

**Andressa Rafaella da Silva Bruni  
Eloize da Silva Alves  
Oscar de Oliveira Santos Junior  
Elton Guntendorfer Bonafe**

**FILMES E  
REVESTIMENTOS  
COMESTÍVEIS  
COMO SOLUÇÕES  
INOVADORAS  
PARA EMBALAGENS  
ALIMENTÍCIAS**



**Andressa Rafaella da Silva Bruni  
Eloize da Silva Alves  
Oscar de Oliveira Santos Junior  
Elton Guntendorfer Bonafe**

**Filmes e revestimentos  
comestíveis como soluções  
inovadoras para embalagens  
alimentícias**

**São Paulo  
Max Editora  
2024**





Livro com Registro de ISBN, Câmara Brasileira do Livro.  
Reprodução não autorizada.  
ISBN: 978-65-86504-21-7

Capa e Diagramação: Raquel Peres  
Max Editora: [www.maxeditora.com.br](http://www.maxeditora.com.br)

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse livro.

Em especial, agradecemos ao grupo APLE-A pela colaboração e suporte, aos familiares pelo apoio e compreensão. Queremos também estender nossa gratidão a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. Reconhecemos, igualmente, o suporte recebido das Instituições Acadêmicas, a Universidade Estadual de Maringá (UEM), a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e o Instituto Federal do Paraná (IFPR).



# PREFÁCIO

Este livro oferece ao leitor uma visão completa sobre a produção de filmes e revestimentos aplicados na parte alimentícia. Seu conteúdo aborda desde os conceitos básicos até métodos inovadores e tecnológicos para a produção de embalagens biodegradáveis, que resulte em benefícios a conservação de alimentos, impedindo sua contaminação e preservando suas propriedades mecânicas, fisiológicas, físicas e químicas, sem comprometer seu sabor, nutrição e a qualidade. Assim, viabilizando o aumento da vida de prateleira dos produtos em decorrência do controle da troca de gases, umidade e lipídios entre o alimento e o ambiente externo, protegendo contra a contaminação microbiana e prevenindo perdas de compostos desejáveis, além disto, garantindo ao consumidor produtos de qualidade nutricional a preços econômicos e redução do impacto negativo dos polímeros sintéticos no meio ambiente. Portanto, esta obra é uma valiosa ferramenta para profissionais e acadêmicos que buscam avançar no estudo de embalagens biodegradáveis que sejam capazes de agregarem aos alimentos de origem vegetal e animal propriedades antimicrobianas, antioxidantes e sustentáveis aos produtos embalados, além de viabilizar uma imensidão de subprodutos de diferentes atuações para a produção.

*Patrícia Daniele Silva dos Santos*





# APRESENTAÇÃO

Caros leitores,

É com grande alegria que compartilhamos com vocês o livro “Filmes e revestimentos comestíveis como soluções inovadoras para embalagens alimentícias”. Uma obra baseada na revolução do setor de embalagens alimentícias, destacando os filmes e revestimentos comestíveis como protagonistas dessa transformação.

Nossas páginas são repletas de informações e inovações, iniciando com o primeiro capítulo, no qual destacamos o papel das embalagens alimentícias biodegradáveis, surgindo como uma alternativa as embalagens tradicionais a base de petróleo. Nesse cenário, são constatados os filmes e revestimentos comestíveis, e suas funcionalidades que podem além de proporcionar maior responsabilidade ambiental, servir como materiais conservadores de alimentos. Falamos sobre os principais precursores naturais usados nessas embalagens e suas propriedades ativas e sustentáveis.

No segundo capítulo, mergulhamos nas aplicações práticas dessas inovações, explorando o uso de filmes e revestimentos em frutas e produtos cárneos. Esses materiais não apenas estendem significativamente a vida útil de produtos de origem vegetal/ animal, mas também elevam a sua qualidade sensorial, proporcionando aos consumidores alimentos seguros e de alta qualidade.

A nanotecnologia assume o centro do terceiro capítulo, revelando a eficiência do uso dos materiais em escala nanométrica. Enfatizamos como esses pequenos materiais estão inovando a área de embalagens alimentícias.

No último capítulo, refletimos sobre as implicações técnicas, sociais e econômicas que envolvem o futuro dos filmes e

revestimentos comestíveis no setor industrial alimentício. Diante disso, o futuro das embalagens alimentícias está aqui entre essas páginas.

Por fim, convidamos a cada um de vocês embarcar nessa jornada, destinada a todos os profissionais da área de alimentos, embalagens e ambiental. Esse livro foi escrito por mestres e doutores da área que desejam contribuir com um amanhã mais sustentável, dotado de alimentos seguros e de alta qualidade.

Com entusiasmo,

*Andressa Rafaella da Silva Bruni*

*Eloize da Silva Alves*

*Oscar de Oliveira Santos Junior*

*Elton Guntendorfer Bonafe*

# SUMÁRIO

Filmes e revestimentos comestíveis como soluções inovadoras para embalagens alimentícias - Introdução .....11

## **CAPÍTULO I**

O papel das embalagens alimentícias biodegradáveis e seus principais precursores .....15

Precursos biodegradáveis .....19

## **CAPÍTULO II**

Principais aplicações de filmes e revestimentos comestíveis em alimentos .....29

## **CAPÍTULO III**

Inovações de nanotecnologia em filmes e revestimentos comestíveis .....63

## **CAPÍTULO IV**

Implicações e direções futuras na área de filmes e revestimentos comestíveis .....81

Considerações finais .....84

Referências .....85





# Filmes e revestimentos comestíveis como soluções inovadoras para embalagens alimentícias

*Andressa Rafaella da Silva Bruni<sup>ab</sup>, Eloize da Silva Alves<sup>a</sup>,  
Oscar de Oliveira Santos Junior<sup>a</sup>,  
Elton Guntendorfer Bonafe<sup>ac</sup>*

## Introdução

Na atualidade, visualiza-se um expressivo aumento da demanda dos consumidores por alimentos seguros e de alta qualidade, o que implica na necessidade de embalagens inovadoras e eficientes que garantam a preservação da integridade dos produtos ao longo de sua cadeia de distribuição (DRAGO et al., 2020). Aliada a isso, exhibe-se uma grande preocupação ambiental causada pelo descarte de materiais de embalagens plásticas não biodegradáveis provenientes de petróleo, mitigando o interesse por filmes e revestimentos ativos e renováveis (ZHANG et al., 2022).

Geralmente, as embalagens convencionais são de uso único, o que resulta em descarte imediato e contribui para um impacto ambiental adverso (THUPPAHIGE; KARIM, 2021). Desta forma, como consequência, surge como uma tendência

---

<sup>a</sup> Analítica aplicada a Lipídeos, Esteróis e Antioxidantes (APLE-A), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR 87020-900, Brasil

<sup>b</sup> Instituto Federal do Paraná (IFPR), Pitanga, PR 85200-000, Brasil

<sup>c</sup> Laboratório de Compósitos, Macromoléculas e Materiais (LaMMAC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Apucarana, PR 86812-460, Brasil

crescente a busca de abordagens sustentáveis que assegurem estratégias eficazes para gerir a disposição de resíduos, e, garantam a segurança alimentar e atuem na vida útil dos produtos alimentícios (ALAMRI et al., 2021).

Nesse sentido, filmes e revestimentos são materiais empregados para embalar diversos produtos afim de preservar suas propriedades e que podem ser consumidos em conjunto com os alimentos. Das particularidades desses materiais de embalagens, esses são ecológicos, uma vez que são consumidos, e quando não é o caso, são biodegradáveis, reduzindo drasticamente a quantidade de resíduos sólidos na terra; podem aprimorar as propriedades sensoriais e nutricionais dos alimentos pela adição de adjuvantes; fornecem a possibilidade de embalar itens individuais evitando problemas de transporte a granel; podem ser veículos de agentes ativos, os quais proporcionam propriedades antimicrobianas e antioxidantes trazendo maior segurança e um prazo maior de vida de prateleira aos produtos; além da possibilidade de usar uma infinidade de subprodutos de diferentes atividades para sua produção (AVRAMESCU et al., 2020).

Mohamed et al. (2020) ressaltam que, embora os filmes/revestimentos comestíveis não substituam totalmente os materiais de embalagem convencionais, eles podem ser usados para aprimorar a estabilidade dos alimentos, através da troca de umidade, voláteis, lipídeos e gases entre os alimentos e o ambiente circundante, além de auxiliar na tentativa de uma produção de alimentos mais sustentável (MOHAMED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020).

Considerando esses aspectos, a preservação dos alimentos emerge uma questão de suma importância, isto é, uma escolha criteriosa na formulação dos materiais de embalagens, uma vez que as propriedades dos filmes/revestimentos comestíveis exercem um impacto direto nas características e na durabilidade do produtos embalados (AMIN et al., 2021a). Logo, a utilização

de elementos naturais ganham destaque nesse cenário, assumindo funções fundamentais, como a preservação dos nutrientes em produtos perecíveis e a possibilidade de proporcionar atividade antioxidante, apresentando-se como uma valiosa ferramenta para mitigar possíveis perdas durante o processo de transporte e armazenamento (RIBEIRO; ESTEVINHO; ROCHA, 2021). Dentre esses elementos, os biopolímeros, incluindo os polissacarídeos, lipídeos e proteínas surgem como protagonistas na busca por soluções eficazes. Tais materiais, além de serem sustentáveis e auxiliarem na preservação dos produtos, apresentam propriedades mecânicas, físicas, ópticas e de barreira comparáveis às dos materiais de embalagem de origem sintética (YUAN; CHEN; LI, 2016).

Para aprimorar ainda mais as propriedades dos filmes/ revestimentos, tem-se usado muito a nanotecnologia nesses materiais, técnica realizada por meio da encapsulação de compostos que permite a liberação controlada dessas substâncias. De modo geral, a nanotecnologia envolve o confinamento de partículas em estruturas em nanoescala, promovendo a proteção desses compostos a fatores externos como luz, umidade, oxigênio, dentre outros fatores que podem afetar a estabilidade. Essa técnica ainda permite a liberação gradativa dos compostos, aumentando sua biodisponibilidade. Entre os compostos encapsulados, destacam-se substâncias antimicrobianas, antioxidantes, ingredientes nutricionais como vitaminas e minerais e adjuvantes. O uso desses nanocompostos em filmes/ revestimentos podem aprimorar com sucesso a segurança alimentar, aumentando a eficiência das embalagens de alimentos, o prazo de validade e o seu valor nutricional, sem alteração de sabor e das características físicas dos alimentos (BAJPAI et al., 2023; SOUSA et al., 2023).

Diante do exposto, esta revisão tem como objetivo descrever o papel das embalagens alimentícias, seus principais precursores, as aplicações desses materiais em vegetais e



produtos de origem animal e as principais inovações em nanotecnologia que têm moldado essa área de constante evolução. Dessa forma, buscamos explorar as contribuições dos filmes e revestimentos para a preservação, qualidade e segurança dos alimentos, bem como destacar os avanços recentes da nanotecnologia que podem transformar o cenário das embalagens de alimentos, oferecendo uma visão abrangente da área e relatando as principais implicações práticas que limitam o uso desses materiais em escala industrial.

# CAPÍTULO I



**O PAPEL DAS  
EMBALAGENS  
ALIMENTÍCIAS  
BIODEGRADÁVEIS  
E SEUS PRINCIPAIS  
PRECURSORES**



Nas últimas décadas as embalagens alimentícias cresceram expressivamente, incluindo novas funcionalidades para atender a demanda do mercado consumidor por alimentos estáveis, frescos, seguros e sustentáveis (KANDASAMY et al., 2021). De maneira geral, o objetivo da embalagem é fornecer segurança para os produtos serem transportados a longas distâncias e proteção contra contaminações e fatores externos, garantindo saúde e valor nutricional aos consumidores (MALIK; ERGINKAYA; ERTEN, 2019).

Kumar e colaboradores (2020) ressaltam que a atribuição das embalagens alimentícias é separar os alimentos do ambiente circundante, prevenindo ou reduzindo sua exposição a fatores de deterioração como microrganismos, temperatura, oxigênio e umidade, assim, retardando a perda de sua qualidade e nutrição e expandindo sua vida útil. No entanto, esses sistemas ainda fornecem conveniência e comunicação aos consumidores (KUMAR; MUKHERJEE; DUTTA, 2020).

Os plásticos sintéticos provenientes de petróleo têm prevalecido na produção de embalagens alimentícias, ocupando aproximadamente 37% do mercado total em detrimento do seu baixo custo, transporte (peso leve), boa resistência mecânica, propriedades de barreira, versatilidade de tamanho e excelente capacidade de selagem (MULLER; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ; CHIRALT, 2017).

Todavia, os plásticos representam sérios problemas ambientais, pois levam anos para se degradar e podem promover a liberação de produtos químicos aos alimentos embalados prejudicando sua qualidade (HORODYTSKA; VALDÉS; FULLANA, 2018). Isso, aliado a preocupação com o esgotamento dos recursos naturais e os fornecimentos futuros insuficientes de combustíveis fósseis impulsionaram esforços para o estudo de biopolímeros como alternativas para substituição dos polímeros sintéticos como materiais de embalagens (SAID; HOWELL; SARBON, 2023).

Nessa perspectiva, os filmes e revestimentos comestíveis vem ganhando espaço. Fonte de materiais renováveis, como substitutos



dos plásticos convencionais, apresentam vantagens significativas como comestibilidade, biodegradabilidade, renovabilidade, biocompatibilidade, além de propriedades ópticas, de barreira e funcionais (ABDOLLAHZADEH; NEMATOLLAHI; HOSSEINI, 2021). Esses, ainda podem ser veículos de ingredientes ativos, como compostos antioxidantes, antimicrobianos e agentes anti-escurecimento, promovendo a redução do risco de patógenos e mantendo as características intrínsecas e extrínsecas dos alimentos, tornando-se assim uma alternativa viável para a indústria alimentícia (YOUSUF et al., 2021)

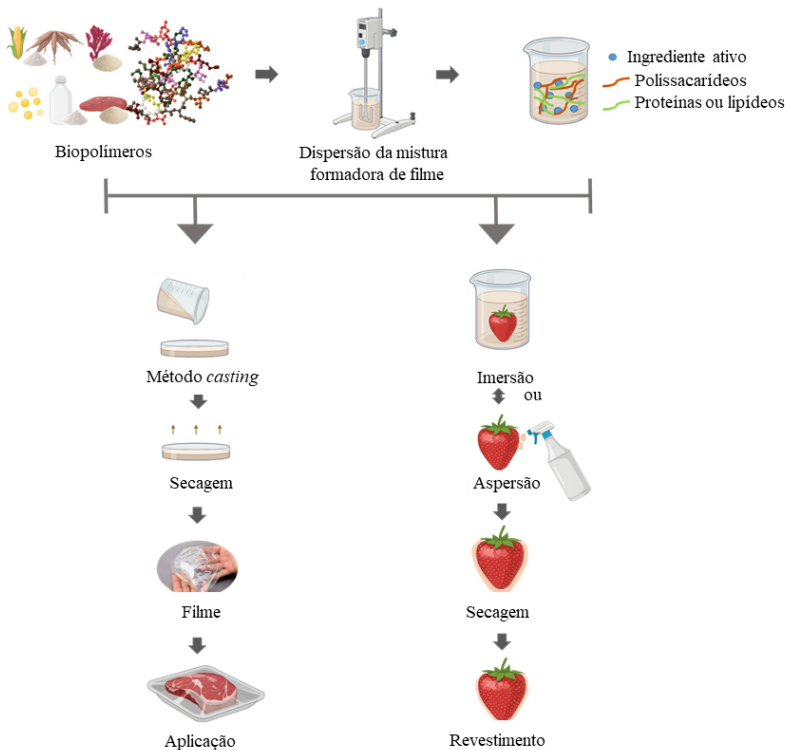
Zhang and Jiang (2020) ressaltam que filmes/revestimentos ativos são caracterizados como camadas finas de materiais que podem evitar a transferência de vapores de água, oxigênio, dióxido de carbono e solutos para dentro dos alimentos e entre os alimentos e o ambiente externo. Da mesma maneira, Emragi e colaboradores (2022) alegam que o uso de filmes/revestimentos podem aprimorar as percepções sensoriais aos produtos embalados.

De maneira geral, a formação de filmes e revestimentos ocorre através da agitação de uma solução contendo precursores biopoliméricos e em certos casos, com adição de ingredientes ativos, onde interações moleculares como ligações de hidrogênio e forças de van der Waals entre os componentes, contribuem para a formação de uma estrutura coesa e homogênea. A agitação do sistema facilita a distribuição uniforme dos precursores, culminando em materiais com propriedades físicas desejáveis e ao mesmo tempo ecologicamente amigáveis (BRUNI et al., 2022; FRIEDRICHSEN et al., 2022).

Ainda, em relação a distinção entre os filmes e revestimentos, que são igualmente produzidos, está na sua forma de aplicação. Revestimentos são substâncias líquidas ou em gel, que são aplicados e secos diretamente sobre a superfície dos alimentos. A aplicação pode ocorrer por meio de imersão ou aspersão. Geralmente agregam características sensoriais e estendem a vida útil dos produtos. Por outro lado, os filmes são secos e moldados

em folhas ou rolos, antes de serem envolvidos aos alimentos. Estes são usados para proteger os alimentos e isolá-los do ambiente externo (MAAN et al., 2021). A Figura 1 mostra a representação esquemática da produção de filmes e revestimentos comestíveis.

**Figura 1.** Representação esquemática da produção de filmes e revestimentos comestíveis.



## PRECURSORES BIODEGRADÁVEIS

Os biopolímeros com melhores características para a formação de filmes e revestimentos são os polissacarídeos, proteínas, lipídeos e seus compósitos (MOHAMED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020). Tais produtos normalmente são produzidos

a partir de constituintes comestíveis naturais que podem ser consumidos sem descartá-los, são ecologicamente corretos e contém agentes antioxidantes e antiescurecimento que agregam propriedades ativas as embalagens (HASSAN et al., 2018)

### *Polissacarídeos*

Os polissacarídeos são polímeros de ocorrência natural amplamente utilizado no setor de embalagens biodegradáveis, incluindo amido, quitosana, pectina, alginato, celulose e carragenina (DÍAZ-MONTES, 2022). Por seu formato de rede bem ordenado por ligações de hidrogênio, os polissacarídeos são excelentes bloqueadores de oxigênio e dióxido de carbono. Embalagens de polissacarídeos são incolores, de baixo teor calórico e podem prolongar a vida útil de vegetais, frutas, produtos cárneos e mariscos através da redução da desidratação, ranço oxidativo e reações de escurecimento. Porém, esses materiais exibem fracas propriedades de barreira a água em detrimento de sua hidroflicidade (HASSAN et al., 2018).

O amido é um biopolímero muito abundante e barato, podendo ser extraído da batata, mandioca, milho, feijão e arroz. Este é composto principalmente por dois polissacarídeos, a amilose e amilopectina. Quando o amido é aquecido em água, as moléculas de água interagem com os grupos de hidroxila da amilose e amilopectina, formando uma rede de gel, ideal para produção de filmes/ revestimentos. Característico dos polissacarídeos, o amido apresenta excelentes propriedades de barreira à gases, porém, possui características mecânicas fracas. Apesar de apresentar boa resistência a tração, sua porcentagem de alongamento é baixa (CAZÓN et al., 2017).

A quitosana é sintetizada pelo biopolímero natural quitina, considerada um dos polissacarídeos mais interessantes para a produção de embalagens em detrimento de suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas inerentes. Sua boa capacidade de formação de filme é decorrente das interações intermole-

culares entre as cadeias poliméricas das moléculas de quitosana (DA MATA CUNHA et al., 2020). Todavia, também apresenta fracas propriedades mecânicas sendo necessário seu uso em conjunto com outros precursores mais potentes (ANIS; PAL; AL-ZAHRANI, 2021).

Conhecida como um carboidrato complexo, a pectina é derivada de plantas compostas por várias unidades de ácido d-galacturônico. Caracterizada como biopolímero útil na indústria alimentícia, desempenha funções emulsificantes, gelificantes e espessantes, além de demonstrar alguma propriedade antioxidante, características interessantes para a produção de embalagens firmes e ativas (ROY et al., 2023).

Em contrapartida, o alginato é um biopolímero extraído da parede celular de algumas variedades de algas marrons como *Eisenia*, *Sargassum*, *Laminaria*, *Nereocystis*, *Macrocystis*, *Ascophyllum* e *Ecklonia*, onde está presente como sais de cálcio, magnésio e sódio do ácido algínico (JAYAKODY; VANNIARACHCHY; WIJESEKARA, 2022). Este, é considerado um polissacarídeo linear e aniônico, sua principal característica é a formação de géis fortes e polímeros com baixa solubilidade. Essa propriedade é resultante de sua capacidade de reagir com cátions metálicos, principalmente íons de cálcio, o que agrega propriedades mecânicas, de barreira, rigidez e coesão aos materiais de embalagens (PUSCASELU; GUTT; AMARIEI, 2020).

A celulose é o polímero renovável e biodegradável mais abundante do planeta e apresenta benefícios como baixo custo, não toxicidade, baixa densidade, versatilidade e ótimas propriedades mecânicas (SHARMA et al., 2019). A celulose (carboximetilcelulose, hidroxipropilmetilcelulose, etc) e seus derivados são os biopolímeros mais utilizados na indústria de embalagens alimentícias, composta por milhares de unidades repetidas de D-glicose, unidas por ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4, é conhecida por sua hidrofiliabilidade e capacidade de modificação química (ROMÃO; BETTENCOURT; RIBEIRO, 2022). Esse polissacarídeo pode atuar como enchimento ou estabilizador

de alimentos, melhorando a textura, integridade e propriedades sensoriais de matrizes alimentares. Liu et al. (2021) ressaltam ainda que a celulose apresenta alta resistência térmica e pode atuar como barreira contra os raios ultravioletas (raios que podem promover a deterioração de alimentos), além de ter a capacidade de transportar agentes antioxidantes e antibacterianos. Dessa forma contribui para aumentar o valor nutricional e vida útil dos alimentos (ROMÃO; BETTENCOURT; RIBEIRO, 2022).

Um polissacarídeo extraído de algas marinhas vermelhas da classe *Rhodophyceae*, a carragenina é um ficocolóide muito promissor que apresenta excelente capacidade de formação de gel. Formada por unidades alternadas de D-galactose e 3,6-anidrogactose, unidas por ligações  $\alpha$ -1,3- e  $\beta$ -1,4-glicosídicas, pode ser dividida em três tipos: lambda ( $\lambda$ ), kappa ( $\kappa$ ) e iota ( $\iota$ ).  $\kappa$ -carragenina tem a maior capacidade de gelificação, sendo mais usada como matéria-prima de filmes e revestimentos (ROMÃO; BETTENCOURT; RIBEIRO, 2022). Shojaee-aliabadi et al. (2014) ainda ressaltam que embalagens a base de  $\kappa$ -carragenina são límpidas e apresentam boas propriedades mecânicas.

### *Proteínas*

Em relação ao grupo das proteínas, essas consistem em aminoácidos unidos por ligações peptídicas. Esses aminoácidos possuem um grupo ácido carboxílico (-COOH), um amino (-NH<sub>2</sub>) e um alquil (-R). A estrutura das proteínas se dá em duas formas (fibrosa e globular). Entre as proteínas fibrosas, tem-se as proteínas do leite (caseína e proteína do soro do leite), a proteína de soja e a zeína. Das proteínas globulares, destaca-se o colágeno (gelatina). Embalagens a base desses materiais demonstraram excelentes propriedades de formação de filme e revestimentos (KUMAR et al., 2022). Em geral, as proteínas apresentam algumas vantagens, como abundância relativa, alto valor nutricional (CHEN et al., 2019), além de propriedades mecânicas, ópticas (transparência),

físicas (resistência e flexibilidade) e de barreira a gases, aromas e compostos orgânicos adequadas (KANDASAMY et al., 2021)

Dentro das principais proteínas lácteas, a caseína é a mais significativa, representando 80% da proteína total do leite (PELLICER et al., 2017). A mesma apresenta quatro frações proteicas, a  $\alpha$ 1-caseína (38%),  $\alpha$ 2-caseína (10%),  $\beta$ -caseína (36%) e  $\kappa$ -caseína (13%), e as propriedades dessas frações podem influenciar diretamente a formação de gel das caseínas (CHIRALT et al., 2017). Essas apresentam facilidade de formar filmes/ revestimentos a partir de soluções aquosas em detrimento do grande número de ligações de hidrogênio eletrostáticas, hidrofóbicas e intermoleculares. Khan et al. (2021) pontuam que as propriedades únicas dessa proteína, isto é, capacidade de emulsificação, de ligação com pequenos íons e moléculas, de formar micelas e alta estabilidade térmica, tornam esse biomaterial muito desejável para a produção de filmes/ revestimentos. Além da caseína, a disponibilidade excedente das proteínas do soro do leite (subproduto da produção de queijos), aliado as suas propriedades de barreira e mecânicas que superam os polissacarídeos e outros precursores proteicos, vêm aumentando o interesse desse material na indústria de embalagens. As proteínas do soro do leite possuem características notáveis como natureza apetitosa, propriedades ópticas, biodegradabilidade inerente e capacidade de incluir compostos funcionais (KANDASAMY et al., 2021).

Outra proteína frequentemente empregada em embalagens é a gelatina, obtida a partir da hidrólise do colágeno. Os músculos e tecidos de bovinos, peixes e suínos são diferentes fontes de colágeno para a produção de gelatina (insípida e incolor) (MIHALCA et al., 2021). Quando dissolvida em água, a gelatina possui excelentes propriedades formadoras de filme, além da sua capacidade emulsificante e de formação de espuma (AHMAD et al., 2017). Desta forma, o colágeno se mostra uma alternativa viável para a elaboração de filmes comestíveis na indústria de produtos cárneos, como salsichas e salames, devido às suas notáveis propriedades mecânicas, demonstrados pela adaptação

à compressão e expansão das matérias-primas cárneas durante o processo contínuo (LISITSYN et al., 2021). Além disso, apresenta alta disponibilidade, biocompatibilidade e fortes propriedades de barreira. A tripla hélice da proteína da gelatina fornece resistência física e os diferentes aminoácidos de sua estrutura absorvem radiação UV protegendo os produtos contra oxidação (BOUGHRIBA et al., 2020; LUO et al., 2022).

A zeína corresponde a 50% das proteínas do endosperma do grão de milho. A presença de aminoácidos apolares na zeína é responsável pelo seu diferencial hidrofóbico e capacidade de formar materiais insolúveis em água (PEREIRA et al., 2019). Além disso a zeína é um polímero biocompatível, de baixa toxicidade e geralmente reconhecido como seguro pela FDA (TAPIA-HERNÁNDEZ et al., 2018). Song et al. (2021) ressaltam que a zeína possui excelente propriedades de formação de camadas e barreira umidade.

Sobre as proteínas isolada da soja (subproduto da indústria do óleo de soja), estas tem sido amplamente aceita para o mercado de filmes/revestimentos em detrimento de sua disponibilidade, baixo custo, natureza ecológica e principalmente pelo seu comportamento para formação de filmes (WU et al., 2019). Todavia, as desvantagens inerentes a essa matéria-prima (fraca resistência mecânica, alta sensibilidade à água e baixa propriedades térmicas e de barreira) limitam suas aplicações (XIAO et al., 2020).

### *Lipídeos*

Os biopolímeros de maneira isolada muitas vezes não apresentam todos os requisitos para a produção de embalagens ideais, devido às limitações que oferecem. Diante disso, a formação de materiais compósitos é uma estratégia para melhorar as características e eficácia de revestimentos e filmes de embalagens. Materiais compósitos podem ser formados pela

combinação de duas ou mais substâncias formadoras de filmes (YOUSUF; SUN; WU, 2022).

Com os lipídeos essa estratégia é ainda mais empregada, filmes lipídicos autossustentáveis não podem ser produzidos em detrimento de sua baixa resistência mecânica, normalmente são muito frágeis, inflexíveis e opacos. Assim, os lipídeos são adicionados em formulações com outros precursores proteicos ou polissacarídeos, agregando características de barreira a umidade, em detrimento a sua hidrofobicidade (YOUSUF; SUN; WU, 2022). Além disso, a adição de materiais lipídeos podem reduzir os custos de produção (ALOUÍ et al., 2019).

Galus e Kadzińska (2015) ressaltam que a maioria de filmes/ revestimentos associam uma matriz estrutural hidrofílica (polissacarídeo ou proteínas) e um composto lipídico hidrofóbico, culminando em uma melhor funcionalidade do que materiais de hidrocolóides puros. De modo geral, os materiais compósitos são formados por emulsões ou bicamadas. Nas emulsões, o lipídeo fica disperso na matriz biopolimérica, enquanto em sistemas de duas camadas, o lipídeo forma a segunda camada sobre o material hidrofílico (GALUS; KADZIŃSKA, 2015).

Diferentes tipos de lipídeos (óleos e gorduras) são adicionados em soluções formadoras de filme para formar materiais emulsionados ou bicamadas. Entre eles as ceras animais e vegetais, ácidos graxos e óleos vegetais são os mais populares (BOUGHRIBA et al., 2020).

As ceras são compostos lipídicos de maior peso molecular formadas por cadeias médias e longas de átomos de carbono. Elas podem ser naturais ou sintéticas, dependendo da sua fonte, ceras naturais são originárias de plantas, animais ou minerais. Essas ceras são formadas por inúmeros compostos químicos com diferentes proporções dependendo da sua origem e fatores ambientais, como por exemplo, hidrocarbonetos, esteróis, ésteres, álcoois ou ácidos carboxílicos de cadeia longa, entre outros (AMIN et al., 2021a). Como precursoras de embalagens,



além da principal característica de lipídeos de bloquear a migração de água, elas podem melhorar a aparência óptica dos produtos fornecendo superfícies brilhantes. No entanto, devido à ausência de sua integridade estrutural coesiva, são fracas e mais espessas em comparação com materiais de natureza hidrofílica (GOSLINSKA; HEINRICH, 2019). A cera de abelha (cera animal produzida por abelhas, caracterizada com alta plasticidade e inerte) (GOSLINSKA; HEINRICH, 2019) e a cera de carnaúba (cera vegetal extraída de folhas de palmeiras, reconhecida como uma substância GRAS e de alta barreira) são exemplos mais comuns de ceras usadas em filmes/revestimentos (SUSMITA DEVI et al., 2022).

Os óleos vegetais são substâncias lipídicas extraídas de plantas, compostos principalmente por triglicerídeos (glicerol unido a três moléculas de ácidos graxos por ligação éster) e alguns constituintes em concentrações menores como fitoesteróis, fosfolipídeos, antioxidantes, pigmentos, polifenóis e hidrocarbonetos. Quando adicionado em filmes e revestimentos, além da questão da umidade, podem causar uma redução na rugosidade de sua superfície e um aumento na reflectância especular da superfície ar-filme, uma vez que os óleos podem ocupar os vazios criados no processo de formação de filme (YOUSUF; SUN; WU, 2022). Entre os óleos usados para a finalidade, tem-se o óleo de soja e girassol. Óleos essenciais (canela, gengibre, orégano, tomilho, alecrim, entre outros) também são frequentemente empregados em filmes/revestimentos, principalmente na forma de ingrediente ativo para agregar propriedades antimicrobianas e características sensoriais aos produtos (JU et al., 2019).

Ainda, os ácidos graxos são caracterizados como ácidos carboxílicos com uma grande cadeia alifática. Existem inúmeros ácidos graxos, e esses se diferem quanto ao número de átomos de carbono (12 a 24 carbonos) e no número de duplas ligações em sua cadeia, podendo ser classificados em saturados, monoinsaturados e poli-insaturados. Grande parte dos ácidos

graxos são obtidos de oleaginosas, óleos vegetais e gorduras animais e muitos deles, estão envolvidos na fabricação de filmes e revestimentos (YOUSUF; SUN; WU, 2022). Dê exemplos, ácido oleico (MA et al., 2016) ácido palmítico (YAN et al., 2023), esteárico (THAKUR et al., 2016), são ácidos com boas características para melhorar a funcionalidade, reduzir a permeabilidade e atuar como plastificantes de embalagens.

### *Plastificantes*

Por fim, os plastificantes em si, são de extrema importância para a maioria das embalagens, principalmente daquelas provenientes de polissacarídeos e proteínas, que são materiais firmes e rígidos devido as interações entre suas cadeias poliméricas. Assim, para inserir maior termoplasticidade nesses compostos, os agentes plastificantes são incluídos nas misturas filmogênicas, colocando-se entre os polímeros e impedindo as interações polímero-polímero, tornando-os mais flexíveis e processáveis. Além disso, os plastificantes em sua grande maioria, são hidrofílicos, o que facilita sua ligação com moléculas de água, formando complexos plastificante-água (CAZÓN et al., 2017). Entre os plastificantes mais usados, enfatiza-se o glicerol, sorbitol, sacarose, xarope de milho, propilenoglicol e polietilenoglicol (KUMAR; NEERAJ, 2019).



# CAPÍTULO II



**PRINCIPAIS  
APLICAÇÕES DE FILMES E  
REVESTIMENTOS  
COMESTÍVEIS EM ALIMENTOS**



Levando em consideração que filmes/revestimentos comestíveis proporcionam maior estabilidade aos alimentos, como segurança de mercado, valor nutricional e custo econômico de produção, esses estão cada vez mais em alta no mercado alimentício (BHARDWAJ; ALAM; TALWAR, 2019). Suhag et al. (2020) ressaltam que esses materiais mantêm os parâmetros de qualidade e aumenta a vida de prateleira de vegetais, frutas, peixes, carnes e produtos lácteos. Como ilustração, frutas e vegetais estão propensos a sofrer danos causados por fatores mecânicos, térmicos e alterações fisiológicas causadas por doenças, enquanto produtos de origem animal apresentam uma maior suscetibilidade ao crescimento de microorganismos (CRUZ-MONTERROSA et al., 2023).

Diante desses aspectos, trabalhos são constatados na literatura, onde desenvolvem inovações a respeito desses materiais, que elevam a estabilidade de alimentos, e destacam-se aplicações atuais relevantes de filmes/revestimentos para conservação de frutas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em frutas e vegetais.

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Alimento</b>	<b>Método de aplicação</b>
<b>Celulose, quitosana e alginato de sódio</b>	Óleo essencial de orégano	Morango	Pulverização
<b>Proteína de soja</b>	Mel	Abacaxi	Mergulho
<b>Proteína do soro do leite</b>	Óleo essencial de limão e capim-limão	Pera	Imersão
<b>Zeína de milho</b>	Nisina	Nectarina e maçã	Imersão
<b>Amido de mandioca, gelatina e caseína</b>	NA	Goiaba	Imersão
<b>Óleo de coco e cera de abelha</b>	NA	Limão	Pincelagem
<b>Amido de milho</b>	Extrato de semente de uva	Morango	Imersão
<b>Quitosana e pululano</b>	Extrato de casca de romã	Pimentão	Mergulho
<b>Proteína de soja</b>	Extrato de limão	Melão	Mergulho

**Tabela 1.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em frutas e vegetais.

Resultados	Referências
Inibição do crescimento fúngico nos frutos, redução da perda de peso e retenção da taxa de respiração, rigidez, firmeza e propriedades de aparência	(LEE et al., 2022)
Maior retenção do conteúdo fenólico, efeito na concentração de gases no headspace, retardo no crescimento microbiano e menor alteração de cor nos frutos	(YOUSUF; SRIVASTAVA, 2019)
Redução nas alterações de cor, perda de dureza, polifenóis e flavonoides	(GALUS et al., 2021)
Redução da contagem de <i>Listeria Monocytogenes</i> , melhora na firmeza e retenção de perda de peso em ambos os frutos; Impacto significativo na sobrevivência de bolores e leveduras nas maçãs	(MENDES-OLIVEIRA et al., 2022)
Baixa taxa de transmissão de vapor, baixa perda de massa e aumento da vida útil em dois dias	(PELLÁ et al., 2020)
Retenção da cor verde, redução da respiração, da taxa de etileno, da perda de peso e enrugamento, preservação da firmeza e do teor de umidade	(NASRIN et al., 2020)
Redução da perda de água, alterações de pH e contagens microbiológica, e preservação da capacidade antioxidante dos frutos	(YILDIRIM-YALÇIN; ŞEKER; SADIKOĞLU, 2022)
Auxílio na manutenção de sólidos solúveis, acidez, pH firmeza, teor fenólico, de flavonoides, atividade antioxidante e melhora nas propriedades sensoriais	(KUMAR et al., 2021)
Menor perda de peso, alteração da cor e contagem de fungos e leveduras, além de retenção de vitamina C e melhora nos atributos sensoriais	(YOUSUF; SRIVASTAVA; AHMAD, 2020)



**Tabela 1.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em frutas e vegetais.

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Alimento</b>	<b>Método de aplicação</b>
<b>Proteína do soro do leite e goma xantana</b>	Óleo de cravo	Tomate	Mergulho
<b>Proteína do soro do leite</b>	Transglutaminase e óleo de girassol	Maçã	Imersão
<b>Quitosana</b>	Cinamaldeído	Laranja	Imersão
<b>Proteína de soja e gelatina</b>	Óleo de tomilho	Tâmara	Imersão
<b>Óleo de coco e cera de abelha</b>	NA	Limão	Pincelagem
<b>Quitosana</b>	Óleo essencial de menta	Mamão	Imersão
<b>Amido de mandioca, gelatina e cera de carnaúba</b>	NA	Goiaba	Mergulho
<b>Alginato de sódio e cera de carnaúba</b>	NA	Maça	Imersão
<b>Quitosana</b>	Óleo essencial de tomilho	Abacate	Imersão

**Tabela 1.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em frutas e vegetais.

<b>Resultados</b>	<b>Referências</b>
Melhor retenção de sólidos solúveis, ácido ascórbico, fenólicos totais e açúcares totais; potencial para manter frescos os frutos após quinze dias de armazenamento	(KUMAR; SAINI, 2021)
Redução da taxa de perda de peso, da taxa de respiração, da atividade de polifenoloxidase e catalase, e da produção de peróxido de hidrogênio e consequente diminuição do índice de escurecimento	(XIN et al., 2023)
Redução da perda de umidade, da incidência de doenças, retardo da degradação dos componentes do açúcar e dos ácidos orgânicos da fruta e melhora da atividade das enzimas antioxidantes e relacionadas à defesa da fruta	(GAO et al., 2018)
Menor nível de atividade da pectinase e maior firmeza do fruto após 28 dias de armazenamento	(YOUSEF; ABD EL-MONIEM; SH MAHMOUD, 2020)
Retenção da cor verde, redução da respiração, da taxa de etileno, da perda de peso e enrugamento, preservação da firmeza e do teor de umidade	(NASRIN et al., 2020)
Produção de revestimentos homogêneos com boas propriedades de barreira; Atraso na perda de peso, perda de firmeza, atividade enzimática e alteração da cor, sem afetar aceitabilidade dos consumidores	(BRAGA et al., 2020)
Redução abrupta da permeabilidade ao vapor de água, retardo da perda de massa e clorofila, maior vida útil e aceitação sensorial positiva	(OLIVEIRA et al., 2018)
Melhor manutenção da cor e dureza e redução na perda do teor de sólidos solúveis e ácidos tituláveis, além da inibição do aumento da atividade de polifenoloxidase e contagem total de colônia	(LIN et al., 2023b)
Melhor conservação da firmeza, propriedade nutricional e conteúdo nutracéutico dos frutos; Potencial para prevenir a podridão mole causada por <i>Clonostachys rósea</i>	(COYOTL-PÉREZ et al., 2022)
Redução da perda de peso e porcentagem de	

**Tabela 1.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em frutas e vegetais.

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Alimento</b>	<b>Método de aplicação</b>
<b>Alginato de sódio e carboximetilcelulose</b>	Vanilina e ácido ascórbico	Kiwi	Imersão
<b>Alginato de sódio e ácido oleico</b>	Extrato de chá verde	Morango e framboesa	Imersão
<b>Amido de milho e celulose</b>	Óleo essencial de cravo	Uvas	Invólucro
<b>Quitosana e goma xantana/pululano/goma tragacanta ou goma xantana</b>	Óleo de tomilho	Nectarina	Invólucro
<b>Dextrina</b>	Oleuropeína e azeite	Abobrinha	Imersão
<b>Amido de grão de bico</b>	Ácido esteárico e Aloe vera	Mamão	Mergulho
<b>Amido de mandioca</b>	Óleo essencial de cravo	Banana	NA

NA: Não se aplica. DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil.

**Tabela 1.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em frutas e vegetais.

Resultados	Referências
Redução da perda de peso e porcentagem de decomposição, manutenção da firmeza, da atividade de eliminação de radicais DPPH e do teor de ácido ascórbico, além da diminuição significativa de fungos, leveduras e bactérias	(MANZOOR et al., 2021)
Propriedades antioxidantes e antivirais	(FALCÓ et al., 2019)
Manutenção do peso, firmeza e sólidos solúveis, melhorando a vida útil das uvas por até 15 dias	(PUNIA et al., 2022)
Materiais com goma arábica apresentaram melhor inibição de patógenos e retardaram a liberação de óleo de tomilho aos frutos	(LIAN et al., 2020)
Redução da perda de peso, lesões pelo frio e estresse oxidativo; maior indução de enzimas antioxidantes e acúmulo de fenólicos totais e ascorbato	(SIERRA et al., 2023)
Redução da perda de peso, melhor firmeza e retenção da cor, e ligeira diminuição no teor de ácido ascórbico, além de propriedade antimicrobiana e aumento da vida útil do mamão até 12 dias	(KATHIRESAN; LASEKAN, 2019)
Ótima atividade antifúngica contra <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> e <i>Colletotrichum musae</i> ; Extensão da vida de prateleira da banana com boa qualidade e baixa perda de peso	(ALVES et al., 2019)

A aplicação de filmes e revestimentos comestíveis em frutas e verduras tem sido objeto de diversos estudos, nos quais diferentes precursores, como polissacarídeos, lipídios e proteínas, foram utilizados (Tabela 1). Observou-se que a definição das formulações manifestam uma fase crucial no desempenho de filmes comestíveis, pois exige a elaboração cuidadosa, levando em consideração as características específicas das frutas, as quais serão destinados (FALGUERA et al., 2011).

A utilização de uma embalagem comestível sobre a superfície do alimento apresenta variadas abordagens, como a aplicação por meio de pulverização, mergulho, imersão, pincelagem ou envolvimento direto ao alimento (invólucro). A seleção do método de aplicação está intrinsecamente ligada ao tipo específico de revestimento e ao tipo de alimento a ser contemplado, onde são obtidos resultados diversos (RIBEIRO et al., 2024).

É evidente que existe um considerável interesse em revestimentos comestíveis, motivado por sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, extenso potencial de aplicação e capacidade funcional como embalagens naturais. A aplicação desses filmes demonstrou específicas propriedades tecnológicas, tais como eficácia na inibição do crescimento de fungos e bactérias (LEE et al., 2022; MENDES-OLIVEIRA et al., 2022) e contribuição para a manutenção fisiológica pós-colheita de frutas (KUMAR; SAINI, 2021). Além disso, observou-se uma maior retenção de compostos que definem a manutenção da qualidade, como açúcares, antioxidantes e pH, que são fundamentais para a preservação da qualidade nutricional e sensorial das frutas e verduras (LA et al., 2021; KUMAR; SAINI, 2021. LIN et al., 2023)

Embalagens convencionais exercem função principal de proteção contra condições ambientais adversas, retardando seu processo de deterioração. Entretanto, observou-se pela Tabela 1, que componentes naturais presentes em revestimentos induzem interações químicas e físicas, possibilitando assim o controle da absorção ou liberação de determinadas substâncias, assim

como exposto por Ribeiro et al. (2021). Assim, a aplicação de filmes comestíveis emerge como uma estratégia promissora para aprimorar a qualidade e a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que minimiza o desperdício pós-colheita.

Da mesma forma, a aplicação de filmes e revestimentos comestíveis em produtos cárneos tem sido objeto de investigação em diversos estudos. Aplicando materiais naturais, demonstram-se na Tabela 2 filmes/revestimentos comestíveis aplicados em produtos cárneos. A incorporação de tais compostos oferece efeitos multidimensional, uma vez que estes também apresentam propriedades ativas e agregam estabilidade aos alimentos.

**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Alimento</b>	<b>Método de aplicação</b>
<b>Proteína de soja</b>	Óleo essencial de hortelã-pimenta	Hamburguer cru	Invólucro
<b>Gelatina e proteína de soja</b>	Transglutaminase	Salsicha de frango	Mergulho
<b>Alginato de sódio e pectina</b>	Ácido cinâmico	Carne bovina fresca	Invólucro
<b>Quitosana</b>	Quitosana	Salsicha vermelha	Imersão
<b>Gelatina</b>	Hidrolisado de subproduto do tomate	Lombo suíno	Imersão
<b>Ágar e alginato de sódio</b>	Óleo essencial de gengibre	Carne bovina fresca	Imersão
<b>Pectina</b>	Óleo essencial e extrato de <i>Thymus vulgaris</i> e <i>Thymbra spicata</i>	Mortadela fatiada	Mergulho
<b>Isolado de proteína de soja e quitosana</b>	Curcumina	Carne bovina fresca	Invólucro
<b>Alginato de sódio e gelatina</b>	NA	Pastirma	Imersão

NA: Não se aplica.

**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

Resultados	Referências
Alta atividade inibitória contra <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> e menor efeito em <i>Salmonella</i> , prolongando a vida útil em até 7 dias	(KARIMIAN; TABATABAEE BAFROEE; SHARIFAN, 2019)
Redução na contagem bacteriana e efeito positivo no pH, umidade, teor de proteína, maciez e perda de peso	(DWI et al., 2020)
Redução significativa da contagem bacteriana da carne (84,09%)	(TONG et al., 2023)
Inibição do declínio do pH, estabilização do valor L* e da migração de água, e desaceleração do crescimento de bactérias aeróbias e bactérias do ácido lático	(DONG et al., 2020)
Manutenção do pH e atividade de água durante o armazenamento, além de atividade antioxidante	(GALLEGO et al., 2020)
Retenção da textura e odor da carne fresca, retardo da oxidação lipídica e deterioração microbiana, aumentando a vida útil da carne em 9 dias a 4 °C	(ZHANG et al., 2021)
Menor contagem de bactérias mesófilas e bactérias lácticas em comparação ao controle	(GEDIKOĞLU, 2022)
Atividade antioxidante com liberação controlada e inibição do crescimento de <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Escherichia coli</i>	(YONG et al., 2023)
Redução dos valores de TBARS, retardo da frequência respiratória com melhora da cor, redução do aumento da concentração de oxigênio e melhora em todos atributos sensoriais	(ABDALLAH et al., 2018)



**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Alimento</b>	<b>Método de aplicação</b>
<b>Proteína do soro do leite</b>	Bifidobacterium e Lactobacillus	Presunto fatiado	Imersão
<b>Zeína</b>	Óleos de: pimenta rosa, alecrim e azeite e suas combinações	Carne ovina a vácuo	Imersão
<b>κ-carragena</b>	Óleo essencial de canela	Carne suína	Imersão
<b>Caseína</b>	Ácido sórbico e ácido ascórbico	Kafta bovina congelada	Mergulho
<b>Proteína do soro de leite e cera de abelha</b>	NA	Pastirma fatiada	Mergulho

NA: Não se aplica.

**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

Resultados	Referências
Redução da perda de água e peso, propriedades físicas estáveis, inibição do crescimento de <i>Staphylococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> e leveduras/bolores garantindo qualidade por até 45 dias e melhora da avaliação sensorial	(ODILA PEREIRA et al., 2018)
A combinação de azeite com óleo de pimenta apresentou maior estabilidade a cor, os revestimentos com alecrim, alecrim e azeite, e óleo de pimenta apresentam maior estabilidade oxidativa por 529 dias	(DE SOUZA CORDEIRO et al., 2019)
Retardo do crescimento da contagem total viável, de bactérias lácticas e bactérias produtoras de H <sub>2</sub> S, redução da oxidação lipídica e inibição das alterações adversas do valor de pH e da cor da superfície	(HE; WANG, 2022)
Melhora dos atributos sensoriais e aceitabilidade do produto, redução das contagens das bactérias indicadoras como coliformes fecais e <i>Staphylococcus aureus</i> , diminuição dos valores de TBARS e melhora das características de cozimento	(MOHAMED et al., 2023)
Maior estabilidade oxidativa (baixos valores de TBARS, peróxido, metamioglobina e teores de carbonila, e alta atividade scavenging) e maior qualidade sensorial	(ABDALLAH et al., 2022)

**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Alimento</b>	<b>Método de aplicação</b>
<b>Amido de batata</b>	Ácido decanóico; láurico; mirístico; palmítico; esteárico; oleico; e linoleico	Carne de frango	Invólucro
<b>κ-carragena</b>	Ácido palmítico	Filé de peito de frango minimamente processado	Invólucro
<b>Zeína, pectina e quitosana</b>	Óleo essencial de orégano	Linguiça vermelha Harbin	Imersão
<b>Alginato de sódio e pectina</b>	Ácido cinâmico	Carne bovina fresca	Invólucro
<b>Amido de batata</b>	Ácido decanóico; láurico; mirístico; palmítico; esteárico; oleico; e linoleico	Carne de frango	Invólucro
<b>Quitosana e alginato</b>	Óleo essencial de cominho preto	Peito de frango	Invólucro

**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

<b>Resultados</b>	<b>Referências</b>
Filmes com ácido láurico apresentaram melhores propriedades com redução da perda de peso, pH, da contagem bacteriana total e do nitrogênio básico volátil total	(WU et al., 2023)
Boas propriedades de barreira a água e redução da perda de peso do produto	(PRASEPTIANGGA et al., 2018)
Inibição do crescimento das bactérias deteriorantes, redução do número total de bactérias aeróbias e dos valores de TBARS, estendendo o prazo de validade para 9 dias	(FAN et al., 2023)
Redução da contagem microbiana em 84,09%	(TONG et al., 2023)
Os filmes com ácido láurico apresentaram melhores propriedades com redução da perda de peso, pH, da contagem bacteriana total e do nitrogênio básico volátil total	(WU et al., 2023)
Contagens de bactérias aeróbias mesófilas e bactérias psicotróficas ligeiramente inferior ao controle, com elevada atividade antimicrobiana contra <i>Escherichia coli</i> ; Menor variação de pH e de alteração de cor	(KONUK TAKMA; KOREL, 2019)

**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Alimento</b>	<b>Método de aplicação</b>
<b>Quitosana</b>	Ácido oleico	Carne suína fresca	Imersão

TBARS: Thiobarbituric acid reactive substances

**Tabela 2.** Efeitos das abordagens aplicando filmes/revestimentos em produtos cárneos

<b>Resultados</b>	<b>Referências</b>
Inibição de <i>Escherichia coli</i> , redução significativa das contagens das bactérias aeróbias e <i>Pseudomonas spp.</i> , diminuição do conteúdo de nitrogênio básico volátil total e aumento da concentração de voláteis associados a aromas agradáveis	(HOA et al., 2022)

Notavelmente, alimentos revestidos com materiais comestíveis refletem o potencial de aprimorar a qualidade dos alimentos, contribuindo para a extensão de sua vida útil, redução da perda de peso e preservação de propriedades organolépticas. Pesquisas demonstram que a utilização desses revestimentos seja eficaz na inibição do crescimento microbiano, desempenhando um papel significativo na manutenção fisiológica e na prevenção da degradação natural de alimentos de origem animal (ABBASI et al., 2021; DWI et al., 2020).

Além disso, foi observado um prolongamento da vida útil dos produtos cárneos, inibição da queda de pH, estabilização da cor, retenção de textura e odor, e redução da oxidação lipídica (Tabela 2) (ABDALLAH et al., 2018; ABDALLAH et al., 2022; MOHAMED et al., 2023; ZHANG et al., 2021). Portanto, os resultados indicam que a aplicação de filmes comestíveis emerge como uma estratégia promissora para melhorar a qualidade e a segurança alimentar em produtos cárneos, contribuindo para atender às demandas do mercado e proporcionar benefícios tanto em termos de aspectos sensoriais quanto de preservação da qualidade nutricional.

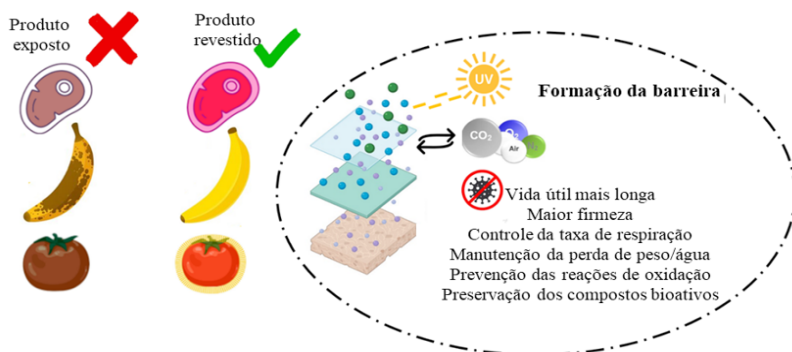
Existem fatores que influenciem na manutenção da qualidade e das características dos produtos revestidos finais, descrito pela potencial formação de uma camada de revestimento, impactando a aparência do produto, propriedades mecânicas, permeabilidade a gases, e sua vida útil. Desta forma, as frutas tendem a ser revestidas por uma camada relativamente fina, contrastando com vegetais e produtos cárneos, que podem apresentar uma camada mais espessa (LISITSYN et al., 2021).

De maneira geral, os filmes comestíveis destacam-se pela capacidade de modular a permeabilidade da membrana celular na superfície de alimentos revestidos, tornando-se essencial para minimizar perdas de água e peso, preservando a suculência e frescor, uma vez que atuam como barreira física, oferecendo defesa contra danos celulares, reações oxidativas e ainda, protegem contra impactos externos (SGANZERLA et al., 2021;

SONG et al., 2021a; ULLOA-SAAVEDRA et al., 2022). Além disso, agentes filmogênicos podem atuar como doadores de elétrons e prótons, atrasando o processo de oxidação lipídica, removendo iniciadores de radicais livres, assim preservando a qualidade sensorial dos alimentos. Favorecendo o controle da deterioração, atenuando-se pela criação de uma barreira, impactando positivamente a integridade, por meio da criação de um ambiente controlado, assegurando o aumento da vida útil do produto (ROY; PRIYADARSHI; RHIM, 2022).

A Figura 2 ilustra a aplicação de uma camada protetora adicional em alimentos que contribui para a extensão da vida útil desses itens alimentícios específicos. Essa medida retarda o processo de deterioração microbiana, proporcionando propriedades de barreira eficazes contra umidade e gás. Além disso, ao revestir alimentos com filmes comestíveis, observa-se um aumento na durabilidade desses produtos, acompanhado de maior firmeza, manutenção do peso/perda de água, preservação de compostos bioativos, e um retardamento nos processos metabólicos (SAID; SARBON, 2022).

**Figura 2.** Potencial formação de barreira desenvolvido por filmes/revestimentos.





Cumprindo o propósito de preservar alimentos minimizando os fatores adversos de mercado, como a exposição a gases como oxigênio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), os filmes/revestimentos desempenham um papel fundamental para indicador de qualidade, pois favorecem o controle da coloração. Aspecto desejado por consumidores, uma vez que associam o frescor pela coloração (UMARAW et al., 2020).

Frutas e vegetais caracterizam-se por sua alta perecibilidade a fatores externos de exposição, destacada pelo contínuo processo respiratório que resulta no consumo de  $O_2$  e liberação de  $CO_2$ . Esse processo acelera a produção de etileno, hormônio vegetal responsável pelo amadurecimento e senescência do fruto, levando a sua deterioração precoce. Do mesmo modo, Li e Lin (2013) elucidam que, as alterações de cor nos frutos demonstram um indicador crucial no nível de maturação. Em contrapartida, nas carnes, a ausência de oxigênio e excesso de  $CO_2$  provoca a descoloração desses produtos, sendo assim, níveis considerados de  $O_2$ , desempenha uma complexa função positiva de coloração vermelha da carne, diferentemente do seu comportamento em vegetais (AROKIYARAJ; DINAKARKUMAR; SHIN, 2024).

De modo geral, filmes/revestimentos são projetados para interagir de maneira específica com os alimentos, proporcionando melhorias significativas na conservação e qualidade. Contudo, mesmo com os progressos no desenvolvimento de filmes naturais como alternativas de embalagem, suas características físicas e funcionais ainda não alcançaram o numeroso nível de uso de embalagens plásticas convencionais (RIBEIRO; ESTEVINHO; ROCHA, 2021). Portanto, devido à crescente busca por alternativas sustentáveis, as embalagens comestíveis e biodegradáveis emergem uma perspectiva para redução do consumo de plástico. Devem ser exploradas fielmente na intenção de substituir embalagens tradicionais, uma vez que exibem soluções reconhecidas por sua segurança em aplicações alimentícias, e assumem uma ampla gama de matéria-prima natural capaz de

oferecer preservação aos alimentos e ambiente (SAMPAIO et al., 2024).

Desse modo, o presente estudo mostra que filmes e revestimentos foram amplamente aplicados em frutas e produtos cárneos, demonstrando uma alternativa eficiente para a superação dos desafios proporcionados pela exposição ao ambiente/ mercado que podem levar a deterioração precoce. No entanto adaptações significativas como a otimização de materiais, processos de fabricação e conformidade regulatória são necessárias para obter a utilização dessa tecnologia em nível industrial.



# CAPÍTULO III



**INOVAÇÕES DE  
NANOTECNOLOGIA  
EM FILMES E  
REVESTIMENTOS  
COMESTÍVEIS**



Recentemente, foram observados progressos na aplicação de materiais biodegradáveis em embalagens de alimentos. Considerando o acelerado avanço industrial no setor alimentício, a introdução da nanotecnologia na fabricação de embalagens está abrindo caminho para uma abordagem inovadora: a criação de embalagens biologicamente ativas (SIDDIQUI et al., 2022).

Deste modo, nanomateriais têm desempenhado um papel significativo no avanço dos sistemas de embalagem de alimentos, sendo definidos como materiais com uma ou mais dimensões na faixa de 1 a 100 nanômetros. Esses materiais nanométricos, como nanopartículas, nanocompósitos, nanoargilas, nanoemulsões e nanosensores, oferecem desempenho em suas propriedades ópticas, magnéticas, elétricas (AGRIOPOULOU et al., 2021).

Desta forma, embalagens compostas por nanotecnologia superam as limitações associadas às matrizes poliméricas de base biológica, proporcionando um desempenho superior em termos de barreira, melhora da resistência mecânica e maior estabilidade térmica e de oxidação. Ainda assim, o desenvolvimento de embalagens nanoestruturadas destacada pela introdução de nanopartículas, tais como nanocargas à base de carbono, silício, óxido metálico e as híbridas em matrizes poliméricas, representando uma estratégia para outras características fundamentais das embalagens de alimentos, tais como propriedades antimicrobianas, barreira a gases, resistência mecânica e aspectos sensoriais (SOUSA et al., 2023).

Estes nanosistemas oferecem a encapsulação de agentes ativos e sua liberação controlada aos alimentos, visto como uma abordagem para melhorar a eficiência sem modificar diferentes parâmetros de qualidade (nutricional, sensorial e microbiológica). Essa tecnologia envolve a nanotecnologia incorporando precursores e materiais ativos, de modo, que ofereça o controle e a liberação dos componentes desejados de maneira precisa e eficiente (KISS, 2020). A Tabela 3 exibe alguns efeitos proporcionados pela aplicação de nanotecnologias em alimentos de origem vegetal e animal.

**Tabela 3.** Efeitos proporcionados pela aplicação de nanosistemas em alimentos

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Nanotecnologia</b>	<b>Aplicação</b>
<b>Quitosana</b>	Silício e nisina	Nanopartículas	Mirtilo
<b>Carragena</b>	Óxido de zinco	Nanopartículas	Manga
<b>Alginato de sódio</b>	Citral	Nanoemulsão	Abacaxi
<b>Quitosana e goma</b>	Óxido de zinco	Nanopartículas	Banana
<b>Hidroxipropilmetil celulose</b>	Prata	Nanopartículas	Mamão
<b>Quitina-quitinase</b>	Óxido de zinco	Nanosensor	Mamão
<b>Farinha de banana</b>	Haloisita e carvacrol	Nanoargila	Pimentão
<b>κ-carragenina e amido de mandioca</b>	Cobre	Nanopartículas	Pera

**Tabela 3.** Efeitos proporcionados pela aplicação de nanossistemas em alimentos

Resultados	Referências
Manutenção da textura, controle do encolhimento e da taxa de decomposição dos mirtilos, além da atuação como agente antimicrobiano	(ELDIB et al., 2020)
Redução da acidez total, manutenção da firmeza e retardação da descoloração e deterioração dos frutos, além da inibição de <i>Escherichia coli</i>	(MEINDRAWAN et al., 2018)
Retenção da cor, menor taxa respiratória e redução da população de <i>Salmonella</i> entérica e <i>Listeria monocytogenes</i> inoculadas	(PRAKASH; BASKARAN; VADIVEL, 2020)
Manutenção dos parâmetros de qualidade como firmeza, perda de peso, quantidade de açúcar e acidez titulável; Frutos com frescor por 17 dias	(LA et al., 2021)
Retardo da alteração da cor, firmeza, perda de massa e sólidos solúveis e redução de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	(VIEIRA et al., 2020)
Medida de alterações na frequência de sistema elétrico durante interações na membrana celular, capacitando reconhecer e detectar complexo fúngico	(LUCAS-BAUTISTA et al., 2024)
Redução na perda de peso, melhora da firmeza e controle da coloração após 9 dias	(CHAKRABORTY; HATI; MISHRA, 2023)
Controle da perda de massa, menor teor de sólidos solúveis, inibição da respiração e preservação da acidez titulável, menor pH, mantendo a vida útil superior a 30 dias	(DA COSTA et al., 2023)



**Tabela 3.** Efeitos proporcionados pela aplicação de nanosistemas em alimentos

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Nanotecnologia</b>	<b>Aplicação</b>
<b>Quitosana</b>	Montmorilonita	Nanopartículas	Banana
<b>NA</b>	Cera de carnaúba, cera de abelha, ácido oleico	Nanoargila	Laranja
<b>Quitosana quaternizada</b>	Aldeído carboxicelulose	Nanopartículas	Banana, manga e nêspera
<b>Gelatina e ágar</b>	Óxido de zinco e cobre, óleo essencial de cravo	Nanopartículas e emulsão pickering	Barriga de porco
<b>NA</b>	Níquel, ouro e seleneto	Nanosensor	Suco de frutas e vinho
<b>Alginato de sódio, proteína de soro do leite</b>	Óleo de linhaça	Nanoemulsão	Carne de Frango

**Tabela 3.** Efeitos proporcionados pela aplicação de nanossistemas em alimentos

Resultados	Referências
<p>Redução da produção de etileno, retardo na mudança de cor da casca, reduziu o vazamento de eletrólitos e conteúdo de malondialdeído, inibição do DPPH durante 12 dias, manteve a firmeza da fruta, reduziu a destruição da membrana plasmática</p> <p>Melhora da aceitabilidade sensorial, prevenção da perda de peso e atividade antioxidante, retardo de taxa de respiração após 8 semanas de armazenamento</p> <p>Banana: Retardo do amolecimento, encolhimento e decomposição. Integridade de manchas até 8° dia, menor perda de peso e manutenção da dureza (redução de 15%).</p> <p>Manga: Manutenção da cor até o 9° dia, perda de peso mínima em cerca de 10%.</p> <p>Nêspera: Manutenção da cor brilhante até 12° dia, perda mínima de peso (cerca de 10%), perda de dureza em apenas 13%.</p>	<p>(WANTAT; SERAYPHEAP; ROJSITTHISAK, 2022)</p>
<p>Crescimento bacteriano aeróbio total após 8 dias aceitável para consumo (&lt; 7 log UFC/g), baixa oxidação lipídica após 15 dias</p> <p>Capacitação da detecção de fenólicos, permitindo monitorar teor de ácido gálico num limite inferior que 5 nM</p> <p>Maior incorporação de ácidos graxos poliinsaturados totais (PUFA) ômega-3 (<math>\alpha</math>-linolênico) na carne de aves alimentadas com nanoemulsões (coxa e peito)</p>	<p>(MOTAMEDI et al., 2018)</p> <p>(YUAN et al., 2024)</p> <p>(ROY; PRIYADARSHI; RHIM, 2022)</p> <p>(PALANISAMI et al., 2022)</p> <p>(ABBASI et al., 2019)</p>

**Tabela 3.** Efeitos proporcionados pela aplicação de nanosistemas em alimentos

<b>Precursor</b>	<b>Material ativo</b>	<b>Nanotecnologia</b>	<b>Aplicação</b>
<b>Alginato de sódio, proteína de soro do leite</b>	Óleo de alecrim, óleo de manuka	Nanoemulsão e nanocápsula	Carne Wagyu
<b>Celulose bacteriana</b>	Polipirrol-óxido de zinco	Nanopartículas	Coxa de frango
<b>Zeína</b>	Corante alizarina	Nanosensor	Peixe truta
<b>Quitosana</b>	Cinamaldeído	Nanopartículas	Hamburguer artesanal
<b>Quitosana</b>	Própolis-fosfatidilcolina-óleo de semente de chá	Nanomicrocápsulas	Lombo suíno
<b>Celulose</b>	Óleo essencial de gengibre e ácido cítrico	Nanofibras	Carne de frango grelhada
<b>Amido de milho</b>	Óleo essencial de Zataria multiflora e cinamaldeído	Nanoemulsão	Carne de frango fresca

NA: Não se aplica. DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil.

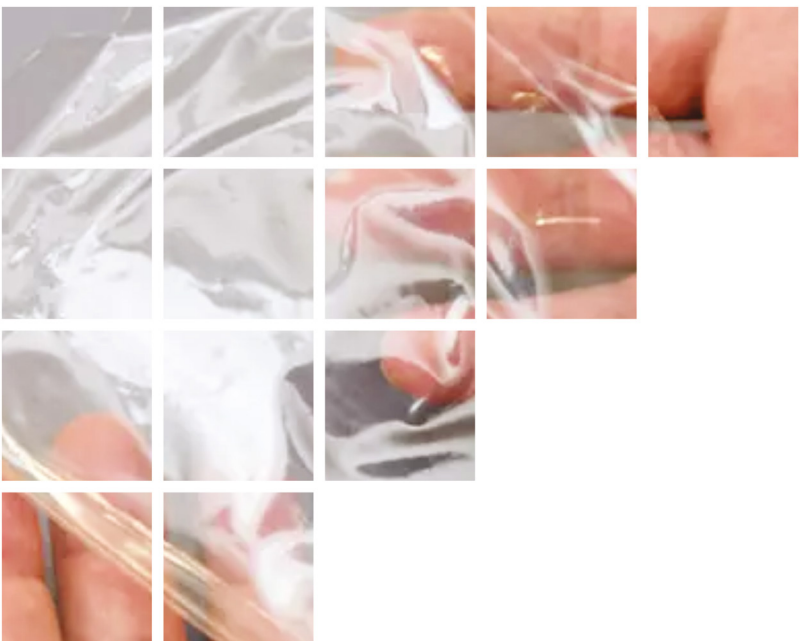
**Tabela 3.** Efeitos proporcionados pela aplicação de nanossistemas em alimentos

Resultados	Referências
Termoestabilidade superior às dos óleos livres, conferindo sistemas com liberação sustentada resistentes a oxidação	(KAUR et al., 2024)
Redução do crescimento de microrganismos, controle do aumento do pH e atividade antioxidante	(PIRSA; SHAMUSI, 2019)
Medida eficiente ao frescor, a cor do sensor altera-se indicando deterioração durante o armazenamento	(AGHAEI et al., 2020)
Redução de bactérias aeróbias total de 4,85 log UFC/g, coliformes totais de 1,26 log UFC/g e controle crescimento para <i>Listeria monocitogenes</i> < 0,5 log10) por até 20 dias	(MONDÉJAR-LÓPEZ et al., 2024)
Redução da contagem bacteriana total, potencial reagentes de ácido tiobarbitúrico (TBARS) e nitrogênio básico volátil total, prolonga a vida útil em até 10 dias	(JI et al., 2023)
Redução da contagem microbiana, com aumento da vida útil em 6 dias, além da melhora do sabor, odor, textura e aceitabilidade das amostras	(KHALEDIAN; PAJOHI-ALAMOTI; BAZARGANI-GILANI, 2019)
Redução na contagem total viável, contagem psicotrófica, de bactérias lácticas, contagem de <i>Enterobacteriaceae</i> , de fungos e leveduras e de <i>Listeria monocitogenes</i> inoculada	(ABBASI et al., 2021)

Identifica-se pela Tabela 3, que a liberação controlada de nanossistemas em alimentos representa uma área de pesquisa em constante evolução, com potencial para melhorar a eficiência nutricional, a qualidade sensorial e a segurança dos alimentos. A utilização de embalagens avançadas fundamentadas na nanotecnologia viabiliza significativamente à indústria alimentícia, favorecendo o transporte seguro de alimentos, uma vez que, impedem a contaminação, preservando as propriedades mecânicas, fisiológicas, físicas e químicas dos alimentos, sem comprometer o sabor, a nutrição e a qualidade (CHAUSALI; SAXENA; PRASAD, 2022).

Desta forma, torna-se crucial avaliar o comportamento das nanoembalagens aplicadas em alimentos, uma vez que o desenvolvimento de nanossistemas oferecem migração de nanomateriais, contribuindo para eficiência em monitorar a qualidade dos alimentos (AGRIOPOULOU et al., 2021). No entanto, é essencial abordar questões associadas ao uso de nanotecnologia em produtos alimentícios, oferecendo proteção contra condições ambientais adversas, prevenindo interações indesejadas, são características essenciais dos transportadores de nanotecnologia quando aplicados na preservação de alimentos (BAHRAMI et al., 2019).

# CAPÍTULO IV



**IMPLICAÇÕES E DIREÇÕES  
FUTURAS NA ÁREA DE  
FILMES E REVESTIMENTOS  
COMESTÍVEIS**



Apesar dos filmes e revestimentos comestíveis serem uma excelente forma de revolucionar a indústria de embalagens e alimentos, suas produções em escala laboratorial enfrentam desafios substanciais que limitam sua transição para a escala industrial. Dentre as implicações limitantes, incluem a dificuldade em produzir filmes contínuos e de grandes dimensões, o tempo prolongado de secagem, a imprecisão no controle da espessura, o elevado consumo de energia e os custos significativos associados. Visto isso, investigações adicionais são cruciais para abordar essas questões e viabilizar uma produção mais eficiente em larga escala. Além disso, a produção de embalagens comestíveis e biodegradáveis é complexa, apresentando desafios de viabilidade em comparação com as convencionais à base de petróleo. A superação desses obstáculos requer adaptações nas técnicas tradicionais de processamento. A otimização da cadeia produtiva, desde a concepção do produto até a entrega ao consumidor, é essencial e demanda uma exploração abrangente de métodos de processamento em larga escala, como extrusão, moldagem por injeção, moldagem por compressão e sopro (SIQUEIRA et al., 2021).

Ainda, para alcançar um sucesso comercial, além de solucionar os desafios da produção em escala industrial é de extrema importância a aceitação dos consumidores sobre esses materiais. Essa aceitação é influenciada por diversas variáveis, como a falta de evidências sobre a comestibilidade e biodegradabilidade dessas embalagens, seus aspectos sensoriais, lacunas legais, preocupações com efeitos toxicológicos e para a saúde, estratégias de marketing inadequadas, falta de conscientização pública e considerações culturais. Pesquisas futuras devem abordar esses aspectos para aprimorar o êxito comercial desses filmes, garantindo não apenas sua funcionalidade técnica, mas também sua aceitação social e econômica (JEYA JEEVAHAN et al., 2020). Além disso, é fundamental promover uma colaboração efetiva entre as estratégias governamentais, as ações voluntárias das empresas e as transformações nos padrões de comportamento do consumidor (SIQUEIRA et al., 2021).



## Considerações finais

A crescente conscientização sobre as questões ambientais e a busca por alternativas sustentáveis, tem impulsionado as pesquisas de materiais inovadores como os filmes e revestimentos comestíveis. Essas embalagens estendem a vida útil dos alimentos (visualizado pelos resultados efetivos demonstrados, como a inibição do crescimento de fungos e bactérias e redução da oxidação lipídica em produtos cárneos e a manutenção de compostos que definem a qualidade das frutas, como açúcares, antocianinas e pH), reduzem o desperdício e oferecem a oportunidade de melhorar a segurança de alimentos, como também, atendem à demanda dos consumidores por embalagens mais ecológicas. Além disso, o uso da nanotecnologia nessas embalagens, oferecem maior desempenho sobre os alimentos, oferecidos pela potencial liberação controlada de agentes ativos (antimicrobianos, antioxidantes e/ou nutrientes) sem modificar a qualidade do produto. Por fim, visando a implementação em escala industrial e sucesso comercial desses filmes e revestimentos, é necessário superar os desafios técnicos de processamento e desenvolver estratégias eficazes para garantir a aceitação dos consumidores, promovendo a consolidação positiva desses materiais.

# Referências

- ABBASI, F. et al. Ultrasound-assisted preparation of flaxseed oil nanoemulsions coated with alginate-whey protein for targeted delivery of omega-3 fatty acids into the lower sections of gastrointestinal tract to enrich broiler meat. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 50, p. 208–217, 2019.
- ABBASI, Z. et al. Effect of corn starch coating incorporated with nanoemulsion of Zataria multiflora essential oil fortified with cinnamaldehyde on microbial quality of fresh chicken meat and fate of inoculated *Listeria monocytogenes*. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 7, p. 2677–2687, 2021.
- ABDALLAH, M. R. et al. Application of alginate and gelatin-based edible coating materials as alternatives to traditional coating for improving the quality of pastirma. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, n. 6, p. 1589–1597, 2018.
- ABDALLAH, M. R. S. et al. Oxidative Stability of Whey Protein Isolate Coating Incorporated Beeswax: A Shelf-Life Study in Sliced Pastirma. **Journal of Animal Health and Production**, v. 10, n. 3, p. 303, 2022.
- ABDOLLAHZADEH, E.; NEMATOLLAHI, A.; HOSSEINI, H. Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 110, p. 291–303, 2021.
- AGHAEI, Z. et al. Protein-based halochromic electrospun nanosensor for monitoring trout fish freshness. **Food Control**, v. 111, p. 107065, maio 2020.
- AGRIOPOULOU, S. et al. Emerging Nanomaterial Applications for Food Packaging and Preservation: Safety Issues and Risk Assessment. p. 7, 2021.
- AHMAD, T. et al. Recent advances on the role of process variables affecting gelatin yield and characteristics with special reference to enzymatic extraction: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 85–96, 2017.
- ALAMRI, M. S. et al. Food packaging's materials: A food safety perspective. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 8, p. 4490–4499, 2021.

- ALOUI, H. et al. Development and characterization of novel composite glycerol-plasticized films based on sodium caseinate and lipid fraction of tomato pomace by-product. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, n. 2019, p. 128–138, 2019.
- ALVES, H. et al. Active film incorporated with clove essential oil on storage of banana varieties Active fi lm incorporated with clove essential oil on storage of banana varieties. **Nutrition & Food Science**, 2019.
- AMIN, U. et al. Potentials of polysaccharides, lipids and proteins in biodegradable food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, n. February, p. 2184–2198, 2021a.
- AMIN, U. et al. Improvement of the performance of chitosan–aloe vera coatings by adding beeswax on postharvest quality of mango fruit. **Foods**, v. 10, n. 10, 2021b.
- ANIS, A.; PAL, K.; AL-ZHRANI, S. M. Essential oil-containing polysaccharide-based edible films and coatings for food security applications. **Polymers**, v. 13, n. 4, p. 1–32, 2021.
- AROKIYARAJ, S.; DINAKARKUMAR, Y.; SHIN, H. A comprehensive overview on the preservation techniques and packaging of processed meat products: Emphasis on natural derivatives. **Journal of King Saud University - Science**, v. 36, n. 1, p. 103032, 2024.
- AVRAMESCU, S. M. et al. Edible and functionalized films/coatings-performances and perspectives. **Coatings**, v. 10, n. 7, 2020.
- BAHRAMI, A. et al. Nanoencapsulated nisin: An engineered natural antimicrobial system for the food industry. **Trends in Food Science and Technology**, v. 94, p. 20–31, 2019.
- BAJPAL, V. K. et al. Prospects of using nanotechnology for food preservation, safety, and security. **Polysaccharides**, v. 4, n. 4, p. 1201–1214, 2023.
- BHARDWAJ, A.; ALAM, T.; TALWAR, N. Recent Advances in Active Packaging of Agri-food Products : a Review. **Journal of Postharvest Technology**, v. 07, n. 1, p. 33–62, 2019.
- BOUGHRIBA, S. et al. Thermal, mechanical and microstructural characterization and antioxidant potential of *Rhinobatos cemiculus* gelatin films supplemented by titanium dioxide doped silver nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, v. 103, n. January, p. 105695, 2020.

- BRAGA, S. DOS P. et al. Characterization of edible coatings formulated with chitosan and Mentha essential oils and their use to preserve papaya (*Carica papaya* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 65, n. June, p. 102472, 2020.
- BRUNI, A. et al. Characterization and application of active films based on commercial polysaccharides incorporating ZnONPs. **International Journal of Biological Macromolecules**, n. xxxx, 2022.
- CAZÓN, P. et al. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136–148, 2017.
- CHAKRABORTY, P.; HATI, S.; MISHRA, B. K. Biocomposite films from banana flour/halloysite nanoclay/carvacrol: Preparation, characterization, and application on capsicum (*Capsicum annuum*) fruits. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 36, p. 101304, dez. 2023.
- CHAUSALI, N.; SAXENA, J.; PRASAD, R. Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, p. 100257, 2022.
- CHEN, H. et al. Application of protein-based films and coatings for food packaging: A review. **Polymers**, v. 11, n. 12, p. 1–32, 2019.
- CHIRALT, A. et al. **Edible films and coatings from proteins**. Second Edition. [s.l.] Elsevier Ltd., 2017.
- COYOTL-PÉREZ, W. A. et al. Improving the Shelf Life of Avocado Fruit against *Clonostachys rosea* with Chitosan Hybrid Films Containing. p. 1–14, 2022.
- CRUZ-MONTERROSA, R. G. et al. Application of Polysaccharide-Based Edible Coatings on Fruits and Vegetables: Improvement of Food Quality and Bioactivities. **Polysaccharides**, v. 4, n. 2, p. 99–115, 2023.
- DA COSTA, J. C. M. et al. Enhancing fresh pear preservation with UV-blocking film coatings based on  $\kappa$ -carrageenan, cassava starch, and copper oxide particles. **Journal of Food Engineering**, p. 111853, nov. 2023.
- DA MATA CUNHA, O. et al. Amphiphilic diethylaminoethyl chitosan of high molecular weight as an edible film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 3411–3420, 2020.
- DE SOUZA CORDEIRO, C. et al. Utilization of zein-based coatings containing vegetable oils on the physicochemical characteristics of vacuum-packaged lamb meat. **Ciencia Rural**, v. 49, n. 10, 2019.

- DÍAZ-MONTES, E. Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, and Their Application in Biodegradable Films. **Polysaccharides**, v. 3, n. 3, p. 480–501, 2022.
- DONG, C. et al. Effects of edible chitosan coating on Harbin red sausage storage stability at room temperature. **Meat Science**, v. 159, n. May 2019, p. 107919, 2020.
- DRAGO, E. et al. Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. **Foods**, v. 9, n. 11, 2020.
- DWI, W. et al. QUALITY OF CHICKEN SAUSAGE COATED BY TRANSGLUTAMINASE-CROSSLINKED BOVINE SPLIT HIDE GELATINANDSOY PROTEIN ISOLATE EDIBLE FILM DURING CHILLED STORAGE. **Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak**, v. 15, n. 3, p. 142–151, 2020.
- ELDIB, R. et al. Chitosan, nisin, silicon dioxide nanoparticles coating films effects on blueberry (*Vaccinium myrtillus*) quality. **Coatings**, v. 10, n. 10, p. 1–12, 2020.
- EMRAGI, E.; KALITA, D.; JAYANTY, S. S. Effect of edible coating on physical and chemical properties of potato tubers under different storage conditions. **Lwt**, v. 153, n. April 2021, p. 112580, 2022.
- FALCÓ, I. et al. Food Hydrocolloids Antiviral activity of alginate-oleic acid based coatings incorporating green tea extract on strawberries and raspberries. **Food Hydrocolloids**, v. 87, n. September 2018, p. 611–618, 2019.
- FALGUERA, V. et al. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, n. 6, p. 292–303, 2011.
- FAN, X. et al. The Improvement of Storage Quality of Harbin Red Sausage by Coating with Oregano Essential Oil Loaded Zein-Pectin-Chitosan Nanoparticles. **Food Packaging and Shelf Life**, 2023.
- FRIEDRICHSEN, J. S. A. et al. Propriedades e funcionalidades oferecidas a alimentos por filmes e revestimentos comestíveis : Uma revisão Properties and functionalities offered to foods by edible films and coatings : A review Propiedades y funcionalidades que ofrecen a los alimentos la. v. 2022, p. 1–9, 2022.
- GALLEGO, M. et al. Effect of gelatin coating enriched with antioxidant tomato by-products on the quality of pork meat. **Polymers**, v. 12, n.

- 5, p. 1–18, 2020.
- GALUS, S. et al. The effect of whey protein-based edible coatings incorporated with lemon and lemongrass essential oils on the quality attributes of fresh-cut pears during storage. **Coatings**, v. 11, n. 7, 2021.
- GALUS, S.; KADZIŃSKA, J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 273–283, 2015.
- GAO, Y. et al. Quality and biochemical changes of navel orange fruits during storage as affected by cinnamaldehyde -chitosan coating. **Scientia Horticulturae**, v. 239, n. May, p. 80–86, 2018.
- GEDIKOĞLU, A. P. A. The effect of *Thymus vulgaris* and *Thymbra spicata* essential oils and/or extracts in pectin edible coating on the preservation of sliced bolognas. **Meat Science**, v. 184, n. August 2021, 2022.
- GOSLINSKA, M.; HEINRICH, S. Characterization of waxes as possible coating material for organic aerogels. **Powder Technology**, v. 357, p. 223–231, 2019.
- HASSAN, B. et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018.
- HE, S.; WANG, Y. Antimicrobial and Antioxidant Effects of Kappa-Carrageenan Coatings Enriched with Cinnamon Essential Oil in Pork Meat. **Foods**, v. 11, n. 2, p. 2885, 2022.
- HOA, V. B. et al. Application of a Newly Developed Chitosan/Oleic Acid Edible Coating for Extending Shelf-Life of Fresh Pork. **Foods**, v. 11, n. 13, p. 1–14, 2022.
- HORODYTSKA, O.; VALDÉS, F. J.; FULLANA, A. Plastic flexible films waste management – A state of art review. **Waste Management**, v. 77, p. 413–425, 2018.
- JAYAKODY, M. M.; VANNIARACHCHY, M. P. G.; WIJESEKARA, I. **Seaweed derived alginate, agar, and carrageenan based edible coatings and films for the food industry: a review**. [s.l.] Springer US, 2022. v. 16
- JEYA JEEVAHAN, J. et al. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 100, p. 210–222, jun. 2020.

- Jl, Q. et al. Chitosan composite films based on tea seed oil nano-microcapsules: Antibacterial, antioxidant and physicochemical properties. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 40, p. 101212, dez. 2023.
- JU, J. et al. Application of edible coating with essential oil in food preservation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 15, p. 2467–2480, 2019.
- KANDASAMY, S. et al. Application of whey protein-based edible films and coatings in food industries: An updated overview. **Coatings**, v. 11, n. 9, 2021.
- KARIMIAN, Z.; TABATABAEE BAFROEE, A. S.; SHARIFAN, A. Physico-mechanical and antimicrobial properties of isolated soy protein film incorporated with peppermint essential oil on raw hamburger. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 21, n. 5, p. 1145–1159, 2019.
- KATHIRESAN, S.; LASEKAN, O. Effects of glycerol and stearic acid on the performance of chickpea starch-based coatings applied to fresh-cut papaya. **CYTA - Journal of Food**, v. 17, n. 1, p. 365–374, 2019.
- KAUR, R. et al. Synthesis and characterisation of Mānuka and rosemary oil-based nano-entities and their application in meat. **Food Chemistry**, v. 436, p. 137600, mar. 2024.
- KHALEDIAN, Y.; PAJOHI-ALAMOTI, M.; BAZARGANI-GILANI, B. Development of cellulose nanofibers coating incorporated with ginger essential oil and citric acid to extend the shelf life of ready-to-cook barbecue chicken. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 10, p. 1–13, 2019.
- KHAN, M. R. et al. Active casein coatings and films for perishable foods: Structural properties and shelf-life extension. **Coatings**, v. 11, n. 8, 2021.
- KISS. Nanotechnology in food systems: A review. **Acta Alimentaria**, v. 49, n. 4, p. 460–474, 2020.
- KONUJ TAKMA, D.; KOREL, F. Active packaging films as a carrier of black cumin essential oil: Development and effect on quality and shelf-life of chicken breast meat. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 19, n. November, p. 210–217, 2019.
- KUMAR, A.; SAINI, C. S. Edible composite bi-layer coating based on whey

- protein isolate, xanthan gum and clove oil for prolonging shelf life of tomatoes. **Measurement: Food**, v. 2, n. June, p. 100005, 2021.
- KUMAR, L. et al. Edible films and coatings for food packaging applications: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, n. 1, p. 875–900, 2022.
- KUMAR, N. et al. Effect of active chitosan-pullulan composite edible coating enrich with pomegranate peel extract on the storage quality of green bell pepper. **Lwt**, v. 138, n. July 2020, p. 110435, 2021.
- KUMAR, N.; NEERAJ. Polysaccharide-based component and their relevance in edible film/coating: a review. **Nutrition and Food Science**, v. 49, n. 5, p. 793–823, 2019.
- KUMAR, S.; MUKHERJEE, A.; DUTTA, J. Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. **Trends in Food Science and Technology**, v. 97, n. January, p. 196–209, 2020.
- LA, D. D. et al. Effects of antibacterial ZnO nanoparticles on the performance of a chitosan/gum arabic edible coating for post-harvest banana preservation. **Progress in Organic Coatings**, v. 151, n. October 2020, p. 106057, 2021.
- LEE, D. et al. Effectiveness of cellulose and chitosan nanomaterial coatings with essential oil on postharvest strawberry quality. **Carbohydrate Polymers**, v. 298, n. September, p. 120101, 2022.
- LI, C.; LIN, J. Applications and Future Trends. **Microwave Noncontact Motion Sensing and Analysis**, p. 157–202, 2013.
- LIAN, H. et al. Effect of the added polysaccharide on the release of thyme essential oil and structure properties of chitosan based film. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 23, n. 61, p. 100467, 2020.
- LIN, L. et al. Silica nanoparticles loaded with caffeic acid to optimize the performance of cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose film for meat packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 241, p. 124591, jun. 2023a.
- LIN, X. et al. A Novel Sodium Alginate-Carnauba Wax Film Containing Calcium Ascorbate: Structural Properties and Preservative Effect on Fresh-Cut Apples. **Molecules**, v. 28, n. 1, 2023b.
- LISITSYN, A. et al. Enfoques en la aplicación de proteínas animales y polisacáridos naturales para el envasado de alimentos: producción



- de películas comestibles y estimación de la calidad. **Polymers**, v. 13, n. 10, 2021.
- LIU, Y. et al. Trends in Food Science & Technology A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, n. January, p. 532–546, 2021.
- LUCAS-BAUTISTA, J. A. et al. Development of a based-chitin-chitinase nanostructured biosensor for the detection of fungal complex on papaya fruit during storage. **Microchemical Journal**, v. 197, p. 109812, fev. 2024.
- LUO, Q. et al. Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 313, n. April 2021, p. 110762, 2022.
- MA, Q. et al. Tara gum edible film incorporated with oleic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 127–133, 2016.
- MAAN, A. A. et al. Aloe vera gel, an excellent base material for edible films and coatings. **Trends in Food Science and Technology**, v. 116, n. July, p. 329–341, 2021.
- MALIK, A.; ERGINKAYA, Z.; ERTEN, H. **Health and safety aspects of food processing technologies**. [s.l.: s.n.].
- MANZOOR, S. et al. Improving the shelf life of fresh cut kiwi using nanoemulsion coatings with antioxidant and antimicrobial agents. **Food Bioscience**, v. 41, n. March, p. 101015, 2021.
- MEINDRAWAN, B. et al. Nanocomposite coating based on carrageenan and ZnO nanoparticles to maintain the storage quality of mango. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 140–146, 1 dez. 2018.
- MENDES-OLIVEIRA, G. et al. Edible and water-soluble corn zein coating impregnated with nisin for *Listeria monocytogenes* reduction on nectarines and apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 185, n. October 2021, p. 111811, 2022.
- MIHALCA, V. et al. Protein-based films and coatings for food industry applications. **Polymers**, v. 13, n. 5, p. 1–24, 2021.
- MOHAMED, M. A. et al. Effect of Casein-Based Edible Coats Embodying Sorbic and Ascorbic Acids on the organoleptic, Physicochemical and Microbiological Quality of Frozen Beef Kofta. **Journal of Applied Veterinary Sciences**, v. 8, n. 3, p. 36–45, 2023.

- 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, 2020.
- MONDÉJAR-LÓPEZ, M. et al. Polysaccharide film containing cinnamaldehyde-chitosan nanoparticles, a new eco-packaging material effective in meat preservation. **Food Chemistry**, v. 437, p. 137710, mar. 2024.
- MOTAMEDI, E. et al. Performance of carnauba wax-nanoclay emulsion coatings on postharvest quality of 'Valencia' orange fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 170–178, out. 2018.
- MULLER, J.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A. Combination Of Poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging. **Materials**, v. 10, n. 8, p. 1–22, 2017.
- NASRIN, T. A. A. et al. Effect of novel coconut oil and beeswax edible coating on postharvest quality of lemon at ambient storage. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 2, n. December 2019, 2020.
- ODILA PEREIRA, J. et al. Impact of whey protein coating incorporated with Bifidobacterium and Lactobacillus on sliced ham properties. **Meat Science**, v. 139, n. October 2017, p. 125–133, 2018.
- OLIVEIRA, V. R. L. et al. Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, v. 259, p. 55–64, 2018.
- PALANISAMI, M. et al. Excellent enzymeless anti-oxidant sensor for fruit juice and wine using nano gold/metal selenide urchins decorated 2D-composite. **Microchemical Journal**, v. 183, p. 108078, dez. 2022.
- PELLÁ, M. C. G. et al. Effect of gelatin and casein additions on starch edible biodegradable films for fruit surface coating. **Food Chemistry**, v. 309, n. October 2019, p. 125764, 2020.
- PELLICER, E. et al. Advances in applications of industrial biomaterials. **Advances in Applications of Industrial Biomaterials**, p. 1–214, 2017.
- PEREIRA, L. A. S. et al. Antimicrobial zein coatings plasticized with garlic and thyme essential oils. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1–14, 2019.
- PÉREZ-CÓRDOBA, L. J. et al. Applying gelatine:chitosan film loaded with nanoemulsified garlic essential oil/ $\alpha$ -tocopherol as active packaging

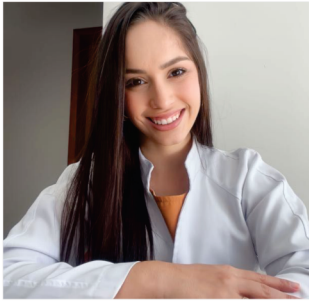
- of sliced Omega-3-rich mortadella. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 57, n. 10, p. 6378–6388, 2022.
- PIRSA, S.; SHAMUSI, T. Intelligent and active packaging of chicken thigh meat by conducting nano structure cellulose-polypyrrole-ZnO film. **Materials Science and Engineering C**, v. 102, n. February, p. 798–809, 2019.
- PRAKASH, A.; BASKARAN, R.; VADIVEL, V. Citral nanoemulsion incorporated edible coating to extend the shelf life of fresh cut pineapples. **Lwt**, v. 118, n. November, p. 108851, 2020.
- PRASEPTIANGGA, D. et al. Mechanical and Barrier Properties of Semi Refined Kappa Carrageenan-based Composite Edible Film and Its Application on Minimally Processed Chicken Breast Fillet. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 333, n. 1, 2018.
- PUNIA, S. et al. Food Bioscience Development of starch-based films reinforced with cellulosic nanocrystals and essential oil to extend the shelf life of red grapes. **Food Bioscience**, v. 47, n. February, p. 101621, 2022.
- PUSCASELU, R.; GUTT, G.; AMARIEI, S. The use of edible films based on sodium alginate in meat product packaging: An eco-friendly alternative to conventional plastic materials. **Coatings**, v. 10, n. 2, 2020.
- RIBEIRO, A. M.; ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F. Preparation and Incorporation of Functional Ingredients in Edible Films and Coatings. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 2, p. 209–231, 2021.
- RIBEIRO, I. S. et al. Sustainable innovations in edible films and coatings: An overview. **Trends in Food Science & Technology**, v. 143, p. 104272, 2024.
- ROMÃO, S.; BETTENCOURT, A.; RIBEIRO, I. A. C. Novel Features of Cellulose-Based Films as Sustainable Alternatives for Food Packaging. **Polymers**, v. 14, n. 22, 2022.
- ROY, S. et al. Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 239, n. March, 2023.
- ROY, S.; PRIYADARSHI, R.; RHIM, J. W. Gelatin/agar-based multifunctional

- film integrated with copper-doped zinc oxide nanoparticles and clove essential oil Pickering emulsion for enhancing the shelf life of pork meat. **Food Research International**, v. 160, p. 111690, 2022.
- SAID, N. S.; HOWELL, N. K.; SARBON, N. M. A Review on Potential Use of Gelatin-based Film as Active and Smart Biodegradable Films for Food Packaging Application. **Food Reviews International**, v. 39, n. 2, p. 1063–1085, 2023.
- SAID, N. S.; SARBON, N. M. Physical and Mechanical Characteristics of Gelatin-Based Films as a Potential Food Packaging Material: A Review. **Membranes**, v. 12, n. 5, 2022.
- SAMPAIO, I. et al. Trends in Food Science & Technology Sustainable innovations in edible films and coatings : An overview. v. 143, n. August 2023, 2024.
- SGANZERLA, W. G. et al. Application in situ of biodegradable films produced with starch, citric pectin and functionalized with feijoa (*Acca sellowiana* (Berg) Burret) extracts: An effective proposal for food conservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 189, n. June, p. 544–553, 2021.
- SHARMA, A. et al. Commercial application of cellulose nano-composites – A review. **Biotechnology Reports**, n. 2018, p. e00316, 2019.
- SHOJAEI-ALIABADI, S. et al. Characterization of κ-carrageenan films incorporated plant essential oils with improved antimicrobial activity. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, n. 1, p. 582–591, 2014.
- SIDDIQUI, S. A. et al. Consumer behavior towards nanopackaging - A new trend in the food industry. **Future Foods**, v. 6, n. June, p. 100191, 2022.
- SIERRA, S. et al. Scientia Horticulturae Application of polysaccharide-based edible coatings to improve the quality of zucchini fruit during postharvest cold storage. v. 314, n. February, 2023.
- SIQUEIRA, L. DO V. et al. Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 122–130, abr. 2021.
- SONG, D. et al. Coatings-11-01344-V2.Pdf. 2021a.
- SONG, J. et al. Prolamin-based complexes: Structure design and food-related applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 2, p. 1120–1149, 2021b.

- SOUSA, M. S. DE et al. and Future. p. 1–19, 2023.
- SUHAG, R. et al. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. **Food Research International**, v. 136, n. March, p. 109582, 2020.
- SUSMITA DEVI, L. et al. Carnauba wax-based composite films and coatings: recent advancement in prolonging postharvest shelf-life of fruits and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, v. 129, n. August, p. 296–305, 2022.
- TAPIA-HERNÁNDEZ, J. A. et al. Zein-polysaccharide nanoparticles as matrices for antioxidant compounds: A strategy for prevention of chronic degenerative diseases. **Food Research International**, v. 111, n. 2017, p. 451–471, 2018.
- THAKUR, R. et al. Characterization of rice starch- $\lambda$ -carrageenan biodegradable edible film. Effect of stearic acid on the film properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 93, p. 952–960, 2016.
- THUPPAHIGE, V. T. W.; KARIM, M. A. A comprehensive review on the properties and functionalities of biodegradable and semibiodegradable food packaging materials. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2021.
- TONG, W. Y. et al. Development of sodium alginate-pectin biodegradable active food packaging film containing cinnamic acid. **Chemosphere**, v. 336, n. May, p. 139212, 2023.
- ULLOA-SAAVEDRA, A. et al. Recent Developments and Applications of Nanosystems in the Preservation of Meat and Meat Products. **Foods**, v. 11, n. 14, p. 1–22, 2022.
- UMARAW, P. et al. Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 98, n. August 2019, p. 10–24, 2020.
- VIEIRA, A. C. F. et al. Active coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and silver nanoparticles to extend the papaya (*Carica papaya* L.) shelf life. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 489–498, 2020.
- WANTAT, A.; SERAYPHEAP, K.; ROJSITTHISAK, P. Effect of chitosan coatings supplemented with chitosan-montmorillonite nanocomposites on postharvest quality of ‘Hom Thong’ banana fruit. **Food Chemistry**, v.

- 374, n. December 2021, p. 131731, 2022.
- WU, J. et al. Enhanced physico-mechanical, barrier and antifungal properties of soy protein isolate film by incorporating both plant-sourced cinnamaldehyde and facile synthesized zinc oxide nanosheets. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 180, n. December 2018, p. 31–38, 2019.
- WU, X. et al. Effect of Fatty Acids with Different Chain Lengths and Degrees of Unsaturation on Film Properties of Potato Starch-Fatty Acids Films for Chicken Packaging. **Food Biophysics**, v. 18, n. 3, p. 457–469, 2023.
- XIAO, Y. et al. Development and evaluation of soy protein isolate-based antibacterial nanocomposite films containing cellulose nanocrystals and zinc oxide nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, v. 106, n. February, p. 105898, 2020.
- XIN, Y. et al. Application of Whey Protein-Based Emulsion Coating Treatment in Fresh-Cut Apple Preservation. **Foods**, v. 12, n. 6, 2023.
- YAN, X. et al. Preparation of starch-palmitic acid complex nanoparticles and their effect on properties of the starch composite film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 251, n. August, p. 126154, 2023.
- YILDIRIM-YALÇIN, M.; ŞEKER, M.; SADIKOĞLU, H. Effect of grape derivatives and cross-linked maize starch coatings on the storage life of strawberry fruit. **Progress in Organic Coatings**, v. 167, n. April, 2022.
- YONG, Y. et al. A curcumin-crosslinked bilayer film of soy protein isolate and chitosan with enhanced antibacterial property for beef preservation and freshness monitoring. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 247, n. May, p. 125778, 2023.
- YOUSEF, A. R.; ABDEL-MONIEM, E. A.; SH MAHMOUD, T. M. Edible coating of soy protein or gelatin as a carrier of thyme oil for maintaining quality of “Barhee” dates fruits during cold storage. **Plant Archives**, v. 20, n. 2, p. 9311–9322, 2020.
- YOUSUF, B.; SRIVASTAVA, A. K. Impact of honey treatments and soy protein isolate-based coating on fresh-cut pineapple during storage at 4 °C. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, n. July, p. 100361, 2019.
- YOUSUF, B.; SRIVASTAVA, A. K.; AHMAD, S. Application of natural fruit

- extract and hydrocolloid-based coating to retain quality of fresh-cut melon. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 10, p. 3647–3658, 2020.
- YOUSUF, B.; SUN, Y.; WU, S. Lipid and Lipid-containing Composite Edible Coatings and Films. **Food Reviews International**, v. 38, n. S1, p. 574–597, 2022.
- 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 in Food Science and Technology**, v. 108, n. March 2020, p. 245–257, 2021.
- YUAN, G.; CHEN, X.; LI, D. **Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems**. [s.l.] Elsevier B.V., 2016. v. 89
- YUAN, L. et al. Janus biopolymer nanocomposite coating with excellent antibacterial and water/oxygen barrier performance for fruit preservation. **Food Hydrocolloids**, v. 149, n. October 2023, p. 109528, 2024.
- ZHANG, A. et al. Enhancing physicochemical, antimicrobial, and release properties of fish skin gelatin films using dual-layer nanoparticles loaded with tea polyphenols/kojic acid for air-dried chicken preservation. **Food Hydrocolloids**, v. 149, p. 109580, abr. 2024.
- ZHANG, B. et al. Effect of sodium alginate-agar coating containing ginger essential oil on the shelf life and quality of beef. **Food Control**, v. 130, p. 108216, 2021.
- ZHANG, W. et al. Effective strategies of sustained release and retention enhancement of essential oils in active food packaging films/coatings. **Food Chemistry**, v. 367, n. June 2021, p. 130671, 2022.
- ZHANG, W.; JIANG, W. Antioxidant and antibacterial chitosan film with tea polyphenols-mediated green synthesis silver nanoparticle via a novel one-pot method. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 155, n. xxxx, p. 1252–1261, 2020.



**ANDRESSA RAFAELLA DA SILVA BRUNI**

Graduada em Engenharia de Alimentos (2014-2018) pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) e Mestra em Tecnologia de Alimentos (2019-2021) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Atualmente é doutoranda em Ciência de Alimentos na Universidade Estadual de Maringá (UEM) (2021-2024) e professora do Instituto Federal do Paraná (IFPR) campus Pitanga.



**OSCAR DE OLIVEIRA SANTOS JUNIOR**

Graduação em Química Licenciatura e Bacharelado (2001-2005) pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), Especialista (2006-2007) em controle de qualidade de produtos animais pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Mestre (2008-2010) e Doutor (2010-2013) em Ciências pela UEM, na área de concentração Química Analítica. Atualmente é professor e pesquisador no Departamento de Química UEM e bolsista produtividade nível 2-CNPq. Líder do grupo de pesquisa APLEA/CNPq com inserção internacional entre Brasil- Portugal, com intercâmbio constante de acadêmicos.



**ELOIZE ALVES DA SILVA**

Graduada em Tecnologia de Alimentos (2016-2018) e Mestra em Ciência de Alimentos (2019-2021) pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Atualmente é doutoranda (2021-2024) em Ciência de Alimentos na mesma instituição.



**ELTON GUNTENDORFER BONAFE**

Graduado em Química-Licenciatura (2005-2008) pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), mestre (2009-2010) e doutor (2010-2013) em Química Analítica pela mesma instituição. Atualmente é professor associado da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Apucarana.



Levando-se em consideração o expressivo aumento da demanda dos consumidores por alimentos seguros e de alta qualidade aliado a grande preocupação ambiental causada pelo descarte de materiais de embalagens plásticas, surge a necessidade de embalagens ativas e sustentáveis como os filmes e revestimentos biodegradáveis. Tais sistemas de embalagens são produzidos através de biopolímeros como proteínas, polissacarídeos e lipídeos, que podem proporcionar aumento de vida útil aos alimentos perecíveis de origem animal e vegetal. Para melhores propriedades de filmes/ revestimentos, ingredientes ativos são adicionados em suas formulações através do uso da nanotecnologia. Esses materiais, em escala manométrica, podem fornecer propriedades antioxidantes, antimicrobianas, sensoriais e nutricionais, aprimorando as características e estendendo a vida útil dos produtos embalados. Assim, esta obra discute o papel das embalagens alimentícias, seus principais precursores provenientes da natureza (polissacarídeos, proteínas e lipídeos), as aplicações desses materiais em vegetais e produtos cárneos, as principais inovações em nanotecnologia encontradas nessa área, bem como as implicações que limitam o uso desses materiais em escala industrial.