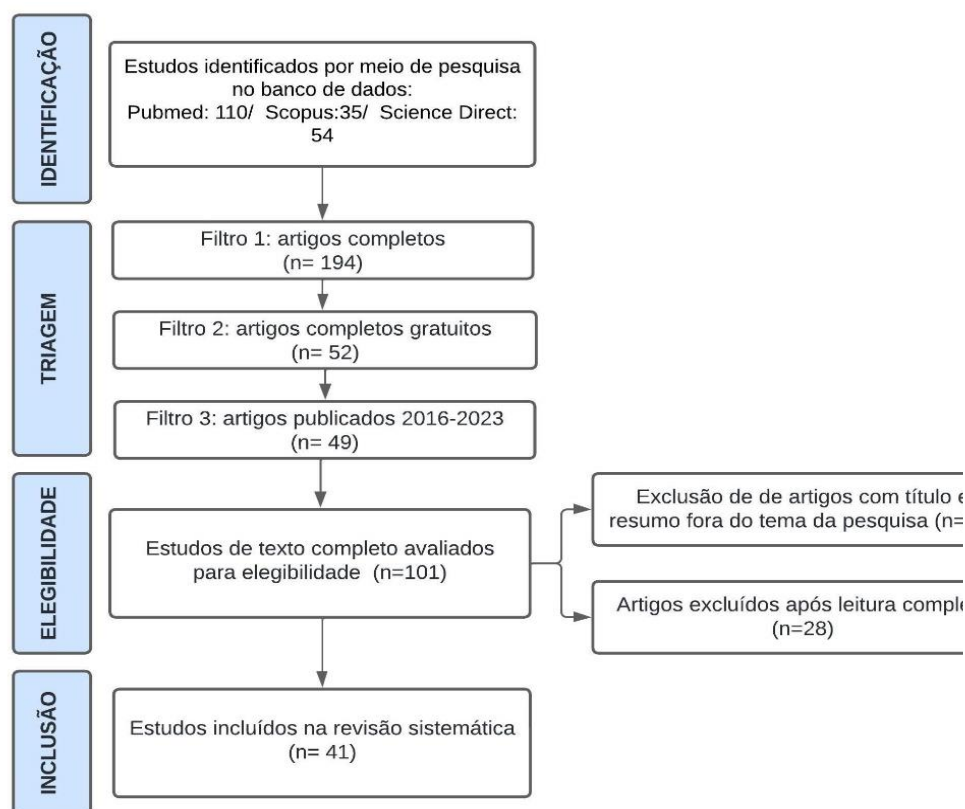
Trata-se de uma revisão sistemática da literatura em que se realizou a busca em bases eletrônicas de dados (PUBMED E SCIENCE DIRECT), fazendo restrição ao ano de publicação dos artigos (2016-2023). As palavras chaves utilizadas na pesquisa foram retiradas Descritores em Ciências da Saúde – DeCS, descritas em inglês: "active food packaging", "biodegradable packaging" "essential oils". Tais termos foram combinados por meio do operador booleano "AND", resultando em 199 artigos, para refinar a coleta, utilizou-se os filtros: 1) texto completo; 2) texto completo gratuito; 3) idioma em inglês. Após pesquisa dos descritores nas bases de dados descritas, realizou-se revisão e seleção dos estudos, avaliando primeiramente os títulos e os resumos e, posteriormente, os artigos na íntegra, com o intuito de identificar estudos de potencial relevância. Documentos adicionais foram identificados examinando as referências listadas nos

principais artigos. Com base nas informações do título e do resumo, houve a inclusão apenas de artigos considerados relevantes para o assunto óleos essenciais com aplicação em embalagens de alimentos ativos. Foram excluídas pesquisas com modelos *in vitro*, monografias, dissertações e teses. Portanto, 41 artigos foram incluídos nesta revisão sistemática da literatura de artigos científicos. A sequência da busca está resumida em fluxograma na figura 1.

representam os subprodutos dos processos metabólicos da planta e são constituídos por frações voláteis e não voláteis coletadas por meio de um processo de destilação (CHANDRAN; MEENA; SHARMA, 2020).

Os OE apresentam geralmente a característica de ser líquidos à temperatura ambiente e são substâncias hidrofóbicas (imiscíveis com água) e lipofílicas (miscíveis com outros óleos e solventes orgânicos) (DAJIC STEVANOVIC *et al.*, 2020). Sua composição química, em suma, pode ser complexa pela quantidade de

Figura 1- Fluxograma de seleção e identificação dos estudos



Fonte: Próprio Autor (2024)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Óleos essenciais

Define-se óleos essenciais como compostos voláteis sintetizados de diversas partes das plantas, incluindo folhas, caules ou flores, tais compostos fornecem o sabor e aroma únicos da planta e são armazenados na forma de gotículas hidrofóbicas lipossolúveis na parede celular da planta, células secretoras, pelos glandulares e células epidérmicas. Esses óleos essenciais

componentes diferentes que podem ter propriedades químicas e biológicas promissoras. Os OE são misturas complexas que podem conter mais de 300 compostos diferentes, a maioria deles se caracterizada por dois ou três componentes principais em concentrações razoavelmente altas (20-70%) em comparação com outros componentes presentes em pequenas quantidades (SOUSA *et al.*, 2022).

Na sua avaliação química, os OEs pertencem principalmente a duas classes de compostos: terpenos/

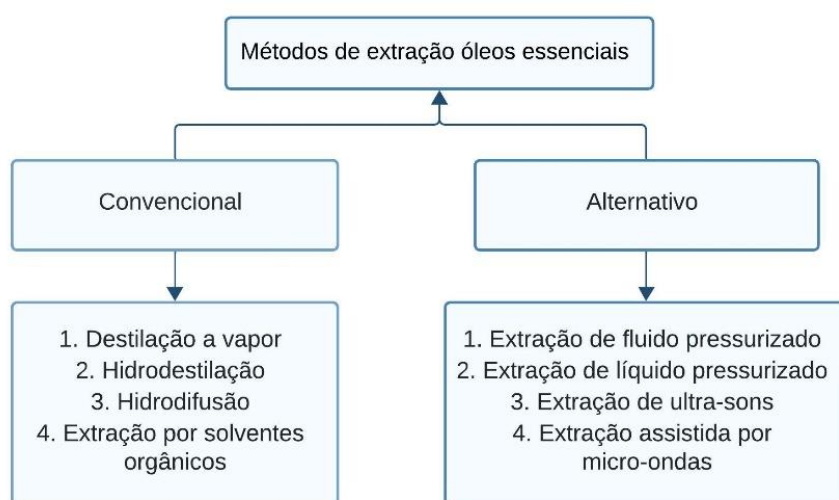
terpenóides, fenilpropanóides e aromáticos/alifáticos. A família dos terpenos é predominante e os fenilpropanóides, quando aparecem, são responsáveis pelo odor e sabor característicos (SOUSA et al., 2022). Sua obtenção é comumente mediante diferentes processos, como extração com solvente, hidro destilação, destilação a vapor e hidro difusão, etc. Na figura 2 estão descritos os métodos de extração (SHARMA et al., 2022).

(RIBEIRO-SANTOS et al., 2017), sequestrantes ou absorvedores (por exemplo, sequestrantes de oxigênio, absorvedores ou emissores de dióxido de carbono, agentes de controle de umidade e absorvedores ou adsorventes de etileno) (RODRIGUES et al., 2021).

Propriedades do ingrediente ativo (DUTTA; SIT, 2023):

- Encapsulamento ou transportador de sabores,

Figura 2 - Métodos de extração utilizados para obtenção de óleos essenciais.



Fonte: Almeida-Couto (2022)

VISÃO GERAL SOBRE AS EMBALAGENS

Sistema de embalagem ativo

A aplicabilidade da embalagem ativa consiste na utilização de matérias que podem liberar, emitir, absorver ou retirar substâncias direta ou indiretamente do alimento para manter a qualidade ou retardar sua degradação (RODRIGUES et al., 2021; VILELA et al., 2018). Sua tecnologia consiste na utilização de compostos ativos com propriedades antioxidantes ou antimicrobianas incorporados em uma matriz polimérica, revestimentos ou em rótulos, almofadas ou sachês (WILSON; HARTE; ALMENAR, 2018).

As embalagens ativas são classificadas em três sistemas principais: antioxidantes (por exemplo, hidroxitolueno butilado, vitamina C, vitamina E) (RODRIGUES et al., 2021), antimicrobianos (por exemplo, óleos essenciais, peptídeos, compostos fenólicos)

antimicrobianos, agentes antioxidantes, absorventes de luz com aditivos alimentares.

- Manutenção em troca gasosa suficiente, principalmente de O₂ e CO₂ para evitar perda de aroma, sabor e valor nutricional.
- Resistência mecânica adequada para evitar danos às superfícies dos alimentos.
- Melhoria na apresentação geral e aparência do produto final, proporcionando brilho de cor e transparência, atingindo assim as características clássicas da embalagem no que diz respeito ao design.
- Melhoria das propriedades estruturais.
- Proteção de pequenos pedaços de alimentos individualmente.
- Separação de uma parte individual do alimento.
- Solubilidade na embalagem para aditivos preliminares ou ingredientes alimentares.

O sistema de embalagem ativa altera ativamente as condições dos alimentos embalados, prolongando sua sustentabilidade e prazo de validade, além de garantir ou melhorar a segurança microbiológica e as propriedades sensoriais. Ao contrário das embalagens tradicionais, as embalagens ativas permitem prolongar a validade dos alimentos e preservar sua qualidade superior ao reagirem com a atmosfera interna e o produto. Elas interagem com o alimento embalado, alterando suas condições e controlando sua qualidade simultaneamente (WYRWA ; BARSKA, 2017).

Existem diferentes tipos de embalagens ativas, utilizadas para prolongar o prazo de validade dos produtos, tratando de processos fisiológicos, químicos, físicos, microbiológicos e infestações causadas por insetos. Processos fisiológicos, por exemplo, respiração de frutas e verduras frescas; processos químicos, por exemplo, a oxidação das gorduras; processos físicos, no caso do endurecimento do pão; alterações microbiológicas devidas ao impacto de microrganismos; infestações causadas por insetos (WYRWA; BARSKA, 2017).

A atmosfera no interior da embalagem funciona por dois tipos, os que absorvem (removedores) ou liberam (emissores) gases ou vapor. Os absorventes removem componentes indesejáveis do ambiente no interior da embalagem. Não há migração direta entre um absorvente e um produto, mas apenas uma melhoria das condições no interior da embalagem, o que prolonga o prazo de validade do produto. A aplicação pode estar associada à absorção de oxigênio, umidade, etileno ou dióxido de carbono. É para conseguir efeitos específicos que são aplicadas substâncias como a zeólita, a celulose, o carvão ativado, o gel de sílica, os íons de ferro, o ácido ascórbico, o permanganato de potássio e o hidróxido de cálcio (WYRWA; BARSKA, 2017).

Os emissores baseiam-se na liberação de substâncias que contêm e produzem compostos capazes de penetrar no interior da embalagem e inibir processos adversos. Destinam-se a garantir condições estáveis durante o armazenamento e devem assegurar o prolongamento do prazo de validade. É através dos emissores que a umidade dentro da embalagem (embalagem de vegetais) pode ser controlada, o crescimento de microrganismos nocivos (emissores de CO₂, SO₂ e etanol) pode ser inibido e a deterioração bacteriana pode ser evitada (antibacterianos) (WYRWA; BARSKA, 2017).

Os emissores podem ser substâncias aromáticas, aditivos alimentares, ingredientes alimentares, reguladores de umidade e substâncias ativas biológicas, que impedem o crescimento de microrganismos. As substâncias antimicrobianas mais comumente utilizadas são o etanol, o dióxido de enxofre e o dióxido de carbono. Os seguintes sistemas de embalagem ativa são utilizados na indústria alimentar: absorvedores de oxigênio, dióxido de carbono e etileno; emissores de dióxido de carbono; emissores e absorvedores de odores; reguladores da umidade relativa (teor de água na atmosfera da embalagem); substâncias antibacterianas; antioxidantes (WYRWA; BARSKA, 2017). Na tabela 1 temos os exemplos das inovações no mercado de embalagens ativas de alimentos.

Materiais de embalagem biodegradáveis

A busca por alternativas para a substituição dos plásticos levou à pesquisa de materiais alternativos para embalagens de alimentos (AHMED et al., 2018). As matérias biodegradáveis, como biopolímeros, bioplásticos, bio nanocompósitos e revestimentos comestíveis, estão sendo desenvolvidos para substituir os plásticos (PERERA; JAISWAL; JAISWAL, 2023). Os polímeros biodegradáveis têm como características serem renováveis, não tóxicos, biodegradáveis, biocompatíveis, reproduzíveis, versáteis, abundantemente disponíveis e apresentam baixa pegada de carbono (HOU et al., 2019).

Os agentes antimicrobianos presentes nos compostos biopolímeros são liberados lentamente na superfície dos alimentos ao longo do tempo. Desta forma, a concentração ativa de agentes antimicrobianos nos alimentos é mantida por um longo período sem risco de neutralizar ou afetar negativamente os alimentos. Este método estende as fases de atraso para o crescimento de microrganismos e evita a deterioração dos alimentos. Manter um equilíbrio entre a taxa de liberação de antimicrobianos e a dinâmica de deterioração dos alimentos é importante para otimizar a eficácia das embalagens ativas (KUI et al., 2021).

Esses biopolímeros incluem polissacarídeos (quitina, quitosana, celulose, amido, alginato e alfa glucanos), lipídios (ceras de abelha, ácidos graxos livres) e proteínas (LIU et al., 2021; MOEINI et al., 2021). Os de base biológica oferecem excelentes propriedades de barreira (umidade, gases, térmica e graxa), quando aplicados sob condições e concentrações ideais de fabricação. Diversos pesquisadores demonstraram

Tabela 1 - Sistemas ativos de embalagens.

Tipo	Forma	Função	Aplicação
Eliminadores de oxigênio	Sachês, rótulos, filmes, coroas de garrafas, masterbatch, recipiente adequado para altas temperaturas, filme adequado para altas temperaturas.	Minimizar os efeitos da permeação de oxigênio através do material de embalagem durante a vida útil do produto, preservar a qualidade do produto alimentício, inibir a oxidação inadequada (pigmentos instáveis) e o crescimento de microrganismos aeróbicos, prevenir o ranço oxidativo, controlar a descoloração enzimática, inibição da oxidação de lipídios, desenvolvimento de fungos, evitando a descoloração	Alimentos com alto, intermediário e baixo teor de umidade, alimentos contendo lipídios, alimentos refrigerados e congelados, produtos alimentícios para micro-ondas, reduzem o crescimento microbiano e a perda nutricional, melhoram a qualidade e a vida útil do produto, evitam a descoloração e a alteração do sabor, Exemplos: pão, bolos, biscoitos, arroz cozido, pizza, massas, queijos, carnes curadas, peixes, café, salgadinhos, alimentos secos, carne seca, frutas secas, óleos, gorduras, bebidas.
Emissores de dióxido de carbono	Almofada emissora de CO ₂ , emissor de CO ₂ e almofada antimicrobiana, sistema de caixa com emissor de CO ₂	Diminuir o crescimento e a deterioração de microrganismos, reduzir a taxa metabólica dos micróbios, preservar a qualidade dos alimentos, evitando o inchaço das embalagens.	Reduzir a taxa de respiração, aumentar a vida útil do produto, inibir o crescimento microbiano, absorvido pela umidade ou gordura, café moído torrado, salgadinhos, nozes, produtos de panificação, carne seca, carnes frescas, produtos de peixe.
Eliminadores de etileno	Sachês, filme	Reduzir o amadurecimento e a deterioração, prolongar a vida útil, controlar o amadurecimento de frutas e vegetais.	Controlar a concentração de etileno, melhorar a qualidade dos alimentos, frutas, vegetais e outros produtos hortícolas.
Emissores e absorvedores de sabor/odor	Filme	Estabilização de odores.	Absorção de odores desagradáveis, emissão de odores. sucos de frutas, salgadinhos fritos, peixes, cereais, aves, laticínios, frutas.
Embalagem antimicrobiana	Folhas, rótulos e filmes antibacterianos e antifúngicos, masterbatch à base de prata, bandejas e filmes à base de prata, intercaladores, revestimento antifúngico	Inibição do crescimento de microrganismos, prolongando a vida útil, reduzindo a deterioração pós-colheita, mantendo a qualidade do armazenamento.	Frutas e vegetais frescos, produtos cárneos, queijos, produtos de panificação mantêm a qualidade dos alimentos, inibem microrganismos.
Antioxidantes.	Revestimento de filme	Inibição de processos de oxidação	Produtos de cereal

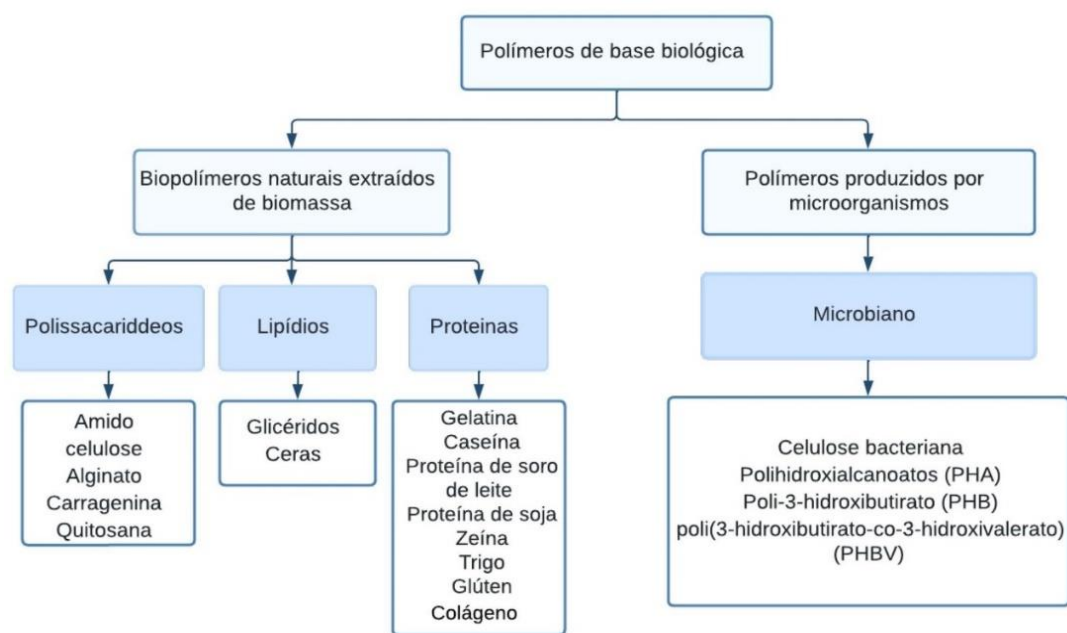
Fonte: Wyrwa; Barska, 2017.

que o uso de polímeros de base biológica pode melhorar as qualidades de barreira dos materiais de embalagem (MOEINI *et al.*, 2021). Sua aplicabilidade tem sido em diferentes formas, como revestimento, bio-nanocompósitos e filmes de mistura (FERNÁNDEZ-MARÍN *et al.*, 2021; LAKSHMI BALASUBRAMANIAM *et al.*, 2022; MUJTABA *et al.*, 2021; TARIQUE; SAPUAN; KHALINA, 2021). Na figura 3 temos as classes de substâncias biodegradáveis formadoras de filmes uti-

Portanto, a aplicação de biopolímeros no desenvolvimento de materiais de embalagem é considerada altamente promissora devido ao baixo risco de toxicidade ou produção de produtos químicos nocivos, uma fácil decomposição em produtos finais inofensivos e subsequentemente tornam-se parte do solo (ABDUL KHALIL *et al.*, 2018).

APLICAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM EMBALAGEM DE ALIMENTOS

Figura 3 - Substâncias biodegradáveis formadoras de filmes utilizadas em embalagens.



Fonte: Adaptado Baghi *et al.*, (2022)

lizadas em embalagens.

Apesar de apresentar vantagens tanto para o ambiente, quanto para os alimentos, no entanto, apresenta algumas limitações quanto a seu uso como viscosidade, hidrofobicidade, atividade de cristalização, fragilidade, sensibilidade à água, estabilidade térmica, propriedades de barreira a gases, resistência mecânica, dificuldade de processamento e custo têm dificultado sua ampla adoção industrial (CHAUDHARY; FATIMA; KUMAR, 2020). Entretanto, há uma solução para essas limitações, onde os polímeros biodegradáveis podem ser misturados com outros polímeros biodegradáveis, plastificantes (por exemplo, glicerol) e compatibilizantes (por exemplo, óleos essenciais) (CHAUDHARY; FATIMA; KUMAR, 2020; HOU *et al.*, 2019; SHARMA *et al.*, 2020).

Os óleos essenciais são extratos lipídicos de plantas que têm sido estudados há muitos anos para uso como aditivos em filmes e revestimentos, para substituir conservantes sintéticos. Tais estudos se deve a eles possuírem propriedades antioxidantes e antimicrobianas naturalmente, devido à presença de compostos bioativos, como fenóis e terpenóides (SHARMA *et al.*, 2021).

Quando elencamos as propriedades antibacterianas dos OEs sua atuação se atribuí por mais de um mecanismo (FALLEH *et al.*, 2020). Devido à lipofilicidade (representa a afinidade de uma molécula ou um grupamento por um ambiente lipofílico) dos terpenos e fenólicos, os OEs tem a capacidade de penetrar facilmente no citoplasma dos microrganismos e deteriorar a bicamada fosfolipídica das mitocôndrias e a membrana interna, resultando em aumento da

da permeabilidade celular seguido de vazamento de constituintes citoplasmáticos (por exemplo, DNA e RNA), e certos íons (Na^+ , K^+ e Mg^{2+}) (HAO *et al.*, 2021).

O segundo mecanismo está relacionado à distorção da interação entre lipídio-proteína em uma célula bacteriana causada por hidrocarbonetos lipofílicos naturalmente encontrados em OEs, afetando a atividade das ATPases necessárias para a produção de ATP (MEI; MA; XIE, 2019). Por outro lado, certos fenólicos presentes nos OEs podem atuar na perturbação do fluxo de elétrons, a força motriz de prótons e a coagulação citoplasmática. Portanto, todos os mecanismos relatados acima resultam na inibição da atividade bacteriana na superfície dos alimentos, mas também impedem que os compostos ativos dos OE alcancem a membrana interna. Portanto, as bactérias gram-negativas demonstraram ser mais resistentes aos OE do que as bactérias gram-positivas (HASSOUN; EMIR ÇOBAN, 2017).

Entretanto, ainda há a atuação dos OE contra as gram-negativas presentes nos alimentos, que ocorre devido à capacidade OEs apresentarem compostos hidrofóbicos que têm a capacidade de atravessar a barreira da membrana externa. Porém, as bactérias gram-negativas acabam não sendo tão suscetíveis ao OE em comparação às bactérias gram-positivas, principalmente devido às suas propriedades de membrana que atuam como barreira contra macromoléculas e compostos hidrofóbicos (NIETO, 2017). Na tabela 2 são apresentados estudos da aplicabilidade de OEs com ativos antimicrobianos em embalagens.

Em relação ao seu comportamento como antioxidante, os compostos fenólicos presentes nos extratos de plantas são considerados como o principal grupo responsável pela atividade antioxidante dos extratos. Nos óleos essenciais, os fenilpropanóides e terpenóides com características fenólicas também possuem atividades antioxidantes. Esses compostos podem atuar na estabilização de radicais livres, pois suas estruturas possuem um grupo hidroxila em um anel benzênico. Assim, podem atuar através da transferência do átomo de H do grupo OH para o radical livre, como agentes redutores e inibidores do oxigênio singlete (FERREIRA *et al.*, 2019; PAPUC *et al.*, 2017).

No setor alimentar, os óleos essenciais (OEs) desempenham um papel crucial, com uma ampla gama de aplicações, principalmente para prolongar a vida

útil e prevenir a oxidação em produtos alimentícios. Por essa razão, eles têm sido extensivamente estudados para otimizar a conservação e prolongar o tempo de prateleira dos alimentos. (sharma *et al.*, 2021).

A aplicação de OEs em embalagens ativas de alimentos está veementemente ligada à sua incorporação em filmes biodegradáveis em combinação com outro filme comestível à base de polissacarídeos, proteínas ou lipídios (MOHAMED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020). Uma gama de estudos foram realizados sobre a atuação antimicrobianas dos OEs em diferentes microrganismos, com resultados promissores na inibição do crescimento de diferentes tipos de patógenos, o que tem atraído grande atenção nas embalagens de alimentos (ROLIM; RAMALHO, 2021).

A este respeito, a utilização e filmes de quitosana preparados com a incorporação OE de caroço de damasco, que possui ação antioxidante e antimicrobiano, em diferentes concentrações, apresentaram excelentes propriedades antimicrobianas e antioxidantes em comparação aos filmes de quitosana pura. Eles inibiram com sucesso o crescimento de fungos em fatias de pão embalado, melhoraram a resistência à água e a propriedade de barreira ao vapor de água (PRIYADARSHI *et al.*, 2018).

Apesar das vantagens apresentadas pela sua utilização, a literatura descreve que o uso de forma direta de OEs na matriz polimérica é a forma mais usual de obter embalagens ativas, com propriedades antioxidantes e antimicrobianas (JACINTO-VALDERRAMA *et al.*, 2023). No entanto, quando os óleos essenciais são adicionados diretamente à matriz alimentar, eles se deterioram de forma rápida devido à interação entre a sua composição instável e volátil e os fatores externos, como a luz, a oxidação e o aquecimento. Entretanto, à medida que a ciência foi evoluindo, houve a criação de novos métodos para aprimorar a estabilidade dos óleos essenciais, encapsulando-os em lipossomas, partículas poliméricas e nanopartículas lipídicas sólidas (FERNÁNDEZ-LÓPEZ; VIUDA-MARTOS, 2018).

O uso de agentes antioxidantes e antimicrobianos naturais apresenta limitações devido à sua rápida degradação, baixa solubilidade em água, baixa biodisponibilidade e ao seu sabor indesejável (KAUR; KAUR, 2021). A partir desse entrave, foi desenvolvido o método de encapsulamento, no qual uma substância nos estados sólido, líquido ou gasoso é aprisionada/revestida por outro material, denominado material de

Tabela 2 - Óleos essenciais em embalagens com ativos antimicrobianos (cont.)

Alimentos	Agentes antimicrobianos	Polímeros de base biológica	Microrganismos alvo	Principais resultados	Referências
Queijo	Óleos essenciais: <i>Rosmarinus officinalis</i> e <i>Laurus nobilis</i>	Nanofibras de zeína	<i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Listeria monocytogenes</i>	Ambos mostraram atividade antimicrobiana, com efeitos mais elevados do <i>Laurus nobilis</i> do que do <i>Rosmarinus officinalis</i> .	(Gökseken <i>et al.</i> , 2020).
Queijo	Óleo de moringa	Quitosana	<i>Listeria monocytogenes</i> e <i>Staphylococcus aureus</i>	Elevada atividade antibacteriana contra <i>Listeria monocytogenes</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> a 4 °C e 25 °C durante 10 dias, sem qualquer efeito na qualidade sensorial do queijo	(Lin; Gu; Cui, 2019).
Peixe	Óleo essencial de <i>Plectranthus amboinicus</i>	Quitosana	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Melhoria da resistência à tração, opacidade e barreira ao vapor de água com eficácia antimicrobiana contra agentes patogênicos de origem alimentar.	(Soto <i>et al.</i> , 2019).
Carne de porco	óleo essencial de canela (CE-NPs)	Revestimento contendo nanopartículas de quitosana	N/A	O revestimento com NPs-CE (527 nm) diminuiu o crescimento microbiano, o índice de peróxidos, o pH (POV), o ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) e os resultados sensoriais da carne de porco.	(Zhang <i>et al.</i> , 2021).

Tabela 2 - Óleos essenciais em embalagens com ativos antimicrobianos (cont.)

Alimentos	Agentes antimicrobianos	Polímeros de base biológica	Microrganismos alvo	Principais resultados	Referências
Frango cru	óleo essencial de crisântemo	nanolipossomas modificados com quitosana e pectina	<i>C. jejuni</i>	Os nanolipossomas carregados com OE de crisântemo apresentaram uma elevada atividade antibacteriana contra <i>C. jejuni</i> quando aplicados na superfície de frango cru.	(Lin <i>et al.</i> , 2019).
Queijo	óleo essencial de tomilho	Revestimento à base de quitosana formado por nanolipossomas	N/A	O revestimento produzido com óleo essencial de tomilho demonstrou efeitos antimicrobianos mais elevados no queijo do que o óleo de tomilho não encapsulado	(Al-Moghazy <i>et al.</i> , 2021).
N/A	óleo essencial carvacrol ≥2%	filmes de isolado de proteína de soja	<i>Listeria grayi</i>	As películas incorporadas com carvacrol em fase de vapor em estudo <i>in vitro</i> , demonstraram uma elevada atividade antimicrobiana contra a <i>Listeria grayi</i> .	(Tao; Sedman; Ismail, 2022).
Arilos (sementes) de romã	óleo essencial de cravo (CEO-ChNPs)	Nanopartículas de Quitosana	N/A	As CEO-ChNPs aplicadas como revestimento demonstraram ser bem sucedidas na manutenção de alterações microbianas, físico-químicas e sensoriais indesejáveis nos arilos (sementes) de romã.	(Hasheminejad ; Khodaiyan, 2020).

Tabela 2 - Óleos essenciais em embalagens com ativos antimicrobianos (cont.)

Alimentos	Agentes antimicrobianos	Polímeros de base biológica	Microrganismos alvo	Principais resultados	Referências
Fatias de carne de porco	óleos essenciais de estragão nano-encapsulados	Revestimen to à base de gelatina-quitosana	N/A	As fatias de carne de porco foram revestidas com nanopartículas de óleo essencial de estragão e inibiram com sucesso o crescimento microbiano, a oxidação lipídica e melhoraram os atributos sensoriais	(Reis; Ambrosi; Luccio, 2022).

Fonte: Adaptado Baghi *et al.*, 2022. Não aplicável (N/A)

parede. Este processo pode produzir diferentes tamanhos de partículas, como milímetros, micrômetros (microencapsulação) e nanômetros (nanoencapsulação) (BAGHI *et al.*, 2022).

É uma técnica promissora que propõe superar as limitações e aprimorar a estabilidade física, química e térmica, além de mascarar o sabor indesejado, aumentar a biodisponibilidade e a solubilidade de compostos antimicrobianos e antioxidantes naturais, fornecendo a possibilidade de liberação controlada e de entrega direcionada (DELSHADI *et al.*, 2021) da parede, a fim de proteger suas atividades contra impactos externos (DIMA *et al.*, 2020; YOUSEFI; EHSANI; JAFARI, 2019). O uso de filmes biodegradáveis ativos contendo OEs encapsulados não apresentou citotoxicidade, ao mesmo tempo, em que mantiveram as qualidades sensoriais dos produtos alimentícios durante o armazenamento (ZHOU *et al.*, 2020).

Bharti *et al.*, (2020), examinaram o efeito do amido Manihot esculenta (mandioca) e do filme de carragena enriquecido com os óleos essenciais de 0,5% de anis, 1% de cominho ou 1% de noz-moscada, em nuggets de frangos embalados aerobicamente por 15 dias. Os resultados indicaram que a oxidação lipídica do valor de peróxido (POV) e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), que medem o conteúdo

de hidroperóxidos e malondialdeído, respectivamente, nas amostras tratadas, foi significativamente ($p < 0,05$) menor do que nas amostras controle. Além disso, a contagem total viável (TVI), a contagem psicofílica (PPC), a contagem de leveduras e fungos (YMC) também foram significativamente ($p < 0,01$) mais baixos nos grupos de tratamento e estavam dentro dos limites permitidos, e ainda houve o aumento do prazo de validade de 12 para 15 dias.

Um filme comestível produzido a partir proteína de soro de leite (WPI) com adição de OE de orégano ou alho foi aplicado ao queijo fatiado Kasar para reduzir a carga microbiana durante o armazenamento. O EO-WPI de alho foi menos eficaz que o EO-WPI de orégano na proteção microbiana, garantindo uma vida útil de 15 dias de e contribuindo para a redução do desperdício de alimentos (SEYDIM; SARIKUS-TUTAL; SOGUT, 2020). A tabela 3 exemplifica na outros estudos sobre uso agentes antimicrobianos naturais (NAMAs) em embalagens e seus benefícios.

Al-Moghazy *et al.*, (2021), conduziram um estudo utilizando 1–2% de OE de tomilho encapsulado e adicionado a uma emulsão lipossomal de quitosana e aplicado no queijo Karish para aumentar a vida útil. No OE de tomilho foi identificado o timol e o p-cimeno que forneceram quatro semanas de proteção

Tabela 3 - Visão geral dos NAMAs derivados de diversas fontes em embalagens comestíveis e seus efeitos.

NAMAs	Microrganismos Alvejados	Matriz de Filme Comestível	Produto Alimentar	Descobertas	Referências
Óleo essencial de canela	<i>Staphylococcus aureus</i> ; <i>Escherichia coli</i>	Filmes de alginato de sódio e carboximetilcelulose	Banana	Apresentou atividade antimicrobiana excepcional.	(Han;Yu; Wang, 2018).
Óleo essencial orégano	<i>Listeria monocytogenes</i>	Filme de alginato de sódio	Fatias de presunto	Filme causou redução de aproximadamente 1,5 log na população de <i>Listeria</i> a 8 e 12 °C no final do período de armazenamento, e redução de quase 2,5 log a 4 °C.	(Pavli <i>et al.</i> , 2019).
Óleo essencial de carvacrol	<i>Escherichiacoli</i>	Filmes de amido termoplástico	N / D	Atividade antimicrobiana substancial e perceptível contra <i>E. coli</i> devido à perda de homeostase e dissolução fracionada da membrana celular.	(Souza, de <i>et al.</i> , 2020).
Óleo essencial de alecrim	Bactérias coliformes	Concentrado protéico de soro	Espinafre fresco	Reduziu a contagem microbiana total e de <i>coliformes</i> para 0,57, 0,23 log UFC/g, respectivamente. A perda de clorofila também diminuiu.	(Abedi; Lakzadeh; Amouheydari, 2021; Amoroso; Rizzo; Muratore, 2019; Rizzo <i>et al.</i> , 2018).

Fonte: Adaptado Punia Bangar *et al.*, 2021.

antimicrobiana contra bactérias aeróbias, bactérias psicrotróficas e leveduras e fungos.

Na aplicação de OE na conservação de ovos, um estudo utilizou uma série de coberturas de proteína de arroz enriquecidas com 1% de OE de tea tree (*MELALEUCAALTERNIFOLIA*), copaíba (*Copaiferalangsdorffii*) ou tomilho (*Thymusvulgaris*) para aumentar a vida útil dos ovos. Após o armazenamento durante seis semanas, os ovos que foram cobertos apresentaram melhores propriedades internas que os ovos descobertos, em termos de perda de peso, pH do albúmen e índice de gema. Provavelmente devido à hidrofobicidade da cobertura do arroz e às características lipofílicas do OE que proporcionam uma barreira à massa e perda de oxigênio (PIRES *et al.*, 2019).

Portanto, a partir dos estudos apresentados nesta revisão, o uso de OEs no setor de alimentos, apresenta-se como uma alternativa promissora como substituto dos antioxidantes e antimicrobianos sintéticos. A literatura disponível demonstra que os óleos essenciais têm sido amplamente utilizados contra uma grande variedade de patógenos de origem alimentar. Visando prolongar o prazo de validade e aumentar o valor de um produto, os OEs podem acrescentar diversas propriedades aos filmes e revestimentos na indústria e embalagens, tais como características antioxidantes ou antimicrobianas, variando os compostos dos OEs e suas interações. A utilização de óleo essencial em embalagens ativas de alimentos parece-me uma solução viável para alongar a vida útil dos produtos alimentícios, mantendo a sua segurança, qualidade e integridade (SALANŤĂ; CROPOTOVA, 2022).

CONCLUSÃO

Os óleos essenciais apresentam diversas funções biológicas, sendo as propriedades antioxidantes e antibacterianas as mais proeminentes. Eles atuam na matriz alimentar, prevenindo a deterioração microbiana e a oxidação lipídica. Portanto, a inclusão deste elemento em matérias de embalagem ativa e altamente promissora, pois estudos demonstraram a eficácia do óleos essenciais em materiais de embalagem. No entanto, considerando os diferentes métodos de aplicação, o encapsulamento é visto como uma tecnologia adequada, pois reduz várias desvantagens associadas aos óleos essenciais. Assim, esses compostos podem

ser considerados como reservatórios de bioativos quando utilizados em componentes específicos.

Apesar de alguns óleos essenciais serem reconhecidos como seguros, é necessário aprofundar os estudos sobre os efeitos da sua adição em novos sistemas de embalagem nas suas propriedades mecânicas, sensoriais e biológicas, além de assegurar a sua segurança e a ausência de danos secundários tanto para os consumidores quanto para o meio ambiente. Em vista disso, estudos de mercado são de extrema importância antes da comercialização de novos materiais de embalagem ativa e da utilização de técnicas de análise de desempenho de embalagem.

REFERÊNCIAS

- ABDUL KHALIL, H. P. S.; BANERJEE, A.; SAURABH, C. K.; TYE, Y. Y.; SURIANI, A. B.; MOHAMED, A.; KARIM, A. A.; RIZAL, S.; PARIDAH, M. T. Biodegradable Films for Fruits and Vegetables Packaging Application: Preparation and Properties. *Food Engineering Reviews*, v. 10, n. 3, p. 139–153, set. 2018. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9180-3>.
- ABEDI, A.; LAKZADEH, L.; AMOUHEYDARI, M. Effect of an edible coating composed of whey protein concentrate and rosemary essential oil on the shelf life of fresh spinach. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 45, n. 4, p. e15284, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15284>.
- AHMED, I.; LIN, H.; ZOU, L.; BRODY, A. L.; LI, Z.; QAZI, I. M.; PAVASE, T. R.; LV, L. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, v. 82, p. 163–178, dez. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009>.
- AHMED, J.; ARFAT, Y. A.; BHER, A.; MULLA, M.; JACOB, H.; AURAS, R. Active Chicken Meat Packaging Based on Polylactide Films and Bimetallic Ag–Cu Nanoparticles and Essential Oil. *Journal of Food Science*, v. 83, n. 5, p. 1299–1310, 2018. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14121>.
- ALARCÓN-MOYANO, J. K.; BUSTOS, R. O.; HERRERA, M. L.; MATIACEVICH, S. B. Alginate edible films containing microencapsulated lemongrass oil or citral: effect of encapsulating agent and storage time on physical and antimicrobial properties. *Journal of*

- Food Science and Technology, v. 54, n. 9, p. 2878–2889, ago. 2017. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2726-1>.
- ALIZADEH-SANI, M.; EHSANI, A.; MOGHADDAS KIA, E.; KHEZERLOU, A. Microbial gums: introducing a novel functional component of edible coatings and packaging. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 103, n. 17, p. 6853–6866, set. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09966-x>.
- ALIZADEH-SANI, M.; KHEZERLOU, A.; EHSANI, A. Fabrication and characterization of the bionanocomposite film based on whey protein biopolymer loaded with TiO₂ nanoparticles, cellulose nanofibers and rosemary essential oil. *Industrial Crops and Products*, v. 124, p. 300–315, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.001>.
- ALIZADEH-SANI, M.; MOHAMMADIAN, E.; MCCLEMENTS, D. J. Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat. *Food chemistry*, v. 322, p. 126782, ago. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126782>.
- ALMEIDA-COUTO, J. M. F. D. E.; RESSUTTE, J. B.; CARDOZO-FILHO, L.; CABRAL, V. F. Current extraction methods and potential use of essential oils for quality and safety assurance of foods. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 94, n. 2, p. e20191270, 2022. <https://doi.org/10.1590/0001-376520220191270>.
- 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, out. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101230>.
- ALPARSLAN, Y.; BAYGAR, T. Effect of Chitosan Film Coating Combined with Orange Peel Essential Oil on the Shelf Life of Deepwater Pink Shrimp. *Food and Bioprocess Technology*, v. 10, n. 5, p. 842–853, maio 2017. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1862-y>.
- AMOROSO, L.; RIZZO, V.; MURATORE, G. Nutritional values of potato slices added with rosemary essential oil cooked in sous vide bags. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 15, p. 1–5, abr. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2018.11.007>.
- ANGELLIER-COUSSY, H.; CHALIER, P.; GASTALDI, E.; GUILLARD, V.; GUILLAUME, C.; GONTARD, N.; PEYRON, S. Protein-Based Nanocomposites for Food Packaging. Em: *Biopolymer Nanocomposites*. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2013. p. 613–654. <https://doi.org/10.1002/9781118609958.ch25>.
- BAGHI, F.; GHARSALLAOUI, A.; DUMAS, E.; GHNIMI, S. Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation. *Foods* (BASEL, SWITZERLAND), v. 11, n. 5, mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11050760>.
- BASHIR, A.; JABEEN, S.; GULL, N.; ISLAM, A.; SULTAN, M.; GHAFAR, A.; KHAN, S. M.; IQBAL, S. S.; JAMIL, T. Co-concentration effect of silane with natural extract on biodegradable polymeric films for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 106, p. 351–359, jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.025>.
- BENBETTAÏEB, N.; TANNER, C.; CAYOT, P.; KARBOWIAK, T.; DEBEAUFORT, F. Impact of functional properties and release kinetics on antioxidant activity of biopolymer active films and coatings. *Food Chemistry*, v. 242, p. 369–377, mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.065>.
- BHARGAVA, N.; SHARANAGAT, V. S.; MOR, R. S.; KUMAR, K. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 105, p. 385–401, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015>.
- BHARTI, S. K.; PATHAK, V.; ALAM, T.; ARYA, A.; SINGH, V. K.; VERMA, A. K.; RAJKUMAR, V. Materialization of novel composite bio-based active edible film functionalized with essential oils on antimicrobial and antioxidative aspect of chicken nuggets during extended storage. *Journal of food science*, v. 85, n. 9, p. 2857–2865, set. 2020. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15365>.
- BUENDÍA-MORENO, L.; SOTO-JOVER, S.; ROS-CHUMILLAS, M.; ANTOLINOS, V.; NAVARRO-SEGURA, L.; SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, M. J.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B.; LÓPEZ-GÓMEZ, A. Innovative cardboard active packaging with a coating including encapsulated essential oils to extend cherry tomato shelf life. *LWT*, v. 116, p. 108584, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108584>.
- CASTRO MAYORGA, J. L.; FABRA ROVIRA, M. J.; CABEDO MAS, L.; SÁNCHEZ MORAGAS, G.; LAGARÓN CABELLO, J. M. Antimicrobial nanocomposites and electrospun coatings based on poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and

- copper oxide nanoparticles for active packaging and coating applications. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 135, n. 2, p. 45673, 2018. <https://doi.org/10.1002/app.45673>.
- CAZÓN, P.; VELAZQUEZ, G.; RAMÍREZ, J. A.; VÁZQUEZ, M. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, v. 68, p. 136–148, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>.
- CHANDRAN, H.; MEENA, M.; SHARMA, K. Microbial Biodiversity and Bioremediation Assessment Through Omics Approaches. *Frontiers in Environmental Chemistry*, v. 1, 2020. <https://doi.org/10.3389/fenvc.2020.570326>.
- CHAUDHARY, P.; FATIMA, F.; KUMAR, A. Relevance of Nanomaterials in Food Packaging and its Advanced Future Prospects. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, v. 30, n. 12, p. 5180–5192, dez. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01674-8>.
- DAJIC STEVANOVIC, Z.; SIENIAWSKA, E.; GLOWNIAK, K.; OBRADOVIC, N.; PAJIC-LIJAKOVIC, I. Natural Macromolecules as Carriers for Essential Oils: From Extraction to Biomedical Application. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, v. 8, p. 563, 2020. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00563>
- DELSHADI, R.; BAHRAMI, A.; ASSADPOUR, E.; WILLIAMS, L.; JAFARI, S. M. Nano/microencapsulated natural antimicrobials to control the spoilage microorganisms and pathogens in different food products. *Food Control*, v. 128, p. 108180, out. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108180>.
- DIMA, C.; ASSADPOUR, E.; DIMA, S.; JAFARI, S. M. Bioactive-loaded nanocarriers for functional foods: from designing to bioavailability. *Sensory Science & Consumer Perception • Food Physics and Material Science*, v. 33, p. 21–29, jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.11.006>.
- DIN, M. I.; GHAFAR, T.; NAJEEB, J.; HUSSAIN, Z.; KHALID, R.; ZAHID, H. Potential perspectives of biodegradable plastics for food packaging application-review of properties and recent developments. *Food Additives & Contaminants: Part A*, v. 37, n. 4, p. 665–680, abr. 2020. <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1718219>.
- DUTTA, D.; SIT, N. Application of natural extracts as active ingredient in biopolymer based packaging systems. *Journal of food science and technology*, v. 60, n. 7, p. 1888–1902, jul. 2023. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05474-5>.
- EUROPEAN PHARMAPOEIA COMMISSION; EUROPEAN DIRECTORATE FOR THE QUALITY OF MEDICINES & HEALTHCARE. *European pharmacopoeia*. [s.l.] Council of Europe, 2010. v. 1
- FALLEH, H.; JEMAA, M. BEN; SAADA, M.; KSOURI, R. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food chemistry*, v. 330, p. 127268, nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; VIUDA-MARTOS, M. Introduction to the Special Issue: Application of Essential Oils in Food Systems. *Foods*, v. 7, n. 4, 2018. <https://doi.org/10.3390/foods7040056>.
- FERNÁNDEZ-MARÍN, R.; MUJTABA, M.; CANSARAN-DUMAN, D.; SALHA, G. BEN; ANDRÉS SÁNCHEZ, M. Á.; LABIDI, J.; FERNANDES, S. C. M. Effect of Deterpenated *Origanum majorana* L. Essential Oil on the Physicochemical and Biological Properties of Chitosan/ β -Chitin Nanofibers Nanocomposite Films. *Polymers*, v. 13, n. 9, 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13091507>.
- FERREIRA, V. R. F.; BRANDÃO, R. M.; FREITAS, M. P.; SACZK, A. A.; FELIX, F. S.; SILLA, J. M.; TEIXEIRA, M. L.; CARDOSO, M. DAS G. Colorimetric, electroanalytical and theoretical evaluation of the antioxidant activity of *Syzygium aromaticum* L., *Origanum vulgare* L., *Mentha spicata* L. and *Eremanthus erythropappus* M. essential oils, and their major constituents. *New J. Chem.*, v. 43, n. 20, p. 7653–7662, 2019. <https://doi.org/10.1039/C8NJ05893H>.
- GÖKSEN, G.; FABRA, M. J.; EKIZ, H. I.; LÓPEZ-RUBIO, A. Phytochemical-loaded electrospun nanofibers as novel active edible films: Characterization and antibacterial efficiency in cheese slices. *Food Control*, v. 112, p. 107133, jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107133>.
- Groh, Ksenia J., Thomas Backhaus, Bethanie Carney-Almroth, Birgit Geueke, Pedro A. Inostroza, Anna Lennquist, Heather A. Leslie, Maricel Maffini, Daniel Slunge, Leonardo Trasande, A. Michael Warhurst, e Jane Muncke. Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of The Total Environment*, v. 651, p. 3253–3268, fev. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.015>.
- HAN, Y.; YU, M.; WANG, L. Physical and antimicrobial properties of sodium alginate/carboxymethyl

- cellulose films incorporated with cinnamon essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 15, p. 35–42, mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.11.001>.
- HAO, R.; ROY, K.; PAN, J.; SHAH, B. R.; MRAZ, J. Critical review on the use of essential oils against spoilage in chilled stored fish: A quantitative meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, v. 111, p. 175–190, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.054>.
- HASHEMINEJAD, N.; KHODAIYAN, F. The effect of clove essential oil loaded chitosan nanoparticles on the shelf life and quality of pomegranate arils. *Food Chemistry*, v. 309, p. 125520, mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125520>.
- HASSOUN, A.; EMIR ÇOBAN, Ö. Essential oils for antimicrobial and antioxidant applications in fish and other seafood products. *Trends in Food Science & Technology*, v. 68, p. 26–36, out. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.016>.
- HIGUERAS, L.; LÓPEZ-CARBALLO, G.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; GAVARA, R.; ROLLINI, M. Development of a novel antimicrobial film based on chitosan with LAE (ethyl-N α -dodecanoyl-L-arginate) and its application to fresh chicken. *International Journal of Food Microbiology*, v. 165, n. 3, p. 339–345, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.003>.
- HOU, X.; XUE, Z.; XIA, Y.; QIN, Y.; ZHANG, G.; LIU, H.; LI, K. Effect of SiO₂ nanoparticle on the physical and chemical properties of eco-friendly agar/sodium alginate nanocomposite film. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 125, p. 1289–1298, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.109>.
- IORDANSKII, A. Bio-Based and Biodegradable Plastics: From Passive Barrier to Active Packaging Behavior. *Polymers*, v. 12, n. 7, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12071537>.
- IVANKOVIĆ, A.; ZELJKO, K.; TALIC, S.; MARTINOVIĆ BEVANDA, A.; LASIĆ, M. BIODEGRADABLE PACKAGING IN THE FOOD INDUSTRY. *Archiv für lebensmittelhygiene*, v. 68, p. 23–52, mar. 2017. <https://doi.org/10.2376/0003-925X-68-26>.
- JACINTO-VALDERRAMA, R. A.; ANDRADE, C. T.; PATEIRO, M.; LORENZO, J. M.; CONTE-JUNIOR, C. A. Recent Trends in Active Packaging Using Nanotechnology to Inhibit Oxidation and Microbiological Growth in Muscle Foods. *Foods*, v. 12, n. 19, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12193662>.
- KAKADELLIS, S.; HARRIS, Z. M. Don't scrap the waste: The need for broader system boundaries in bioplastic food packaging life-cycle assessment – A critical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 274, p. 122831, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122831>.
- KAMKAR, A.; MOLAEI-AGHAEI, E.; KHANJARI, A.; AKHONDZADEH-BASTI, A.; NOUDOOST, B.; SHARIATIFAR, N.; ALIZADEH SANI, M.; SOLEIMANI, M. Nanocomposite active packaging based on chitosan biopolymer loaded with nano-liposomal essential oil: Its characterizations and effects on microbial, and chemical properties of refrigerated chicken breast fillet. *International journal of food microbiology*, v. 342, p. 109071, mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109071>.
- KAUR, R.; KAUR, L. Encapsulated natural antimicrobials: A promising way to reduce microbial growth in different food systems. *Food Control*, v. 123, p. 107678, maio 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107678>.
- KUAI, L.; LIU, F.; CHIOU, B.-S.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; MCHUGH, T. H.; ZHONG, F. Controlled release of antioxidants from active food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, v. 120, p. 106992, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106992>.
- LAKSHMIBALASUBRAMANIAM, S.; HOWELL, C.; TAJVIDI, M.; SKONBERG, D. Characterization of novel cellulose nanofibril and phenolic acid-based active and hydrophobic packaging films. *Food chemistry*, v. 374, p. 131773, abr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131773>.
- LIN, L.; GU, Y.; CUI, H. Moringa oil/chitosan nanoparticles embedded gelatin nanofibers for food packaging against *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* on cheese. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 19, p. 86–93, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.12.005>.
- LIN, L.; GU, Y.; SUN, Y.; CUI, H. Characterization of chrysanthemum essential oil triple-layer liposomes and its application against *Campylobacter jejuni* on chicken. *LWT*, v. 107, fev. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.079>.
- LIU, Y.; AHMED, S.; SAMEEN, D. E.; WANG, Y.; LU, R.; DAI, J.; LI, S.; QIN, W. A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging

- application. *Trends in Food Science & Technology*, v. 112, p. 532–546, jun. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.016>.
- ŁUPINA, K.; KOWALCZYK, D.; ZIEBA, E.; KAZIMIERCZAK, W.; MEŻYŃSKA, M.; BASIURA CEMBALA, M.; WIĄCEK, A. Edible films made from blends of gelatin and polysaccharide-based emulsifiers - A comparative study. *Food Hydrocolloids*, v. 96, p. 555–567, maio 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.053>. MEI, J.; MA, X.; XIE, J. Review on Natural Preservatives for Extending Fish Shelf Life. *Foods (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 8, n. 10, out. 2019. <https://doi.org/10.3390/foods8100490>.
- MELLINAS, C.; RAMOS, M.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Recent Trends in the Use of Pectin from Agro-Waste Residues as a Natural-Based Biopolymer for Food Packaging Applications. *Materials (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 13, n. 3, fev. 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13030673>.
- MOEINI, A.; GERMANN, N.; MALINCONICO, M.; SANTAGATA, G. Formulation of secondary compounds as additives of biopolymer-based food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 114, p. 342–354, ago. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.040>.
- MOHAMED, S. A. A.; EL-SAKHAWY, M.; EL-SAKHAWY, M. A.-M. Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, v. 238, p. 116178, jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>.
- MOTELICA, L.; FICAI, D.; FICAI, A.; OPREA, O. C.; KAYA, D. A.; ANDRONESCU, E. Biodegradable Antimicrobial Food Packaging: Trends and Perspectives. *Foods*, v. 9, n. 10, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9101438>.
- MUJTABA, M.; FERNÁNDEZ-MARÍN, R.; ROBLES, E.; LABIDI, J.; YILMAZ, B. A.; NEFZI, H. Understanding the effects of copolymerized cellulose nanofibers and diatomite nanocomposite on blend chitosan films. *Carbohydrate Polymers*, v. 271, p. 118424, nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118424>.
- NETO, A. C. DA R.; BEAUDRY, R.; MARASCHIN, M.; PIERO, R. M. DI; ALMENAR, E. Double-bottom antimicrobial packaging for apple shelf-life extension. *Food Chemistry*, v. 279, p. 379–388, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.021>.
- NIETO, G. Biological Activities of Three Essential Oils of the Lamiaceae Family. *Medicines (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 4, n. 3, ago. 2017. <https://doi.org/10.3390/medicines4030063>.
- PAPUC, C.; GORAN, G. V.; PREDESCU, C. N.; NICORESCU, V.; STEFAN, G. Plant Polyphenols as Antioxidant and Antibacterial Agents for Shelf-Life Extension of Meat and Meat Products: Classification, Structures, Sources, and Action Mechanisms. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 16, n. 6, p. 1243–1268, nov. 2017. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298>.
- PAVLI, F.; ARGYRI, A. A.; SKANDAMIS, P.; NYCHAS, G.-J.; TASSOU, C.; CHORIANOPOULOS, N. Antimicrobial Activity of Oregano Essential Oil Incorporated in Sodium Alginate Edible Films: Control of *Listeria monocytogenes* and Spoilage in Ham Slices Treated with High Pressure Processing. *Materials*, v. 12, n. 22, 2019. <https://doi.org/10.3390/ma12223726>.
- PERERA, K. Y.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Biopolymer-Based Sustainable Food Packaging Materials: Challenges, Solutions, and Applications. *Foods*, v. 12, n. 12, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12122422>.
- PIRES, P. G. S.; LEUVEN, A. F. R.; FRANCESCHI, C. H.; MACHADO, G. S.; PIRES, P. D. S.; MORAES, P. O.; KINDLEIN, L.; ANDRETTA, I. Effects of rice protein coating enriched with essential oils on internal quality and shelf life of eggs during room temperature storage. *Poultry Science*, v. 99, n. 1, p. 604–611, dez. 2019. <https://doi.org/10.3382/ps/pez546>.
- PRIYADARSHI, R.; SAURAJ; KUMAR, B.; DEEBA, E.; KULSHRESHTHA, A.; NEGI, Y. S. Chitosan films incorporated with Apricot (*PRUNUS ARMENIACA*) kernel essential oil as active food packaging material. *Food Hydrocolloids*, v. 85, p. 158–166, dez. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.003>.
- PUNIA BANGAR, S.; CHAUDHARY, V.; THAKUR, N.; KAJLA, P.; KUMAR, M.; TRIF, M. Natural Antimicrobials as Additives for Edible Food Packaging Applications: A Review. *Foods (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 10, n. 10, set. 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10102282>.
- REIS, D. R.; AMBROSI, A.; LUCCIO, M. DI. Encapsulated essential oils: A perspective in food preservation. *Future Foods*, v. 5, p. 100126, jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100126>.

- REZAEI, F.; SHAHBAZI, Y. Shelf-life extension and quality attributes of sauced silver carp fillet: A comparison among direct addition, edible coating and biodegradable film. *LWT*, v. 87, p. 122–133, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.068>.
- RHIM, J.-W.; PARK, H.-M.; HA, C.-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, v. 38, n. 10, p. 1629–1652, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>.
- RIBEIRO-SANTOS, R.; ANDRADE, M.; MELO, N. R. DE; SANCHES-SILVA, A. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, v. 61, p. 132–140, mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>
- RIZZO, V.; AMOROSO, L.; LICCIARDELLO, F.; MAZZAGLIA, A.; MURATORE, G.; RESTUCCIA, C.; LOMBARDO, S.; PANDINO, G.; STRANO, M. G.; MAUROMICALE, G. The effect of sous vide packaging with rosemary essential oil on storage quality of fresh-cut potato. *LWT*, v. 94, p. 111–118, ago. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.033>.
- RODRIGUES, C.; SOUZA, V. G. L.; COELHO, I.; FERNANDO, A. L. Bio-Based Sensors for Smart Food Packaging-Current Applications and Future Trends. *Sensors (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 21, n. 6, mar. 2021. <https://doi.org/10.3390/s21062148>.
- ROLIM, H. M. L.; RAMALHO, T. C. Chapter 7 - Biopolymer essential oil nanocomposite for antimicrobial packaging. Em: RAI, M.; SANTOS, C. A. DOS (Eds.). *Biopolymer-Based Nano Films*. [s.l.] Elsevier, 2021. p. 115–131. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823381-8.00001-6>.
- SALANŢĂ, L. C.; CROPOTOVA, J. An Update on Effectiveness and Practicability of Plant Essential Oils in the Food Industry. *Plants (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 11, n. 19, set. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11192488>.
- SANI, M. A.; AZIZI-LALABADI, M.; TAVASSOLI, M.; MOHAMMADI, K.; MCCLEMENTS, D. J. Recent Advances in the Development of Smart and Active Biodegradable Packaging Materials. *Nanomaterials (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 11, n. 5, maio 2021. <https://doi.org/10.3390/nano11051331>.
- SARFRAZ, J.; HANSEN, A. Å.; HAUGEN, J.-E.; LE, T.-A.; NILSEN, J.; SKARET, J.; HUYNH, T. P.; PETERSEN, M. K. Biodegradable Active Packaging as an Alternative to Conventional Packaging: A Case Study with Chicken Fillets. *Foods (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 10, n. 5, maio 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10051126>.
- SEYDIM, A. C.; SARIKUS-TUTAL, G.; SOGUT, E. Effect of whey protein edible films containing plant essential oils on microbial inactivation of sliced Kasar cheese. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 26, p. 100567, dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2020.100567>.
- SHARMA, S.; BARKAUSKAITE, S.; DUFFY, B.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Characterization and Antimicrobial Activity of Biodegradable Active Packaging Enriched with Clove and Thyme Essential Oil for Food Packaging Application. *Foods*, v. 9, n. 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9081117>.
- SHARMA, S.; BARKAUSKAITE, S.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, v. 343, p. 128403, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>.
- SHARMA, S.; MULREY, L.; BYRNE, M.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Encapsulation of Essential Oils in Nanocarriers for Active Food Packaging. *Foods (BASEL, SWITZERLAND)*, v. 11, n. 15, ago. 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11152337>.
- SOTO, K. M.; HERNÁNDEZ-ITURRIAGA, M.; LOARCA-PIÑA, G.; LUNA-BÁRCENAS, G.; MENDOZA, S. Antimicrobial effect of nisin electrospun amaranth: pullulan nanofibers in apple juice and fresh cheese. *International Journal of Food Microbiology*, v. 295, p. 25–32, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.02.001>.
- SOUZA, V. I.; PARENTE, J. F.; MARQUES, J. F.; FORTE, M. A.; TAVARES, C. J. Microencapsulation of Essential Oils: A Review. *Polymers*, v. 14, n. 9, abr. 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14091730>.
- SOUZA, A. G. DE; SANTOS, N. M. A. DOS; SILVA TORIN, R. F. DA; SANTOS ROSA, D. DOS. Synergic antimicrobial properties of Carvacrol essential oil and montmorillonite in biodegradable starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 164, p. 1737–1747, dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.226>.
- TAO, R.; SEDMAN, J.; ISMAIL, A. Characterization and in vitro antimicrobial study of soy protein isolate films incorporating carvacrol. *Food Hydrocolloids*, v. 122, p. 107091, jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107091>.

- TARIQUE, J.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*MARANTA ARUNDINACEA*) starch biopolymers. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 13900, jul. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93094-y>.
- VILELA, C.; KUREK, M.; HAYOUKA, Z.; RÖCKER, B.; YILDIRIM, S.; ANTUNES, M. D. C.; NILSEN-NYGAARD, J.; PETTERSEN, M. K.; FREIRE, C. S. R. A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, v. 80, p. 212–222, out. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>.
- WEN, P.; ZHU, D.-H.; FENG, K.; LIU, F.-J.; LOU, W.-Y.; LI, N.; ZONG, M.-H.; WU, H. Fabrication of electrospun polylactic acid nanofilm incorporating cinnamon essential oil/ β -cyclodextrin inclusion complex for antimicrobial packaging. *Food Chemistry*, v. 196, p. 996–1004, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.043>.
- WILSON, C. T.; HARTE, J.; ALMENAR, E. Effects of sachet presence on consumer product perception and active packaging acceptability - A study of fresh-cut cantaloupe. *LWT*, v. 92, p. 531–539, jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.060>.
- WYRWA, J.; BARSKA, A. Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology*, v. 243, n. 10, p. 1681–1692, out. 2017. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2878-2>.
- YILDIRIM, S.; RÖCKER, B.; PETTERSEN, M. K.; NILSEN-NYGAARD, J.; AYHAN, Z.; RUTKAITE, R.; RADUSIN, T.; SUMINSKA, P.; MARCOS, B.; COMA, V. Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 17, n. 1, p. 165–199, jan. 2018. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>.
- YOUSEFI, M.; EHSANI, A.; JAFARI, S. M. Lipid-based nano delivery of antimicrobials to control food-borne bacteria. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 270, p. 263–277, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.07.005>.
- ZHANG, X.; ISMAIL, B. B.; CHENG, H.; JIN, T. Z.; QIAN, M.; ARABI, S. A.; LIU, D.; GUO, M. Emerging chitosan-essential oil films and coatings for food preservation - A review of advances and applications. *Carbohydrate Polymers*, v. 273, p. 118616, dez. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118616>.
- ZHOU, Y.; MIAO, X.; LAN, X.; LUO, J.; LUO, T.; ZHONG, Z.; GAO, X.; MAFANG, Z.; JI, J.; WANG, H.; TANG, Y. Angelica Essential Oil Loaded Electrospun Gelatin Nanofibers for Active Food Packaging Application. *Polymers*, v. 12, n. 2, fev. 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12020299>.
- ZHU, J.-Y.; TANG, C.-H.; YIN, S.-W.; YANG, X.-Q. Development and characterization of novel antimicrobial bilayer films based on Polylactic acid (PLA)/Pickering emulsions. *Carbohydrate Polymers*, v. 181, p. 727–735, fev. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11>

RECEBIDO: 29/4/2024

REVISADO: 7/6/2024

ACEITO: 28/6/2024

PUBLICADO: 30/6/2024