

Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais

Edible films and coatings: concept, application, and use in post-harvested fruits and vegetables

Películas y recubrimientos comestibles: concepto, aplicación y uso postcosecha de frutas y hortalizas

Recebido: 06/05/2022 | Revisado: 19/06/2022 | Aceito: 23/06/2022 | Publicado: 03/07/2022

Henriqueta Talita Guimarães Barboza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6740-8834>

Embrapa Agroindústria de Alimentos, Brasil

E-mail: henriqueta.talita@embrapa.br

Antonio Gomes Soares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5796-2516>

Embrapa Agroindústria de Alimentos, Brasil

E-mail: antonio.gomes@embrapa.br

José Carlos Sá Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2630-8815>

Embrapa Agroindústria de Alimentos, Brasil

E-mail: josecarlos.ferreira@embrapa.br

Otniel Freitas-Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7658-8010>

Embrapa Agroindústria de Alimentos, Brasil

E-mail: otniel.freitas@embrapa.br

Resumo

Até recentemente, o sabor e a aparência eram os mais importantes atributos de frutas e outros vegetais frescos, mas, atualmente, os consumidores estão mais preocupados com a segurança de alimentos e os valores nutricionais, exigindo o uso de menos produtos químicos em frutas e vegetais. Nesse contexto, muita atenção tem sido dada à busca de substâncias naturais capazes de agir como antimicrobianos e antioxidantes sendo uma alternativa aos produtos utilizados na manutenção da qualidade dos alimentos. Este aumento do interesse foi intensificado devido às preocupações sobre os recursos naturais limitados da reserva de combustível fóssil e o impacto ambiental causado pelo uso de materiais de embalagem à base de plástico não biodegradáveis. A demanda por produtos renováveis e biodegradáveis tornou-se uma estratégia importante no esforço para reduzir o impacto poluidor das embalagens no meio ambiente. Para superar este problema, pode-se utilizar uma abordagem de revestimento comestível onde os biopolímeros emergem como possíveis substitutos para materiais de embalagem à base de petróleo. Conhecidos como “plásticos verdes” ou bioplásticos eles são oriundos de polímeros biodegradáveis como amidos, celulose, alginato de sódio dentre outros, com numerosos estudos sendo conduzidos para investigar a capacidade de coberturas comestíveis afim de preservar a qualidade e prolongar a vida útil de frutas e hortaliças frescas ao agirem regulando as atividades metabólicas dos frutos além da adição de ingredientes ativos que interagem com o produto.

Palavras-chave Biopolímeros; Embalagens biodegradáveis; Conservação de alimentos.

Abstract

Until recently, taste and appearance were the most important attributes of fresh fruits and other vegetables, but nowadays, consumers are more concerned about food safety and nutritional values, demanding to use less chemicals in fruits and vegetables. In this context, much attention has been given to the search for natural substances capable of acting as antimicrobials and antioxidants, being an alternative to the products used in the maintenance of food quality. This increased interest has intensified due to concerns about the limited natural resources of the fossil fuel reserve and the environmental impact caused by the use of non-biodegradable plastic-based packaging materials. The demand for renewable and biodegradable products has become an important strategy in the effort to reduce the polluting impact of packaging on the environment. To overcome this problem, an edible coating approach can be used where biopolymers emerge as possible replacements for petroleum-based packaging materials. Known as “green plastics” or bioplastics, they are made from biodegradable polymers such as starches, cellulose, and sodium alginate, among others, with numerous studies being conducted to investigate the ability of edible toppings to preserve the quality and extend the shelf life of fresh fruits and vegetables. This is possible due to their acting by regulating the metabolic activities of the fruits and the addition of active ingredients that interact with the product.

Keywords: Biopolymers; Biodegradable packaging; Food preservation.

Resumen

Hasta hace poco tiempo, el sabor y la apariencia eran los atributos más importantes de las frutas y otras verduras frescas, pero hoy en día, los consumidores están más preocupados por la seguridad alimentaria y los valores nutricionales, exigiendo el uso de menos productos químicos en las frutas y verduras. En este contexto, se ha prestado mucha atención a la búsqueda de sustancias naturales capaces de actuar como antimicrobianos y antioxidantes, siendo una alternativa a los productos utilizados en el mantenimiento de la calidad de los alimentos. Este mayor interés se ha intensificado debido a las preocupaciones sobre los recursos naturales limitados de la reserva de combustibles fósiles y el impacto ambiental causado por el uso de materiales de embalaje a base de plástico no biodegradables. La demanda de productos renovables y biodegradables se ha convertido en una estrategia importante en el esfuerzo por reducir el impacto contaminante de los envases en el medio ambiente. Para superar este problema, se puede utilizar un enfoque de recubrimiento comestible en el que los biopolímeros surjan como posibles reemplazos de los materiales de envasado a base de petróleo. Conocidos como “plásticos verdes” o bioplásticos, están hechos de polímeros biodegradables como almidones, celulosa, alginato de sodio, entre otros, y se están realizando numerosos estudios para investigar la capacidad de los recubrimientos comestibles para preservar la calidad y prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas frescas al actuar regulando las actividades metabólicas de las frutas además de la adición de principios activos que interactúan con el producto.

Palabras clave: Biopolímeros; Embalajes biodegradable; Conservación de los alimentos.

1. Introdução

No século XXI, surgiram preocupações sobre os impactos ambientais causados pelas atividades humanas. Entre essas preocupações, destacam-se as consequências do uso de polímeros sintéticos, conhecidos como plásticos, em embalagem de alimentos (Pellá *et al.*, 2020). As questões de proteção ambiental têm sido amplamente discutidas, não apenas pelos escassos recursos naturais, mas também para atender aos regulamentos, como as presentes na legislação ambiental brasileira, considerada uma das mais completas e apropriadas do mundo (Stockler, 2019). Visando o desenvolvimento sustentável e a redução de perdas pós-colheita, a demanda por novos materiais e tecnologias que minimizem os danos ao meio ambiente aumentou consideravelmente. Os revestimentos comestíveis (RC) são inseridos nesse contexto, pois são feitos de polímeros naturais, principalmente proteínas e polissacarídeos, sendo este último aplicado extensivamente na produção de RC devido à sua comestibilidade e excelente biocompatibilidade (Jorge *et al.*, 2013; K.S. *et al.*, 2020). A qualidade, durante o período de comercialização e armazenamento, dos produtos alimentícios pode ser prejudicada por danos ambientais, fisiológicos e microbiológicos como calor, oxidação, umidade, atividade enzimática, bem como ataques de fungos, leveduras e bactérias.

A aplicação de RCs na superfície dos alimentos é um tratamento que permite aumentar a vida útil dos alimentos com pouco efeito sobre suas características originais e tem sido amplamente explorado para frutas e vegetais frescos, a fim de minimizar a perda de umidade, reduzir as taxas de respiração e dar uma aparência brilhante e atraente. Para esta finalidade, o uso de revestimentos deve ter uma vantagem econômica, aumentar a vida útil dos produtos e possibilitar o armazenamento dos mesmos sem a necessidade da atmosfera controlada, e possibilitar o armazenamento dos mesmos sem o uso de embalagens em atmosfera modificada, devido ser um método mais caro (Acevedo-Fani *et al.*, 2017; Neves Junior *et al.*, 2013). Estes revestimentos podem conter ingredientes ativos em sua composição, como: antioxidantes, antimicrobianos e flavorizantes, produtos conferindo propriedades funcionais específicas que são benéficas para o produto alimentício (Acevedo-Fani *et al.*, 2017; Arquelau *et al.*, 2019; Fratari *et al.*, 2021; Nallan Chakravartula *et al.*, 2019; Spasojević *et al.*, 2019).

Este artigo tem como objetivo apresentar a revisão, conceito, as características desejáveis dos revestimentos comestíveis, o potencial da aplicação desta tecnologia, além do uso complementar de materiais promissores para o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis a serem aplicadas em alimentos.

Conceito e tipos de revestimento comestíveis

O conceito de empregar filmes comestíveis (FCs) e revestimentos comestíveis (RCs) para alimentos remonta a década de 1950. Sua crescente aplicação é atribuível à redução da perda de umidade e ao uso de produtos químicos adversos. Qualquer

tipo de camada fina de material usado para revestir vários alimentos afim de prolongar o prazo de validade do produto e que possa ser consumido juntamente com esse alimento é considerado um RC ou FC. Recentemente, os RCs ou FCs receberam considerável atenção por suas vantagens em comparação aos filmes sintéticos. Os RCs também são eficazes como tratamento pós-colheita para preservar a qualidade dos frutos, sendo esta tecnologia muito promissora e uma das mais investigadas para manter a qualidade e estender prazo de validade dos produtos alimentícios. A boa aderência do revestimento na superfície da fruta determina a sua eficácia (Md Nor & Ding, 2020; Tavassoli-Kafrani et al., 2016).

O RC pode proteger os produtos alimentares de danos mecânicos e microbianos, prevenir a perda de voláteis favoráveis, manter a firmeza, a aparência e inibir os processos de senescência. Além disso, eles podem servir como matriz de suporte para vários compostos ativos, protegendo-os da degradação e modificações indesejadas. Eles ainda fornecem uma substituição e/ou fortificação das camadas naturais nas superfícies do produto, permitindo seletivamente a troca controlada de gases importantes, como oxigênio, dióxido de carbono e etileno, que estão envolvidos na respiração de diversos alimentos. Os materiais utilizados para esse fim podem revestir completamente os alimentos ou podem ser usados como uma camada contínua sobre os alimentos. Como esses revestimentos são baseados em materiais biodegradáveis, biocompatíveis e comestíveis, eles atendem à demanda dos consumidores por alimentos seguros, saudáveis, que satisfazem as preocupações ambientais e em muitos casos podem ser alternativa às embalagens sintéticas e aditivos antimicrobianos (Arquelau *et al.*, 2019; 2018; Nallan Chakravartula *et al.*, 2019; Valencia-Chamorro *et al.*, 2011; Yan *et al.*, 2019).

Os RCs podem ser compostos de proteínas (proteína de soro, caseína, colágeno, gelatina, zeína etc.), polissacarídeos (amidos, éteres de celulose, dextrina, pectina, quitosana, etc.) e lipídios (óleos, gorduras, ceras etc.) ou combinação destes, resultando em revestimentos aplicados como sistemas ou emulsões bicamada. Vários outros compostos aditivos, tais como plastificantes e emulsionantes, podem ser adicionados a filmes e revestimentos comestíveis para melhorar suas propriedades mecânicas e formar emulsões estáveis quando os lipídios e os hidrocolóides são combinados. Além disso, os corantes e agentes antimicrobianos também podem ser adicionados. Para obter revestimentos altamente eficazes, a solução é sintetizada e seca. Ajuste de pH e/ou aquecimento das soluções podem ser realizados dependendo da particularidade do polímero para facilitar a dispersão. O ajuste do pH é essencial pois dependendo do tipo de polímero usado, existem condições ótimas para a sua diluição na solução. Os revestimentos podem ser aplicados às frutas por imersão ou pulverização em conjunto com alguns conservantes para inibir o crescimento de microrganismos (Hassan *et al.*, 2018; Jorge *et al.*, 2013; Spasojević *et al.*, 2019).

O mais importante é que RC ou FC podem ser consumidos com segurança juntamente com os produtos embalados, sendo capazes de proteger os produtos alimentícios de danos microbianos e mecânicos. (Arnon-Rips et al., 2019; Dehghani et al., 2018; Spasojević *et al.*, 2019).

Os RCs devem atender a vários requisitos como propriedades de barreira satisfatórias para água, gases e outras substâncias de interesse; solubilidade em água e gordura; cor e aparência adequadas; propriedades mecânicas e reológicas. Outra característica fundamental para um RC é que não seja tóxico, isso é especialmente verdadeiro quando são aplicados em frutas e legumes frescos, inteiros ou minimamente processados. Produtos frescos são bem sensíveis à perda de água, que causam enrugamento, perda de turgescência e deterioração da textura, por isso precisam ter propriedades de barreira satisfatórias para água, gases e outras substâncias de interesse. Além disso, o tipo de plastificante e os aditivos também devem ser analisados, pois podem modificar as propriedades dos RCs. Diversos estudos têm sido feitos para melhorar as características físicas, mecânicas e de barreira tanto dos RC quanto dos FC, usando diferentes matrizes, como amido, quitosana, farinha e amido de banana, amido e quitosana de ervilha e bagaço de uva de vinho (Arquelau *et al.*, 2019; Nallan Chakravartula *et al.*, 2019).

Filmes comestíveis (FCs) e Revestimentos comestíveis (RCs)

O interesse em FCs e RCs produzidos a partir de biopolímeros aumentou por ser uma alternativa viável aos tradicionais plásticos produzidos à base de petróleo. Materiais comestíveis de baixo custo biocompatíveis e biodegradáveis produzidos a partir de fontes renováveis estão adquirindo relevância para a preservação de frutas minimamente processadas. Embora FCs e RCs tenham uma definição similar, há uma distinção entre eles (Dehghani *et al.*, 2018). O RC é uma fina camada de material comestível onde há a formação de filmes diretamente na superfície do produto que eles pretendem proteger ou aprimorar. Enquanto o FC é uma camada fina pré-formada, feita de material comestível, que pode ser colocado sobre ou entre os componentes dos alimentos, podendo ser usados como capas, envoltórios ou camadas de separação. A principal diferença entre estes dois sistemas alimentares é que o RC é aplicado na forma líquida no alimento, por vários métodos, incluindo imersão, revestimento e pulverização. Entre estes, a imersão é o método comumente mais usado devido à sua facilidade de manuseio. Os RCs são considerados parte do produto alimentar final e não devem conferir cor, odor, sabor, e textura adicionais ao produto revestido. Os FCs, no entanto, são preparados separadamente, sendo moldados como folhas sólidas para em seguida, serem aplicados à superfície do alimento como um invólucro nos produtos alimentícios (Eom, Chang, Lee, Choi, & Han, 2018; Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016; Valencia-Chamorro *et al.*, 2011).

Tanto os RCs como os FCs podem atuar como carreadores de agentes antimicrobianos e trazer várias vantagens em relação aos revestimentos convencionais, como melhor espalhamento, difusividade e solubilidade. O desempenho de RCs ou FCs depende dos materiais utilizados e suas principais características, visto que características como solubilidade, densidade, viscosidade, tensão superficial, entre outras, influenciarão as propriedades de barreira, as propriedades mecânicas e ópticas dos revestimentos. No entanto, a permeabilidade e propriedades mecânicas dos RCs e FCs são geralmente mais pobres do que às dos filmes sintéticos e isso limita seu uso a aplicações específicas. É importante saber que RCs e FCs não são destinados a substituir inteiramente as embalagens tradicionais, mas a adequação da proteção de alimentos pode ser melhorada através da combinação de embalagens comestíveis primárias e embalagens secundárias não comestíveis. A embalagem secundária é geralmente necessária por razões higiênicas e de manuseio. Assim, filmes e materiais de revestimento devem ser selecionados de acordo com o tipo de alimento. De maneira geral, os lipídios são usados para reduzir a transmissão de água; polissacarídeos para controlar a difusão de oxigênio e outros gases, enquanto filmes a base de proteína fornecem estabilidade mecânica (Costa *et al.*, 2018; Dehghani *et al.*, 2018; Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016).

Polissacarídeos e proteínas são as matrizes hidrocoloides mais investigadas que estão sendo exploradas atualmente para a produção de FCs e RCs. Os polissacarídeos estão amplamente disponíveis e geralmente são baratos. Devido à presença de grande número de grupos hidroxila e outros grupos polares em sua estrutura, as ligações de hidrogênio têm função crucial na formação do filme e nas características finais. Há gomas sem carga (neutras) e gomas carregadas negativamente, como alginato, pectina e carboximetilcelulose (CMC), que dependendo do pH, tendem a ter propriedades diferentes. As proteínas utilizadas para formação de RC ou FC são derivadas de animais (por exemplo, caseína, proteína de soro concentrado ou isolado, de soro de leite e isolado, colágeno, gelatina e albumina de ovo) ou plantas (por exemplo, milho, soja, trigo, semente de algodão, amendoim e arroz). O principal mecanismo de formação de filmes proteicos inclui a desnaturação da proteína iniciada pelo calor, solventes ou mudança no pH, seguida pela associação de cadeias peptídicas através de novas interações intermoleculares. Estes filmes aderem bem às superfícies hidrofílicas da fruta e podem fornecer barreiras para a difusão de oxigênio e dióxido de carbono, ao mesmo tempo em que não impedem a difusão da água. Ao contrário dos polissacarídeos e proteínas, os lipídios não são biopolímeros e não são capazes de formar filmes coesivos. Portanto, eles são usados como revestimentos ou incorporados em biopolímeros para formar filmes compostos, proporcionando melhor barreira ao vapor de água, devido à sua baixa polaridade. (Dehghani *et al.*, 2018; Spasojević *et al.*, 2019; Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016).

Ser comestível e biodegradável são as características mais benéficas dos RCs e FCs. Para serem comestíveis, todos os

componentes utilizados, incluindo biopolímeros, plastificantes e outros aditivos, precisam ter grau alimentício. Enquanto isso, todos os processos e equipamentos devem ser adequados para processamento de alimentos. Para ser considerado como biodegradáveis, a toxicidade e segurança ambiental dos RC e FC devem ser avaliadas por protocolos analíticos padrão (Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016).

Potencial dos nanomateriais na melhoria das propriedades dos revestimentos comestíveis

A incorporação de nanomateriais nos RCs tem sido utilizada afim de melhorar a resistência, as capacidades de barreira e outros desempenhos de conservação de RC à base de biopolímeros. Entre as nanopartículas, o óxido de zinco (ZnO) é uma das importantes nanopartículas que tem sido muito considerada devido às suas propriedades ópticas favoráveis, alta estabilidade, propriedades antimicrobianas e não tóxicas (Sani *et al.*, 2019). O zinco, considerado um micronutriente essencial, é extensivamente utilizado como um complemento nutricional para a saúde humana. Devido às propriedades únicas, as Nano-ZnO são consideradas o agente antibacteriano e antibiótico em nanoescala mais promissor em amplas aplicações. Devido a sua biocompatibilidade e o fato de não possuir riscos possíveis para a saúde pública, o zinco foi incluído com segurança nos materiais de revestimento de alimentos (K.S. *et al.*, 2020; Md Nor & Ding, 2020).

A celulose nanocristalina (CNC) é composta por nanopartículas em forma de bastonete e pode ser denominada por nanocristais. A CNC pode ser obtida a partir do aproveitamento de resíduos agroindustriais constituído principalmente de polissacarídeos de paredes celulares de plantas, como a celulose, pode ser uma interessante fonte de partículas celulose. Ela pode ser preparada a partir da polpa de madeira através de hidrólise ácida controlada. Se utilizar ácido sulfúrico, a CNC adquire cargas negativas, evitando a agregação das partículas. A suspensão do CNC é muito estável ao longo do tempo. Esses nanocristais de celulose são caracterizados por um diâmetro médio de 5–10 nm e um comprimento médio de cerca de 100 nm. A CNC possui propriedades muito interessantes, como natureza renovável, baixa densidade, superfície de reação grande e altamente reativa que pode ser usada para enxertar grupos específicos (Elanthikkal *et al.*, 2010; Huq *et al.*, 2012). Recentemente, o CNC tem sido amplamente utilizado como um agente de nano reforço devido às suas fontes amplas e baixo custo, excelente compatibilidade e biodegradabilidade, alta atividade de superfície e cristalinidade, propriedades mecânicas e térmicas superiores (Ma *et al.*, 2008; Rico *et al.*, 2016). A eficácia deste aumento está associada à natureza do polímero (celulose) tal como a cristalinidade e as características da interface fibra/matriz (Chuayjulit *et al.*, 2010). Deste modo fica claro que a incorporação deste tipo de ingrediente pode permitir o aprimoramento das propriedades em filmes biodegradáveis de forma que a reutilização de resíduos além de representar uma diminuição de descarte agroindustrial, representa uma opção mais econômica para a indústria realizar a substituição de ingredientes na formulação de produtos (Cerqueira *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2010).

RC em frutas e hortaliças

A qualidade e armazenamento dos produtos alimentícios podem ser prejudicados por danos ambientais, fisiológicos e microbiológicos. Estes incluem calor, oxidação, umidade, atividade enzimática, bem como ataques de fungos, leveduras e bactérias. Todos os itens acima resultam em perdas significativas de alimentos e desperdício em toda a cadeia de suprimentos pós-colheita. A tecnologia de RC tem sido utilizada comercialmente pela indústria para prolongar a vida de prateleira de frutas e vegetais frescos. Barreiras suficientes para a água e O₂ e CO₂, adesão uniforme na superfície do produto, aparência atraente e outras qualidades sensoriais são essenciais para revestimentos de produtos frescos. Revestimentos comestíveis também podem atuar como transportador de substâncias funcionais antimicrobianas, antioxidantes e outras para melhorar ainda mais sua funcionalidade para garantir a segurança alimentar e melhorar a estabilidade, propriedades sensoriais e nutricionais de produtos frescos (Hamedi *et al.*, 2017; Zhao, 2019).

RCs são amplamente utilizados para manter a qualidade e a vida útil de muitos produtos hortícolas podendo proteger o produto quanto a danos mecânicos e microbianos, prevenir a fuga de compostos voláteis favoráveis, inibir os processos de senescência e manter aparência mais natural e fresca possível. Os compostos utilizados São principalmente derivados de materiais alimentícios que geralmente reconhecidos como seguros (GRAS) e incluem celulose, proteínas, amidos e outros polissacarídeos. Eles funcionam como membranas semipermeáveis que restringem o movimento de gases e vapor de água para reduzir a taxa de respiração e a perda de água da fruta. Devido à sua barreira e propriedades mecânicas, podem reduzir a taxa de degradação pós-colheita fisiológica. Além disso, devem ser estáveis a alta umidade relativa (UR) e ter boa adesão à fruta. Dentre as propriedades mais importantes dos frutos revestidos estão a densidade sólida superficial e a resistência ao vapor de água. (Andres Galindez et al., 2019; Basiak et al., 2019; Hamedí *et al.*, 2017; Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016; Thakur *et al.*, 2019).

Os RCs têm que cumprir vários requisitos. Isto é especialmente importante para RCs aplicados em frutas e legumes frescos, sejam inteiros ou minimamente processados.

Durante o transporte e armazenamento pós-colheita, os produtos frescos (frutas e vegetais) passam por deteriorações de qualidade, possuindo diversas reações fisiológicas, como a respiração pós-colheita, amadurecimento, elevação da produção de etileno e conseqüentemente senescência. Essas reações estão diretamente associadas ao ambiente circundante, incluindo temperatura, oxigênio, umidade e luz. Dependendo da natureza fisiológica, composição química e estrutura da superfície das frutas e vegetais, estas reações pós-colheita podem levar rapidamente perda de textura, cor e nutrientes do produto. Enquanto isso, o crescimento microbiano pode ocorrer, especialmente naqueles produtos altamente perecíveis. Embora o armazenamento de refrigeração tenha sido o método mais eficaz e facilmente controlável para estender o prazo de validade de produtos frescos, verifica-se que por si só não é suficiente para comercialização de produtos tropicais para mercados longínquos. Portanto, outras abordagens e estratégias foram estudadas e desenvolvidas para atingir os objetivos. Entre eles, a tecnologia de RC que tem sido aplicada de forma ampla e bem sucedida como tecnologia pós-colheita econômica e ecologicamente correta para frutas e vegetais frescos (Zhao, 2019). Frutas e legumes continuam seu processo de respiração mesmo após a colheita, portanto, os RCs precisam ter propriedades de permeabilidade de gás balanceadas e precisas para troca normal de CO_2/O_2 . A permeabilidade ao gás é então parâmetro importante para revestimentos em relação a frutas e vegetais frescos. Os revestimentos comestíveis precisam proporcionar equilíbrio delicado entre a inibição dos processos de maturação excessiva e senescência ao retardar a troca gasosa, permitindo assim a respiração normal para evitar o desenvolvimento de condições anaeróbicas adversas que levam à fermentação alcoólica e sabores estranhos. Os principais parâmetros que afetam as propriedades de troca gasosa de revestimentos comestíveis são: (1) permeabilidade que pode ser ajustada por disposição espacial adequada de componentes de revestimento e (2) espessura que é ajustada pela concentração dos componentes. Por outro lado, os produtos frescos são muito sensíveis à perda de água, o que causa a enrugamento, perda de frescor e deterioração. Por essa razão, os RCs precisam ter permeabilidade limitada ao vapor de água para inibir a perda de umidade. Além disso, os produtos hortícolas são mais propensos a danos microbianos, o que torna interessante a utilização de produtos que possuam atividade antimicrobiana. A adesão a frutas e vegetais que possuem superfícies naturalmente enceradas, e, portanto, hidrofóbicas, é outro desafio adicional ao aplicar revestimentos baseados em hidrocolóides. Os RCs compostos de dois ou mais componentes são desenvolvidos para aproveitar as propriedades funcionais complementares dos materiais constituintes, e para superar suas respectivas desvantagens (Arnon-Rips & Poverenov, 2018; Basiak *et al.*, 2019; Hamedí *et al.*, 2017).

Para desenvolver um RC eficaz para fornecer a barreira apropriada de água e gás, hidrofobicidade, molhabilidade e atraente qualidade organoléptica para frutas e vegetais frescos, vários fatores-chave devem ser considerados no projeto do sistema de revestimento. O desenvolvimento da formulação de revestimento eficaz deve basear-se em duas abordagens clássicas; (a) abordagem de ciência dos materiais e (b) a aplicação de material de revestimento na superfície da fruta. A

abordagem materialista inclui dois eventos adicionais; (i) biopolímero para gel de conversão, e (ii) gel para formação de película fina. Estes eventos estão inter-relacionados, tornando particularmente importante compreender o comportamento do material de revestimento antes da aplicação à superfície da fruta. A formulação desenvolvida deve ser avaliada em termos de suas propriedades independentes que incluem a espessura do filme, solubilidade, umidade, permeabilidade ao vapor de água, propriedades de barreira ao oxigênio, transparência, cor, resistência à tração, alongamento na ruptura, módulo elástico e características antimicrobianas. Para ter boa adesão, a viscosidade, densidade e tensão superficial da formulação de revestimento devem ser ajustadas a uma tensão superficial e rugosidade de produto alimentício específico (Hamedi *et al.*, 2017; Thakur *et al.*, 2019; Zhao, 2019).

Além disso, existem outros fatores que devem ser considerados, tais como:

- Natureza fisiológica do produto, como a respiração e as taxas de produção de etileno, de modo que os revestimentos tenham propriedades apropriadas de barreira à água e ao gás;
- Morfologia da superfície, tensão superficial e molhabilidade do produto, pois impacta diretamente a adesão de revestimentos na superfície do produto, que por sua vez afeta a durabilidade, uniformidade e aparência dos revestimentos;
- Condições ambientais circundantes, especialmente temperatura e umidade relativa. Tais condições podem exigir diferentes propriedades hidrofóbicas e estabilidade dos revestimentos;
- Qualidade sensorial dos revestimentos. Em geral, os revestimentos comestíveis formados devem ser incolores, inodoros e invisíveis;
- Para manter a comestibilidade, todos os componentes formadores de revestimento, bem como quaisquer aditivos funcionais na formulação de revestimento, devem apresentar grau alimentício, não tóxicos, e todas as instalações de processos devem atender a altos padrões de higiene e;
- Liberação controlável das substâncias funcionais adicionais (isto é, substâncias antimicrobianas e antioxidantes) nos revestimentos, uma vez que alguns produtos frescos requerem controle específico sobre microrganismos e oxidação (Zhao, 2019).

Classificação dos revestimentos comestíveis

Os RCs podem ser geralmente classificados de acordo com seu material estrutural: proteínas, polissacarídeos, lipídios ou compósitos. Estes últimos compreendem componentes hidrocolóides e lipídios, aumentando assim as vantagens e diminuindo as desvantagens de cada um. Um revestimento compósito pode ser produzido como uma camada dupla ou emulsão estável. Uma vez que um único material muitas vezes não possui numerosos requisitos, faz-se necessário estudo para identificação de determinada combinação de compostos para formação de RC. A principal vantagem dos compostos como potenciais materiais de embalagem de alimentos é a sua biodegradabilidade. As proteínas mais usadas como filmes comestíveis e revestimentos são colágenos, gelatina, caseína, proteína de soro de leite, zeína de milho, glúten de trigo, proteína de soja, proteína de clara de ovo, proteína miofibrilar, proteína quinoa e queratina. Amido, celulose e seus derivados, pectina, quitosana, alginato, carragena, pululana e goma de gelano são os principais materiais polissacarídeos testados como materiais de embalagem comestíveis. Plastificantes são agentes de baixo peso molecular que são incorporados em materiais formadores de filme para diminuir as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas, o que resulta em maior flexibilidade, alongamento e tenacidade do filme. No entanto, eles também podem aumentar a permeabilidade do filme. Os plastificantes usados para filmes e revestimentos comestíveis incluem sacarose, glicerol, sorbitol, propilenoglicol, polietilenoglicol, ácidos e monoglicéridos. A água também atua como plastificante para filmes comestíveis de polissacarídeo e proteína. Assim, o

conteúdo de umidade do filme, afetado pela umidade relativa, tem grande efeito nas propriedades do filme. Emulsificantes ou surfactantes são agentes tensoativos de natureza anfifílica que interagem na interface água-lipídio e reduzem a tensão superficial entre as fases dispersas e contínuas para melhorar a estabilidade da emulsão. Eles também são usados para garantir boa molhabilidade superficial, espalhamento e adesão do revestimento à superfície do alimento. Os emulsificantes comuns utilizados em filmes e revestimentos são ácidos graxos, monoestearato de etilenoglicol, monoestearato de glicerol, ésteres de ácidos graxos, lecitina, éster de sacarose e polissorbatos (tweens) (Chevalier *et al.*, 2018; Hamed *et al.*, 2017; Valencia-Chamorro *et al.*, 2011).

Os biopolímeros têm múltiplos mecanismos formadores de filme, incluindo forças intermoleculares tais como ligações covalentes (por exemplo, ligações dissulfeto e reticulação) e interações eletrostáticas, hidrofóbicas ou iônicas. Para que os filmes ou revestimentos resultantes sejam comestíveis, o mecanismo de formação de filme envolvido na preparação deve ser um processo apropriado - ou seja, modificação de pH, adição de sal, aquecimento, modificação enzimática, secagem, uso de solventes para alimentos ou reações com outros produtos químicos de qualidade alimentar. O controle das condições do processo de fabricação é muito importante, pois as mudanças nas condições de tratamento podem alterar a cinética e os mecanismos de reação.

Recentemente, a maioria dos trabalhos de pesquisa do campo de materiais comestíveis tem se concentrado em filmes compostos ou multicomponentes para explorar as vantagens complementares de cada componente, bem como para minimizar suas desvantagens. Por exemplo, a fraca resistência mecânica dos lipídeos pode ser melhorada adicionando proteínas solúveis em água ou polissacarídeos (hidrocolóides), enquanto que em contrapartida os lipídeos reduzem a permeabilidade à umidade dos hidrocolóides (Chevalier *et al.*, 2018; Hamed *et al.*, 2017; Han, 2014).

Polissacarídeos

RC baseados em polissacarídeos ganharam mais interesse na conservação de alimentos, eles têm sido amplamente utilizados devido à sua abundância, custo-benefício e excelentes propriedades de formação de películas. A maioria deles não possui carga, sendo compostos neutros, embora algumas gomas sejam carregadas negativamente, devido à presença de um grande número de hidroxilas e outros grupos polares em sua estrutura. As gomas são uma classe de polímeros naturais de polissacarídeos/carboidratos derivados de fontes renováveis, capazes de se hidratar na água e formar um gel ou estabilizando os sistemas de emulsão. A presença de ligações de hidrogênio têm uma função crucial na formação e nas características finais dos filmes. No caso das gomas com carga negativa, como alginato, pectina e carboximetilcelulose (CMC), estas tendem a ter propriedades diferentes, dependendo do pH do meio (Dehghani *et al.*, 2018; Tahir *et al.*, 2019; Thakur *et al.*, 2019), como pode ser visto na Tabela 1 (Hamed *et al.*, 2017; Hassan *et al.*, 2018).

Tabela 1 - Principais hidrocolóides utilizados para a formação de filmes e revestimentos comestíveis.

TIPO DE HIDROCOLÓIDE	PRINCIPAL FUNÇÃO
Polissacarídeo	
Agar (E406)	Agente gelificante
Alginato (E400-404)	
Carragena (E 407)	
Carboximetil celulose (E466)	Espessante
Hidroxipropil celulose (E463)	Espessante e emulsificante
Hidroxipropil celulose (E464)	Espessante
Metil celulose (E461)	Espessante, emulsificante e agente gelificante
Quitosana	agente gelificante e antimicrobiano
Goma arábica (E414)	Emulsificante
Goma de gar (E412)	Espessante
Goma xantana (E415)	Espessante
Pectina (E440)	agente gelificante
Amido	Espessante e agente gelificante
Proteína	
Gelatina de bovina	Agente gelificante
Gelatina de peixe	
Gelatina de porco	
Proteína de soro	–

Fonte: Adaptado de (Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh, & Masoudpour-Behabadi, 2016).

Alguns biopolímeros, como a quitosana, possuem efeito antimicrobiano. Os polissacarídeos não geram reações alergênicas e geralmente se dissolvem na água, tendo frequentemente boas propriedades mecânicas como a celulose, amido (nativo e modificado), extratos de algas marinhas (alginatos, carragena e ágar). Como os polissacarídeos são geralmente muito hidrofílicos, eles não se comportam bem como barreiras à umidade, contudo eles têm permeabilidade seletiva para O₂ e CO₂ e resistem à migração de lipídios. Uma vantagem notável nos polissacarídeos é sua estrutura química definida para cada unidade monomérica. Isso permite prever e controlar as propriedades do revestimento. Embora os revestimentos de polissacarídeos possam não fornecer boa barreira de vapor de água, eles podem atuar como “agentes de sacrifício” retardando a perda de umidade dos produtos alimentícios, adicionando umidade na superfície que é perdida primeiro. A Tabela 2 exibe alguns resultados obtidos a partir de trabalhos que foram desenvolvidos em frutas, utilizando RC ou FC.

Tabela 2 - Resultados obtidos em trabalhos desenvolvidos com RC e FC em frutas.

ALIMENTO	POLÍMERO	CARACTERÍSTICAS DOS RC E FC	TEMPO DE ARMAZENAMENTO	AUTOR
Morango	Alginato de sódio	Atóxico, biodegradável, biocompatibilidade, baixo preço, solúvel em água, propriedade antimicrobiana e de barreira de óleo e formação de filmes transparentes.	15 dias com revestimento em comparação com os 10 dias sem revestimento	Jorge <i>et al.</i> , 2013
Banana	Quitossana	Atóxico, biodegradável no corpo humano, propriedades antimicrobianas contra bactérias, fungos e leveduras.	RC de quitossana prolongou a vida útil de bananas acima de 30 dias.	Soradech <i>et al.</i> , 2017
Caqui minimamente processado	Carboxi-metilcelulose (CMC)	Atóxico, biocompatível, biodegradável, hidrofílico, boa capacidade de formação de película.	CMC apresentou a maior relação CO ₂ /O ₂ e a menor permeabilidade ao vapor de água que filmes a base de amido, gelatina e alginato de sódio	Junior <i>et al.</i> , 2012
Goiaba	Amido	Transparentes, incolores, insípidos, inodoros e propriedade barreira (permeabilidade ao O ₂ e CO ₂).	Retardou o amadurecimento de goiabas 'Pedro Sato' armazenadas por quatro dias sob refrigeração, seguidos de três dias em temperatura ambiente.	Fonseca <i>et al.</i> , 2016
Abacate e manga	Gelatina	Transparentes, flexíveis e resistentes.	Aumenta a vida útil do abacate e 10% de RC de gelatina reduz o amadurecimento das mangas.	Mannucci <i>et al.</i> , 2017
Arilos da romã	CMC e (Nano-ZnO)	Atividade antibacteriana	Nano-ZnO/CMC 0,5% (p/v), em arilos de romãs armazenadas por 12 dias a 4 °C reduziu a contagem total de microrganismos durante 12 dias de armazenamento, prolongando a vida útil de romã minimamente processada.	Koushesh Saba and Amini, 2017

Fonte: Autores.

Alginato

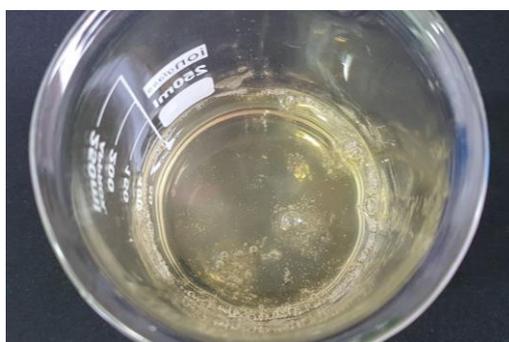
Entre os biopolímeros utilizados pela indústria alimentícia, o alginato tem sido intensamente avaliado devido às suas propriedades coloidais únicas, que incluem a estabilização da emulsão e, ao mesmo tempo, melhora da textura. O alginato é um polissacarídeo natural linear obtido de algas castanhas ou algas pardas chamadas *Phaeophyceae*, por tratamento com soluções aquosas alcalinas, tipicamente com hidróxido de sódio (NaOH). São compostos de ácido β-d- anurônico e ácido α-l- gularônico e tem capacidade de formar géis uniformes, transparentes e termo-irreversíveis à temperatura ambiente, através de ligações cruzadas com ions di- ou tri-valentes, mais comumente com íons de cálcio. O alginato é formador de filme atraente devido à sua atoxicidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade e baixo preço, além de ser solúvel em água e produzir filmes transparentes. Suas propriedades funcionais, espessamento, estabilização, suspensão, formação de filme, produção de gel e estabilização de emulsão têm sido bem estudadas (Comaposada *et al.*, 2015; Eom *et al.*, 2018; Rangel-Marrón *et al.*, 2019; Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016).

O alginato absorve a água rapidamente e é usado como ingrediente em uma variedade de indústrias de manufatura, como papel, têxtil, farmacêutico, odontológico, protético, fundição e diferentes tipos de produtos médicos, incluindo cicatrização de feridas, administração de medicamentos e materiais de engenharia de tecidos. Nas indústrias de alimentos, o alginato de sódio é usado como agente espessante para bebidas, sorvetes, cosméticos, molhos, saladas, pudins, geleias, molhos de tomate e enlatados, e como gelificante para geleias. O gel de alginato pode ser transformado em uma variedade de alimentos, manter uma boa forma coloidal e pode ser adequado para alimentos congelados e feitos pelo homem (Hamedi *et al.*, 2017). Relatos mostram que RCs feitos de alginato de sódio têm alta propriedade antimicrobiana e de barreira de óleo, sendo impermeáveis a óleos e gorduras, mas, como outros polissacarídeos hidrofílicos, apresentam alta permeabilidade ao vapor de água. No entanto, o revestimento de gel de alginato pode atuar como um agente sacrificante, onde a umidade é perdida do revestimento antes que o alimento se desidrate significativamente. RC a base de alginato também podem melhorar a adesão da massa à superfície de frutas e legumes e são boas barreiras ao oxigênio podendo retardar a oxidação lipídica em várias frutas e vegetais (Elsabee & Abdou, 2013; Ruan *et al.*, 2019). Jorge *et al.*, 2013 ao avaliarem o uso de embalagens e RC em morangos

pós-colheita verificaram que a vida de prateleira dos morangos armazenados a 5°C sem o revestimento comestível foi de 10 dias quando comparado a vida de prateleira das amostras com RC a base de alginato de sódio que alcançou 15 dias, também sob armazenamento a 5°C.

O alginato também é considerado uma fonte de fibra alimentar, garantindo, assim, uma provável redução na captação de colesterol e glicose e ajudando com doenças cardiovasculares e gastrointestinais. O alginato de sódio não possui propriedades antifúngicas ou antioxidantes quando usado como revestimento. Portanto, a incorporação de compostos antifúngicos naturais, como extratos de ervas, em filmes à base de alginato fornece uma maneira viável de melhorar sua atividade antifúngica e prolongar a vida útil de frutas e legumes (X. yu Li *et al.*, 2019). A Figura 1 apresenta o RC de alginato de sódio para aplicação em palmito de pupunha.

Figura 1 - RC de alginato de sódio.

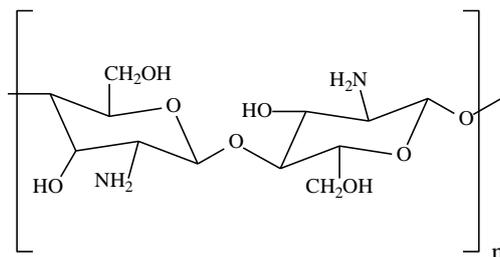


Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Quitosana

A quitosana é um polissacarídeo natural obtido a partir do exoesqueleto de crustáceos (camarão, caranguejo de garra vermelha e conchas de caranguejo), paredes celulares de fungos e outros materiais biológicos. A quitosana é um dos poucos polissacarídeos catiônicos e que exibe as propriedades químicas desejadas para aplicações em larga escala em vários campos, é atóxico, biodegradável no corpo humano, sendo material muito atrativo para RCs devido às suas propriedades antimicrobianas contra bactérias, fungos e leveduras (Costa *et al.*, 2018; Ortiz-Duarte *et al.*, 2019). A quitosana [- (1,4) -amino-2-desoxiglicopirranose] é o polímero biodegradável e biocompatível com inúmeras aplicações em diversos campos e tem sido utilizada para a produção de películas e RC. Estruturalmente, a quitosana é semelhante à celulose sendo a única diferença é o grupo hidroxila no segundo átomo de carbono da unidade de repetição hexose que é substituído com a ajuda de um grupo acetamida (Figura 2). A quitosana, o único amino polissacarídeo alcalino na natureza que é derivado da quitina, é o copolímero obtido como resultado da desacetilação da quitina pelo uso de solução alcalina, contendo (β- (1-4) -2-acetamido-d-glicose e estas unidades geralmente superiores a 80%. Em termos de grau de desacetilação, a quitosana é o polímero de importância utilizado na síntese de filmes e revestimentos, pois possui atributos antimicrobianos juntamente com sua cationicidade. A sua habilidade em formar RCs e sua atividade antimicrobiana contra amplo espectro de microrganismos faz com que seja um dos biopolímeros mais estudados. Este polímero pode formar filme em superfícies de frutas e vegetais, o que reduz as taxas de respiração, ajustando a permeabilidade do dióxido de carbono e gases de oxigênio. Além disso, os seus filmes são duradouros e altamente resistentes a tração e alongamento. A quitosana, no entanto, é insolúvel na maioria dos solventes, mas dissolvida em certa medida em solução ácida, como ácido acético, ácido láctico e ácido clorídrico. (Alcântara *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2018; Hajji *et al.*, 2018; Hassan *et al.*, 2018; Ortiz-Duarte *et al.*, 2019; Valencia-Chamorro *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2019).

Figura 2 - Estrutura da unidade monomérica da quitosana.



Fonte: Adaptado de Almeida (2018).

A quitosana tem elevada atividade antimicrobiana associada à sua natureza policatiónica com o potencial de retardar a deterioração da qualidade da fruta e prolongar o tempo de armazenamento. A presença de grupos de aminoácidos positivos, os grupos amina, reagem com a membrana celular de microrganismos negativos que causam o vazamento de proteínas e componentes intracelulares do microrganismo (Sani *et al.*, 2019). De fato, a quitosana pode reduzir a propagação de certos patógenos, reduzindo efetivamente a deterioração dos frutos durante o armazenamento com a inibição do crescimento de microrganismos e modificação da umidade interna e da atmosfera da fruta. No entanto, a sua aplicação pode ser limitada em muitos campos de pesquisa devido à sua insolubilidade em pH neutro e baixas atividades antioxidantes. Os RCs de quitosana possuem permeabilidade seletiva a gases (CO₂ e O₂) e boas propriedades mecânicas. No entanto, os filmes de quitosana apresentam elevada permeabilidade ao vapor de água, que se considera como relevante desvantagem, já que um controle efetivo da transferência de umidade é uma propriedade desejável para a maioria dos alimentos, especialmente em ambientes de armazenamento de frutas e hortaliças frescas que devem conter elevada umidade relativa (Elsabee & Abdou, 2013; Hajji *et al.*, 2018; Jiao *et al.*, 2019; Ortiz-Duarte *et al.*, 2019). Na Figura 3 podemos observar uma solução de quitosana. Soradech *et al.*, 2017 em trabalho realizado com aplicação do revestimento de quitosana verificou que este pode ser benéfico no retardo do processo de amadurecimento da banana, mantendo a qualidade e controlando a deterioração da banana com o prazo de validade de frutas de banana sendo prolongado por mais que 30 dias.

Figura 3 - Solução de quitosana.



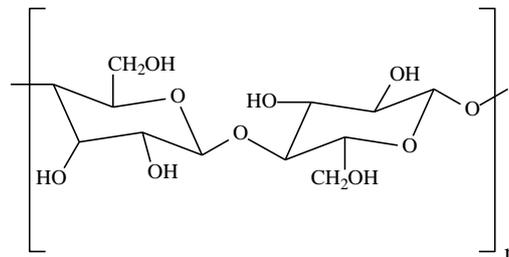
Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Celulose

A celulose é o polímero natural presente em plantas e animais, no qual ligações glicosídicas β -1, 4 estão presentes entre as unidades repetidas de D-glicose, (Figura 4). Em seus estados nativos, os grupos hidroximetila são como substitutos posicionados acima e abaixo na cadeia principal do polímero. Estes filmes e revestimentos baseados em derivados de celulose

possuem maior função de formação de película. Estes tipos de filmes/revestimentos são geralmente insípidos, flexíveis, inodoros e são de baixa energia, transparentes, resistentes ao óleo e gordura, de natureza hidrofílica, moderada difusão de oxigênio e umidade (Hassan *et al.*, 2018).

Figura 4 - Estrutura química da celulose.



Fonte: Adaptado de Da Silva *et al.*, (2006).

A celulose é um dos polissacarídeos mais abundantes existentes na natureza. Pode ser facilmente obtido e modificado para produzir grande variedade de derivados de celulose com propriedades variáveis. A celulose é o polissacarídeo mais amplamente utilizado e o componente estrutural da parede celular associado à integridade estrutural da célula. A limitação mais importante das aplicações de celulose na tecnologia de alimentos é a insolubilidade na água. Carboximetilcelulose (CMC) é um dos derivados celulósicos, composto de unidades $-CH_2-COOH$, solúveis em água com ampla variedade de aplicações em produtos alimentícios e não-alimentícios; como modificadores de viscosidade, lubrificantes, papéis, aplicações farmacêuticas e filmes comestíveis. Tem sido largamente utilizada em produtos frescos devido à sua atoxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, hidrofílicidade e boa capacidade de formação de película. Aliados a isso, a sua estabilidade gelatinosa, alta viscosidade, boa transparência, alta disponibilidade e baixo preço fazem com que a CMC seja amplamente difundida nos estudos de embalagem de alimento. Possui capacidade de formação de filme com recursos apropriados, como flexibilidade aceitável, alta viscosidade, propriedades de barreira e propriedades mecânicas adequadas, capacitando-os como veículos valiosos para fornecer os compostos bioativos aos alvos e sendo capaz de estender com sucesso o prazo de validade de alimentos com controle adequado do processo de oxidação e transferência de umidade de seus arredores. Mas, é necessário melhorar suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes. A CMC é polianiônica quando dissolvida em solução aquosa, devido ao seu substituinte carboxílico (Ebrahimi *et al.*, 2018; Mirzaei-Mohkam *et al.*, 2019; Nouri Ala & Shahbazi, 2019; Valizadeh *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2019).

Apesar da CMC ser um dos polissacarídeos mais comumente utilizados para a produção de filmes biodegradáveis devido as propriedades deste filme como: elevada transparência e resistência mecânica, os numerosos grupos hidroxila e carboxila na CMC contribuem para elevadas propriedades de ligação à água e sorção de umidade. Os RCs fornecem matriz uniforme e estável e mantem alta integridade estrutural durante o armazenamento mas, por outro lado, conferem pouco brilho (Arnon *et al.*, 2014; Bagheri *et al.*, 2019). Junior *et al.*, 2012 em seu trabalho de caracterização física e sensorial de revestimentos comestíveis aplicados ao caqui minimamente processado, determinaram a espessura, a permeabilidade ao vapor de água, oxigênio e dióxido de carbono e o módulo de elasticidade dos revestimentos. Análises sensoriais preliminares de frutas minimamente processadas tratadas com coberturas comestíveis foram realizadas. Os autores verificaram que o revestimento CMC apresentou a maior relação CO_2/O_2 e a menor permeabilidade ao vapor de água quando comparado com filmes a base de amido, gelatina e alginato de sódio. Os autores salienta que o efeito positivo da alta relação CO_2/O_2 é interessante e o revestimento CMC permitirá a permeação de CO_2 produzido pela respiração celular reduzindo o efeito de dano do CO_2 . Dentre os RC testados, a análise sensorial indicou que os revestimentos CMC foi um dos preferidos para uso em caqui

minimamente processado.

Amido

Entre estes polímeros, o amido é o material adequado para a produção em grande escala de revestimentos devido ao baixo custo, a abundância e as excelentes propriedades de formação de filmes. Enquanto as propriedades óticas (transparentes, incolores), sensoriais (sem sabor, insípidas, inodoras) e de barreira (permeabilidade ao O₂ e CO₂) os carboidratos são geralmente considerados ideais para a formação de revestimentos, suas propriedades de resistência mecânica são extremamente frágeis e requerem a adição de outros materiais, tais como lipídios e gomas, para melhorar as suas propriedades mecânicas. Muitas tentativas foram feitas para superar essas limitações, como a adição de co-biopolímeros ou outros aditivos secundários para melhorar as propriedades mecânicas e de tração dos filmes. Nesse sentido, há diferentes estudos avaliando as propriedades de filmes e revestimentos à base de amido, tanto isoladamente quanto em combinação com outros materiais. As propriedades dos filmes à base de amido podem ser influenciadas por vários fatores, incluindo tipos de amidos, temperatura e tempo durante a formação do filme, plastificantes, co-biopolímeros e condições de armazenamento (Andres Galindez *et al.*, 2019; Eom *et al.*, 2018; Thakur *et al.*, 2019). De acordo com trabalhos realizados por Fonseca *et al.*, 2016, o uso de RC à base de amido e alginato foram eficientes em retardar o amadurecimento de goiabas ‘Pedro Sato’ armazenadas por quatro dias sob refrigeração, seguidos de três dias em temperatura ambiente. As goiabas revestidas com amido de mandioca apresentaram os maiores teores de licopeno (ação antioxidante) e de β-caroteno (precursor da vitamina A no organismo humano), nos períodos de armazenamento mais prolongados, podendo-se recomendar este revestimento comestível para o armazenamento desse fruto, para que se obtenha maior retenção de importantes atributos de sua qualidade.

Os filmes à base de amido em combinação com o plastificante adequado, possui permeabilidade ao CO₂ suficientemente baixa. Em contraste, a permeabilidade ao vapor de água é relativamente alta, devido à sua hidrofília, os revestimentos à base de amido apresentam solubilidade em água sendo conseqüentemente barreira fraca. A melhoria tanto da permeabilidade ao gás como das propriedades mecânicas pode ser conseguida pela combinação de amido e proteínas de soro de leite (Basiak *et al.*, 2019). Junior *et al.*, 2012, em trabalho realizado em caqui “Mikado” minimamente processados, RC a base de amido de mandioca apresentou a menor razão de permeabilidade de CO₂/O₂ e a maior permeabilidade à água quando comparado a RC de biopolímeros diferentes, corroborando o que descreve a literatura. Foi verificado ainda que o revestimento a base de amido apresentou maior resistência. Em termos sensoriais, juntamente com RC a base de CMC, foi o preferido pelos avaliadores.

Amidos modificados têm sido utilizados para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis para embalagens de alimentos, pois apresentam melhores propriedades físicas, óticas, morfológicas, mecânicas e de barreira quando comparados aos filmes de amido nativo. O amido pode ser usado em combinação com agentes antimicrobianos para prolongar o prazo de validade dos alimentos (Sánchez-Ortega *et al.*, 2016; Theóphilo Galvão *et al.*, 2018). Coelho *et al.*, 2017 em seu trabalho com uso de RC à base de amido de mandioca associado ou não a óleo essencial de cravo-da-índia sobre a qualidade e redução de perdas por antracnose em goiabas “Pedro Sato” verificaram que o revestimento à base de amido de mandioca estendeu a vida útil da goiaba em 3 dias, sob condição ambiente. No entanto o óleo de cravo-da-índia, associado ou não ao revestimento à base de amido, não aumentou a vida útil da goiaba, porém reduziu a ocorrência de antracnose em goiabas ‘Pedro Sato’.

Pesquisas sugerem que a adição de agentes plastificantes e outros ingredientes ativos poderiam melhorar as propriedades de barreira à água dos polímeros de amido. Plastificantes são materiais importantes no desenvolvimento de RC, pois aumentam a flexibilidade e resiliência dos polímeros. Os polióis (glicerol e manitol) são os plastificantes mais compatíveis com amido. Recentemente, uma série de outros produtos naturais, como ácidos graxos, extratos de plantas naturais, extrato de chá verde, extrato de chokeberry preto, extrato de romã, compostos orgânicos, ureia, óleo de girassol e

óleos essenciais têm sido investigados como plastificantes e inibidores microbianos (Thakur *et al.*, 2019).

Proteínas

As proteínas oferecem grande variedade de propriedades físicas e mecânicas e podem, portanto, atender às necessidades específicas de diferentes produtos alimentícios. Proteínas como gelatina, caseína, proteína de soro de leite, zeína de milho, glúten de trigo, proteína de soja e proteína de amendoim são componentes frequentemente utilizados em revestimentos comestíveis. Proteínas solúveis em água tendem a formar interações iônicas ou ligações de hidrogênio em solução. RCs à base de proteínas geralmente apresentam alta permeabilidade a gases, boas propriedades mecânicas e baixas barreiras de umidade. Proteínas com baixa solubilidade em água são geralmente menos permeáveis aos vapores. Por outro lado, as proteínas têm probabilidade substancial de causar reações alergênicas que limitam seu uso (Hamedi *et al.*, 2017). As proteínas são reconhecidas como boas matrizes poliméricas e implicam excelente produção de filmes de barreira de oxigênio, aroma e óleo até condições intermediárias de umidade relativa. No entanto, a natureza hidrofílica da proteína resulta em propriedades de barreira à umidade inadequadas, como permeabilidade ao vapor de água, inchaço ou solubilidade. As características físico-químicas das proteínas são totalmente dependentes do arranjo de substituintes de aminoácidos e sua quantidade relativa ao lado da cadeia polimérica. O aumento das interações entre as cadeias de proteínas pela reticulação e adição de lipídios são as duas principais técnicas estudadas para diminuir o caráter hidrofílico dos filmes protéicos. A solução ou dispersão de proteína é usada para sintetizar filmes e revestimentos e o solvente usado para esse fim é normalmente limitado a combinações de etanol, água ou etanol-água. (Chevalier *et al.*, 2018; Hassan *et al.*, 2018).

Tipicamente, a desnaturação da proteína é feita pelo uso de ácido, base, solvente e calor para moldar os sistemas extra-prolongados que podem ser necessários para a formação do filme. Logo que prolongadas, as cadeias proteicas são ligadas através de ligações de hidrogênio, iônicas e covalentes. Posicionamento igual de grupos polares ao lado da cadeia polimérica aumenta a chance das interações necessárias. A interação cadeia-a-cadeia determina a força do filme comestível, interações mais altas produzem filmes mais fortes, mas menos permeáveis a vapores, líquidos e gases. Portanto, os RCs à base de proteínas são considerados como bloqueadores de oxigênio altamente eficazes mesmo em baixa umidade relativa (UR). Diferentes tipos de proteína têm sido usados para produzir RCs sendo compostos por proteína de soro de leite, glúten de trigo, gelatina, zeína de milho, caseína e proteína de soja (Hassan *et al.*, 2018).

Gelatina

A gelatina é um tipo de polímero natural que podem ser facilmente obtidos por uma hidrólise controlada do colágeno fibroso. Possui excelente biodegradabilidade, biocompatibilidade e boas propriedades de formação de filme com muitas aplicações industriais, farmacêuticas e biomédicas. Os revestimentos de gelatina são transparentes, flexíveis e resistentes (Neves Junior *et al.*, 2012; Nourbakhsh *et al.*, 2017). O colágeno é uma das proteínas mais abundantes do reino animal, pois é o principal componente da pele, tendões e tecidos conjuntivos dos animais vertebrados e invertebrados. A gelatina é um dos primeiros biopolímeros utilizados industrialmente para macro e microencapsulação (Yeddes *et al.*, 2020).

A gelatina é amplamente utilizada em alimentos, cosméticos, produtos farmacêuticos, aplicações médicas e tecnologias agrícolas, devido à biodegradabilidade em ambientes fisiológicos. Pode ser usado em muitas formas de filmes, micro ou nanopartículas e fibras (Nourbakhsh *et al.*, 2017). Por ser um composto proteico solúvel obtido por hidrólise parcial do colágeno, a fonte, a idade do animal e o tipo de colágeno são fatores intrínsecos que influenciam as propriedades das gelatinas. As fontes mais abundantes de gelatina são a pele de porco (46%), a pele bovina (29,4%) e a carne suína e bovina (23,1%), contudo a gelatina bovina tem sido usada como matéria-prima básica para o desenvolvimento de filmes para embalagens de alimentos. Devido a algumas limitações destas matérias-primas, relacionadas a doenças nesses animais, como a

encefalopatia espongiforme bovina, conhecida como doença da vaca louca e a febre aftosa, a indústria da gelatina vem constantemente buscando uma fonte alternativa. A gelatina produzida a partir do aproveitamento de resíduos de pescado, que constitui cerca de 40% do peso total do pescado, apresenta-se como uma boa alternativa (Daniela Cardozo Bagatini, 2017).

O uso funcional de polímeros de gelatina para sintetizar filmes ou revestimentos comestíveis foi bem documentado desde a década de 1960. Desde que se sabe que a gelatina forma filmes transparentes, flexíveis, fortes e com alta barreira a gases, tem sido amplamente utilizada em RCs e FCs. Filmes formados usando fontes de gelatina como biopolímero primário são mais desejáveis de produzir, pois exibem as propriedades mecânicas desejadas, tem baixo custo de produção, alta disponibilidade e abundância de matéria-prima, propriedades de barreira eficientes contra lipídios e capacidade de formar filmes. Além disso, a gelatina tem sido extensivamente estudada e exibe alta aplicabilidade devido às suas propriedades reológicas, biofísicas e funcionais. A qualidade da gelatina para aplicação particular depende em grande parte de suas propriedades reológicas. Além das propriedades físico-químicas básicas, como parâmetros de composição, solubilidade, transparência, cor, odor e sabor, os principais atributos que melhor definem a qualidade comercial geral da gelatina são a resistência do gel e a estabilidade térmica (gelificação e temperaturas de fusão). No entanto, os usos da gelatina em revestimentos de alimentos são limitados por suas fracas propriedades de barreira à umidade e alta capacidade de ligação à água, o que resulta em absorção de água ou dissolução dos filmes resultantes em contato com alimentos aquosos (Gómez-Guillén *et al.*, 2011; Hassan *et al.*, 2018; Nourbakhsh *et al.*, 2017; Yeddes *et al.*, 2020).

Contudo, a gelatina pode formar uma rede fisicamente reticulada nos sistemas de mistura que pode resultar películas fortes e flexíveis quando plastificado adequadamente. Por exemplo, a gelatina foi misturada com quitosana, amido, isolado de proteína de soja e carboximetilcelulose (CMC), etc. para obter um desempenho aprimorado em aplicações de embalagem. Além disso, a selabilidade térmica de filmes à base de gelatina tem sido extensivamente estudada, verificando que a gelatina geralmente apresenta melhor selabilidade térmica do que a de outros biopolímeros comuns devido à sua estrutura química inerente (Liu *et al.*, 2020).

Alcântara *et al.*, 2019, conduziram um estudo cujo objetivo era de caracterizar as propriedades da superfície de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e avaliar as propriedades de molhabilidade de revestimentos comestíveis à base de quitosana e gelatina de escamas de peixes em sua superfície, utilizando concentrações variadas de biopolímeros e plastificante, verificou-se que para revestimentos de gelatina, o aumento da concentração de biopolímero diminui a adesão e os coeficientes de espalhamento. No entanto, o uso de concentrações mais altas de plastificante também aumenta os valores de adesão e coeficientes de espalhamento para os revestimentos de gelatina. A caracterização preliminar revelou que os melhores coeficientes de espalhabilidade experimental (Ws) foram -13.565 mN / m para os revestimentos de quitosana e -10.762 mN / m para os revestimentos de gelatina.

Mannucci *et al.*, 2017 relatam trabalhos da literatura onde afirmam que revestimentos de amido de gelatina prolongaram o prazo de validade do abacate pós-colheita e 10% de revestimento de gelatina, além de retardar o amadurecimento das mangas, suprimindo a atividade das enzimas amolecedoras, permitiu a retenção de maior teor de ácido ascórbico e fenólico quando comparado ao controle.

Zeína

Zeína é uma proteína única obtida como subproduto durante o processamento de milho pelas indústrias de bioetanol e petróleo. Ela representa cerca de 44 a 79% da proteína endosperma. Devido à alta composição de aminoácidos hidrofóbicos (como leucina e alanina) e aminoácidos (ácido glutâmico, 21-26%), a zeína não se dissolve em água. É um ótimo candidato como agente de formação de filme comestível, pois possui excelente capacidade de formação de filme, boa solubilidade em etanol e compatibilidade com muitos agentes ativos naturais (Arcan *et al.*, 2017; Tsai & Weng, 2019).

Zeína tem sido amplamente investigada por suas propriedades únicas entre as proteínas tipicamente usadas para preparar filmes e revestimentos de barreira. A zeína, insolúvel em água é solúvel em misturas aquosas concentradas de etanol. Consequentemente, os filmes e revestimentos derivados dela têm baixa permeabilidade ao vapor de água em comparação com a maioria dos outros filmes de proteína comestível. Sendo insolúvel em água, filmes e revestimentos de zeína são geralmente preparados pela aplicação de solução da mesma em etanol aquoso concentrado (60-90%) a uma superfície de contato, e subsequente secagem da camada aplicada. O uso de etanol ou outros solventes orgânicos adequados para a dissolução desse biopolímero é, no entanto, indesejável em várias potenciais aplicações em alimentos, e representa desafios significativos para a saúde, a segurança e o meio ambiente em operações de larga escala. Para superar essa desvantagem, em vez de usar soluções de zeína em solventes orgânicos, filmes e revestimentos podem ser preparados a partir de dispersões de nanopartículas de zeína em água. Dispersões de partículas de zeína coloidal em água podem ser prontamente preparadas por precipitação com anti-solvente, onde a solução de zeína, geralmente em etanol aquoso é adicionada a um volume de água (Spasojević *et al.*, 2019).

RCs a base de zeína exerce melhor barreira contra a transmissão de vapor de água e componentes voláteis quando comparado com outros tipos de filmes comestíveis baseados em proteínas. Embora ela possua excelentes propriedades de formação de filme, a alta fragilidade e flexibilidade restrita limitam sua ampla aplicação como material de revestimento universal. Esse problema é mais pronunciado em condições de baixa umidade, com frutas e legumes de tamanho grande e superfície áspera. Muitos estudos foram realizados para plastificar filmes de zeína com ácidos orgânicos, açúcares, álcoois e ácidos graxos afim de melhorar a qualidade do filme de zeína (Boyacı *et al.*, 2019; Tahir *et al.*, 2019).

As características desejadas de permeabilidade ao gás de revestimentos de zeína sem agentes antimicrobianos foram exploradas para suprimir as taxas de respiração de diferentes frutas, como mangas (Boyacı *et al.*, 2019). Gol e Rao (2014) verificaram que revestimentos de Zeína e gelatina parecem ter um impacto benéfico no atraso das alterações na perda de peso, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, teor de açúcar e carotenoides totais. Os revestimentos de zeína e gelatina também resultaram na maior retenção de ácido ascórbico e conteúdo fenólico em comparação com o controle, atrasaram o amadurecimento da manga, suprimindo a atividade de enzimas amolecedoras como poligalacturonase, pectina metil esterase, celulase e β -galactosidase. Os revestimentos de zeína 5% e gelatina 10% mantiveram a maior indução das enzimas peroxidase relacionadas à defesa, seguidos pelos revestimentos de gelatina 5% e zeína 10%. Os autores concluem que a aplicação de revestimentos de zeína a 5% e gelatina a 10% pode ser utilizada para retardar o amadurecimento, manter os atributos de qualidade e prolongar a vida útil da manga durante o armazenamento.

A zeína, ainda como partículas de proteína, são frequentemente usadas para estabilizar emulsões de Pickering devido a presença de alto conteúdo de aminoácidos não polares que confere sua hidrofobicidade. Emulsões de Pickering são emulsões estabilizadas por partículas sólidas, como a zeína que é aprovada para aplicação em alimentos pelo FDA. As partículas de colóides de zeína podem ser facilmente preparadas pelo método anti-solvente (Xu *et al.*, 2020; Zhu, Li, Li, & Wang, 2020). Recentemente, tem havido uma demanda crescente pela aplicação de emulsões de Pickering em várias indústrias devido à sua vantagem combinada em termos de custo, qualidade e sustentabilidade e como emulsificantes, as proteínas são fáceis de sofrer com os estresses ambientais, como valores de pH, temperatura, forças iônicas, etc., e as emulsões estabilizadas por proteínas geralmente são desestabilizadas devido à ocorrência de floculação, coalescência e separação de fases (Lownet *al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020).

Xu *et al.*, 2020, em seu trabalho sobre os efeitos da emulsão Pickering de óleo essencial de cravo estabilizado com zeína na estrutura e propriedades de filmes comestíveis à base de quitosana, prepararam emulsões de Pickering do óleo essencial de cravo (CLO) usando partículas coloidais de zeína como estabilizador. O trabalho avaliou os efeitos da incorporação da emulsão CLO Pickering na estrutura, propriedades mecânicas, de barreira e antimicrobianas de filmes comestíveis à base de quitosana. Os autores concluíram que, as emulsões CLO Pickering com 3% p/v de zeína e 50% v/v CLO

apresentaram menor tamanho de partícula e distribuição mais uniforme. Além disso, eles verificaram que as gotículas de óleo emulsionado foram distribuídas uniformemente devido à boa compatibilidade entre a fase oleosa e a matriz de quitosana. As propriedades antimicrobianas dos filmes foram reforçadas pela incorporação da emulsão CLO Pickering e dependiam principalmente de sua concentração.

Lipídios

Os revestimentos lipídicos têm sido usados há séculos para proteger os alimentos e evitar a perda de umidade. O primeiro uso registrado foi na China no século XII em limões e laranjas. No século XVI, nos Estados Unidos, os produtos alimentícios foram revestidos com revestimentos lipídicos para controlar a perda de umidade e, posteriormente, ceras de parafina, cera de carnaúba e emulsões de óleo em água foram usadas para frutas e vegetais frescos. No século XX, os revestimentos também foram usados para evitar a perda de água e adicionar brilho às frutas e vegetais. Lipídios podem ser usados como RCs. No entanto, nos últimos anos eles têm sido usados principalmente em combinação com outros materiais, visando aumentar a hidrofobicidade dos revestimentos. De acordo com sua estrutura, eles podem ser divididos em ceras naturais e resinas, acetoglicerídios, ácidos graxos e diferentes tipos de óleos vegetais. Eles podem ser líquidos e sólidos à temperatura ambiente, e essa é a característica que influenciará a maneira como eles são usados (Chevalier *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2018).

Os compostos à base de lipídios são aplicados como película/revestimento de proteção compreendendo cera de ervas, monoglicerídeos acetilados e agentes tensoativos. Os compostos lipídicos mais simples são a parafina e a cera de abelha. RCs à base de lipídios são considerados altamente eficazes para bloquear a liberação de umidade devido à sua baixa polaridade. Normalmente, os filmes ou revestimentos feitos de lipídios são extremamente frágeis e espessos devido à sua hidrofobicidade. Com o aumento da concentração da fase de hidrofobicidade, a permeabilidade ao vapor de água diminui. Devido à sua natureza hidrofóbica, os lipídios possuem boas propriedades de barreira contra a umidade, que são importantes para evitar que produtos alimentícios se deteriorem fisiologicamente. Muitos materiais lipídicos também podem transmitir brilho atraente. Por outro lado, os lipídios apresentam baixas propriedades mecânicas e baixa adesão a produtos alimentícios com superfícies (Chevalier *et al.*, 2018; Hamedi *et al.*, 2017). Prolongar o prazo de validade de frutas cítricas frescas por meio da aplicação de lipídios é conhecido há séculos. Atualmente, a demanda do consumidor por produtos prontos para o consumo com maior prazo de validade estimulou a pesquisa de novas técnicas. A preparação de sistemas de emulsão para técnicas de revestimento cria oportunidades para ligar as propriedades de compostos hidrocolóides e compostos lipídicos, fornecendo uma barreira controlada e eficaz. Como os lipídios são excelentes barreiras contra a migração de umidade quando misturados com proteínas e polissacarídeos, produzem revestimentos com maiores residências mecânicas e de barreira. Uma das estratégias para a incorporação de lipídios e ceras em RCs é através da formação de emulsão, onde a fase lipídica é misturada com outro material (normalmente um polissacarídeo ou solução de proteína) e homogeneizada usando cisalhamento mecânico. Diversos estudos foram publicados recentemente sobre a incorporação de lipídios na matriz de filmes de biopolímero incluindo óleos vegetais, ceras ou ácidos graxos para causar a modificação de várias propriedades dos filmes hidrocolóides. Numerosos compostos são utilizados na preparação de RCs emulsionados. Lipídeos diferentes (gorduras e óleos) são incorporados em soluções formadoras de filme para formar a estrutura baseada em emulsão. No entanto, entre as ceras animais e vegetais, os óleos vegetais e os ácidos graxos são os mais populares. As propriedades dos materiais comestíveis à base de emulsão dependem não apenas dos compostos usados na matriz polimérica, mas também de suas técnicas de compatibilidade e preparação. A compatibilidade entre os componentes, assim como sua miscibilidade, está diretamente relacionada com a microestrutura dos filmes, o que afeta suas propriedades finais. O alto grau de compatibilidade dos componentes resulta em estrutura de filme mais coesa e homogênea. Entretanto, a matriz contínua de filmes emulsificados pode se tornar mais irregular quando a

incompatibilidade dos componentes usados é observada ou a adição de lipídios é alta, devido à distribuição heterogênea de componentes com áreas de diferentes resistências mecânicas. Como resultado desse comportamento, pode ocorrer separação de fases, uma fase rica em hidrocolóides e outra fase rica em lipídios, devido à falta de compatibilidade entre os dois componentes. A menor coesão estrutural dos filmes à base de emulsão causada pelos compostos não compatíveis foi reportada como superfície superior oleosa dos filmes (Chevalier *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2018; Hassan *et al.*, 2018). Materiais à base de lipídios, especialmente ceras, são as substâncias mais eficientes para retardar a perda de umidade e desidratação, devido à sua alta hidrofobicidade. As ceras têm sido tradicionalmente usadas como RCs para uma variedade de produtos alimentícios, incluindo frutas e legumes, doces, queijo, cascas de ovos (Lan, 2019).

Ceras

As ceras são ésteres de ácidos alifáticos de cadeia longa com álcoois alifáticos de cadeia longa. Devido ao seu baixo conteúdo de grupos polares e alto conteúdo de álcoois graxos de cadeia longa e alcanos, eles são mais resistentes à migração de água do que a maioria das outras substâncias dos RCs. As ceras podem ser classificadas em ceras sintéticas e naturais. As ceras sintéticas são geralmente polímeros de baixo peso molecular derivados através da polimerização de matérias primas de alimentação, tais como metileno, etileno e α -olefinas. As ceras naturais são de várias origens, isto é, ceras de animais e plantas, ceras minerais de petróleo, carvão e turfa. RCs feitos a partir dessas ceras são usados como barreira a umidade, gases e também para melhorar a aparência da superfície externa de diferentes alimentos. Estas ceras são os compostos saudáveis que proporcionam barreira máxima contra a umidade sendo o retardo da perda de umidade um dos benefícios mais notáveis oferecidos pelas ceras nos revestimentos. A cera também cria atmosferas internas modificadas para frutas, o que influencia o metabolismo das frutas, especialmente a respiração, levando a mudanças na qualidade do interior das frutas. Outro benefício das ceras é a melhoria da aparência, o tratamento com cera melhora a aparência geral dos produtos alimentares, melhorando assim a comercialização. Algumas ceras proporcionam uma aparência brilhante ao revestirem de frutas frescas, vegetais e produtos de confeitaria. O uso de revestimentos de cera também mantém a força do tecido descascado, evita a abrasão da superfície durante o manuseio de produtos frescos, reduzindo assim a deterioração da infecção nos locais da lesão (Dehghani *et al.*, 2018; Hassan *et al.*, 2018; Lan, 2019).

A cera de candelilla é uma substância complexa de origem vegetal, insolúvel em água, mas altamente solúvel em acetona, clorofórmio, benzeno e outros solventes orgânicos, é caracterizada por alto teor de hidrocarbonetos (cerca de 50%) e quantidade relativamente baixa de ésteres voláteis. Esta cera natural é obtida principalmente a partir das folhas da planta *Euphorbia antisiphilitica* Zuccarini nativa do norte do México e do sudoeste dos Estados Unidos. As ceras são eficazes no bloqueio da migração de umidade, sendo a cera de candelilla a mais resistente em comparação com cera de carnaúba e cera de abelha. No entanto, tem sido relatado que revestimentos à base de cera de candelilla como fase dispersa são frágeis devido ao alto ponto de fusão da cera de candelilla (68,5-72,5 °C). Esta cera é um aditivo alimentar e substância geralmente reconhecida como segura (GRAS), sendo aprovada pela Food and Drug Administration (FDA) para aplicação na indústria de alimentos (Bosquez-Molina *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2019; Lan, 2019; Saucedo-Pompa *et al.*, 2009).

A cera de carnaúba, é também uma cera vegetal natural, tem como principal fonte a palmeira brasileira *Coernicia cerifera* Martius, também conhecida como palmeira de carnaúba. A cera de carnaúba é a cera vegetal comercialmente mais importante. É comumente usada para revestimento de frutas para evitar a perda de peso e manter a aparência brilhante. Encontra-se na superfície superior e inferior das folhas de palmeira. Uma das características únicas da cera de carnaúba é que ela contém alta proporção de constituintes químicos “incomuns”, como álcoois não esterificados (12%), α -hidroxi ésteres (14%) e ésteres de ácido cinâmico hidroxilado (30%), com o restante sendo impurezas não identificadas. A cera de carnaúba é amplamente utilizada na alimentação, devido às suas características físico-químicas. É uma das ceras vegetais mais duras, com

temperatura de fusão entre 82,5 e 83 °C, possui baixa solubilidade e seus componentes são relativamente inertes e estáveis. Por isso, é frequentemente utilizado como endurecedor para elevar a temperatura de fusão das misturas de cera. Tem extensa aplicação e usos em alimentos, revestimentos de confeitaria, cosméticos, cera para automóveis e móveis, etc. Devido a estas e outras características, a cera de carnaúba tem sido amplamente utilizada em alimentos sendo autorizada pela Anvisa, FDA, FAO e União Europeia (Chen *et al.*, 2019; de Freitas *et al.*, 2019; Lan, 2019).

Chevalier *et al.*, 2018 incorporaram sorbato de potássio, um ácido orgânico reconhecido como conservante de alimentos seguro, em folhas de caseína com coalho contendo ceras (cera de abelha, candelilla e carnaúba). Eles analisaram sua liberação e potencial como antimicrobiano contra *Escherichia coli*. As ceras são bem estudadas em misturas com hidrocoloides para fazer revestimentos ou filmes pelo método de fundição com solvente, mas a novidade deste trabalho é o uso de uma extrusora de parafuso duplo para produzir filmes. A presença de sorbato de potássio inibiu significativamente a *E. coli* e, mesmo em baixa concentração e mesmo após 20 dias a 15 ° C, o que sugere efeito da matriz de caseína como veículo conservante. Em relação à permeabilidade ao vapor de água, somente a cera de abelha entre as ceras introduzidas nas chapas foi eficiente para reduzir a pressão do vapor de água em 20%. A adição de lipídios às folhas hidrofílicas visa melhorar barreira a água. Neste trabalho foram comparadas cera de abelha, cera de candelilla e cera de carnaúba a 1% e 5%.

Revestimentos com nanopartículas de óxido de zinco (Nano-ZnO)

A tecnologia de embalagem desempenha um papel vital em relação às embalagens de alimentos e tem sido a área de interesse das indústrias de alimentos embalados nas últimas décadas (Arroyo *et al.*, 2020). O uso de filmes biodegradáveis para liberar antimicrobianos nas embalagens de alimentos é um tipo de embalagem ativa na indústria de alimentos. A qualidade mais importante dos filmes de embalagem é que ele deve ter boas propriedades mecânicas e permeabilidade adequada ao vapor de água e oxigênio. No entanto, as sabidas preocupações ambientais com relação à sua produção e descarte exigiram a busca de contrapartes alternativas e ambientalmente benignas, com propriedades térmicas, mecânicas e de barreira comparáveis. Nesse sentido, os filmes de polímeros de base biológica podem ser denominados como alternativas bem sucedidas devido à sua fácil disponibilidade, baixo custo e biodegradabilidade. Muitos estudos mostraram que polissacarídeos puros e seus filmes de polímeros compostos contendo Nano-ZnO possuíam atividade antibacteriana e poderiam ser usados em aplicações de embalagens de alimentos que melhoram a vida útil de vegetais, pães, peixes e carne (Sani *et al.*, 2019; Saral Sarojini *et al.*, 2019)

O ZnO tem sido amplamente utilizado como carga funcional em absorvedores de UV e para prevenir a infecção de doenças para aplicação em cosméticos, materiais farmacêuticos, pigmentos e materiais de revestimento e medicamentos. Tem sido extensivamente utilizado na confecção de revestimentos funcionais e bionanocompósitos devido à sua estabilidade sob condições severas de processamento e segurança em aplicações animais e humanas com propriedades antimicrobianas, antifúngicas, antiestáticas e de bloqueio de UV. O ZnO pode bloquear a radiação UV em todas as faixas de nano partículas de UV-A, UV-B e UV-C além de ter propriedades antibacterianas em pH neutro em pequenas quantidades. A atividade antibacteriana do ZnO é dependente da forma; portanto, um bom controle sobre a morfologia do ZnO a chave para determinar suas atividades bactericidas (Li *et al.*, 2019; Nourbakhsh *et al.*, 2017).

Os avanços atuais em nanotecnologia oferecem oportunidades para criar novos produtos com uma vasta gama de aplicações, incluindo nanomedicina e compostos com propriedades antimicrobianas. A maior área superficial por massa, em comparação com partículas de tamanho maior da mesma química, torna as partículas de tamanho nano mais ativas biologicamente. A Nano-ZnO tem sido adicionada recentemente a RC, FC e embalagens ativas afim de melhorar a vida pós-colheita de produtos processados ou minimamente processados (Koushesh Saba & Amini, 2017). A Nano-ZnO é um nanomaterial inorgânico bem conhecido que tem atraído grande atenção devido as suas excelentes propriedades mecânicas,

estruturais, capacidade de barreira, biocompatibilidade e têm atividade antibacteriana contra cepas Gram-positivas e Gram-negativas, desempenhando atividade antimicrobiana de amplo espectro. Associado a isso, estudos científicos atuais sugerem que o uso de dessas nanopartículas não apresentam ameaça potencial negligenciável à saúde humana (Aristizabal-Gil *et al.*, 2019; K.S. *et al.*, 2020; Md Nor & Ding, 2020).

Nano-ZnO é uma das nanopartículas inorgânicas multifuncionais conhecidas por inibir o crescimento microbiano. Em trabalhos realizados por Koushesh Saba and Amini, 2017, investigou-se o efeito combinado do revestimento de nano-ZnO e CMC como um revestimento ativo na qualidade do arilos da romã durante a vida útil. Os arilos tratados com ZnO foram revestidos com 0,5% (p / v) de CMC e armazenados por 12 dias a 4 °C. Os autores verificaram que os revestimentos diminuíram a levedura total e o mofo durante 12 dias de armazenamento, enquanto as bactérias mesofílicas totais diminuíram durante 6 dias de armazenamento. Houve diminuição também da perda de peso e maior porcentagem de suco quando comparado com o tratamento controle. Obteve-se resultados maiores quanto a capacidade total de antioxidante, de antocianinas e vitamina C sugerindo que o revestimento Nano-ZnO/CMC tem o potencial de prolongar a vida útil de armazenamento de romã minimamente processada.

A adição de óleos essenciais em filmes de quitosana foi considerada por suas propriedades antibacterianas e antifúngicas. Nanopartículas como Nano-ZnO também representam uma alternativa para melhorar e modificar as propriedades físico-químicas de filmes de biopolímeros e hidrogéis. Nesta tecnologia (filmes compósitos), a taxa de liberação dos agentes antimicrobianos é controlada e a concentração de compostos ativos na superfície do produto é mantida por períodos mais longos (Arroyo *et al.*, 2020; Sani *et al.*, 2019). A figura 5 mostra um filme obtido de uma solução contendo uma mistura de alginato de sódio com quitosana, aonde foi adicionando Nano-ZnO.

Figura 5 - Filme de alginato de sódio com quitosana e Nano-ZnO.



Fonte: Arquivo pessoal, Juliana Pereira Rodrigues (2022).

Sani *et al.*, 2019 conduziram um estudo no qual foi produzido um filme antibacteriano utilizando quitosana como biopolímero e Nano-ZnO em duas concentrações (1% e 3% (p / V) e óleo essencial de Melissa (0,25 e 0,5% (p / p V) foram utilizados visando o aprimoramento das propriedades antimicrobianas da quitosana. Neste estudo foram investigadas propriedades físicas, de cor, antimicrobianas e mecânicas, incluindo resistência à tração (TS) e deformação à ruptura (STB), FT-IR, DRX além da morfologia da superfície dos filmes quitosana/óleo essencial de Melissa. Os resultados da morfologia da superfície mostraram que os tamanhos das partículas de ZnO na estrutura do polímero estão no tamanho do nanômetro (40-80 nm). A maior concentração de Nano-ZnO e óleo essencial aumentou a TS dos filmes e reduziu a solubilidade em água e a permeabilidade ao vapor de água (WVP). A opacidade do filme também foi maior no filme com aumento da concentração da nanopartícula. Em contrapartida o aumento da concentração do óleo essencial trouxe maior transparência para o filme. As propriedades antibacterianas do filme composto também aumentaram mostrando que o filme contendo Nano-ZnO pode ser

usado como um novo filme composto biodegradável antimicrobiano na indústria de embalagens de alimentos.

Como relatado anteriormente, a adição de Nano-ZnO em polissacarídeos, lipídios e biopolímeros de proteínas pode reforçar efetivamente propriedades mecânicas, capacidades de barreira e atividade antimicrobiana do filme composto obtido.

2. Considerações Finais

O uso de filmes comestíveis e revestimentos comestíveis em alimentos já são uma realidade de sucesso pois reúnem os conceitos de sustentabilidade, bioeconomia e redução de desperdício e preservação do meio ambiente. Entretanto, ainda necessita de avanços nos estudos e na indústria para concorrer com os biopolímeros de origem fóssil que são muito mais baratos. Na pós-colheita os RC são muito bem vindos para preservar a qualidade dos frutos e aumentar a vida útil destes produtos.

Embora o uso de nanomateriais nas embalagens de alimentos seja um campo crescente, há algumas preocupações que precisam ser abordadas antes de um uso industrial maciço. Uma das principais é a possível migração de partículas do filme para o alimento. Além disso, a legislação atual é insuficiente para tratar dessa questão, por isso é importante que a cinética e a transferência em massa de nanomateriais de filmes nanocompósitos para produtos alimentícios sejam estudadas (Aristizabal-Gil *et al.*, 2019).

Referências

- Acevedo-Fani, A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2017). Nanoemulsions as edible coatings. *Current Opinion in Food Science*, 15, 43–49. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2017.06.002>
- Alcântara, L. O., Martins, M. E. de O., Sousa, J. R., Cerqueira, M. Â., Silva, A. L. C., Souza Filho, M. de S. M., & Souza, B. W. S. (2019). Wettability of edible coatings on Nile tilapia filets (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Food Engineering*, 247, 152–159. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2018.11.026>
- Almeida, C. L. de. (2018). Preparo e caracterização de esponjas à base de quitosana e policaprolactona (PCL). UFPPB.
- Andres Galindez, Dazaa, L. D., Homez-Jara, A., Eim, V. S., & Váquiro, H. A. (2019). Characterization of ulluco starch and its potential for use in edible films prepared at low drying temperature. *Carbohydrate Polymers*, 215, 143–150. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.03.074>
- Arcan, İ., Boyacı, D., & Yemenicioğlu, A. (2017). The Use of Zein and Its Edible Films for the Development of Food Packaging Materials. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21126-8>
- Aristizabal-Gil, M. V., Santiago-Toro, S., Sanchez, L. T., Pinzon, M. I., Gutierrez, J. A., & Villa, C. C. (2019). ZnO and ZnO/CaO nanoparticles in alginate films. Synthesis, mechanical characterization, barrier properties and release kinetics. *Lwt*, 112(May), 108217. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.115>
- Arnon-Rips, H., Porat, R., & Poverenov, E. (2019). Enhancement of agricultural produce quality and storability using citral-based edible coatings; the valuable effect of nano-emulsification in a solid-state delivery on fresh-cut melons model. *Food Chemistry*, 277, 205–212. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.10.117>
- Arnon-Rips, H., & Poverenov, E. (2018). Improving food products' quality and storability by using Layer by Layer edible coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 81–92. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.03.003>
- Arnon, H., Zaitsev, Y., Porat, R., & Poverenov, E. (2014). Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 21–26. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2013.08.007>
- Arquelau, P. B. de F., Silva, V. D. M., Garcia, M. A. V. T., Araújo, R. L. B. de, & Fante, C. A. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, 89, 570–578. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.11.029>
- Arroyo, B. J., Bezerra, A. C., Oliveira, L. L., Arroyo, S. J., Melo, E. A. de, & Santos, A. M. P. (2020). Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 309(August 2018), 125566. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125566>
- Bagheri, V., Ghanbarzadeh, B., Ayaseh, A., Ostadrahimi, A., Ehsani, A., Alizadeh-Sani, M., & Adun, P. A. (2019). The optimization of physico-mechanical properties of bionanocomposite films based on gluten/ carboxymethyl cellulose/ cellulose nanofiber using response surface methodology. *Polymer Testing*, 78, 105989. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2019.105989>
- Basiak, E., Linke, M., Debeaufort, F., Lenart, A., & Geyer, M. (2019). Dynamic behaviour of starch-based coatings on fruit surfaces. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 166–173. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2018.09.020>
- Bosquez-Molina, E., Guerrero-Legarreta, I., & Vernon-Carter, E. J. (2003). Moisture barrier properties and morphology of mesquite gum–candelilla wax based edible emulsion coatings. *Food Research International*, 36(9–10), 885–893. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00097-8)

- Boyacı, D., Iorio, G., Sozbilen, G. S., Alkan, D., Trabattoni, S., Pucillo, F., ... Yemenicioğlu, A. (2019). Development of flexible antimicrobial zein coatings with essential oils for the inhibition of critical pathogens on the surface of whole fruits: Test of coatings on inoculated melons. *Food Packaging and Shelf Life*, 20(October 2018), 100316. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100316>
- Carqueira, M. Â. P. R., Pereira, R. N. C., Ramos, Ó. L. da S., Teixeira, J. A. C., & Vicente, A. A. (2016). *Edible food packaging : materials and processing technologies*. New York.
- Chen, H., Sun, Z., & Yang, H. (2019). Effect of carnauba wax-based coating containing glycerol monolaurate on the quality maintenance and shelf-life of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 244, 157–164. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.09.039>
- Chevalier, E., Chaabani, A., Assezat, G., Prochazka, F., & Oulahal, N. (2018). Casein/wax blend extrusion for production of edible films as carriers of potassium sorbate—A comparative study of waxes and potassium sorbate effect. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 41–50. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2018.01.005>
- Chuayjuljit, S., Su-uthai, S., & Charuchinda, S. (2010). Poly(vinyl chloride) film filled with microcrystalline cellulose prepared from cotton fabric waste: properties and biodegradability study. *Waste Management & Research : The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 28(2), 109–117. <https://doi.org/10.1177/0734242X09339324>
- Coelho, C. C. de S., Fonseca, M. J. de O., Soares, A. G., Campos, R. D. S., & Freitas-Silva, O. (2017). Aplicação De Revestimento Filmogênico À Base De Amido De Mandioca E De Óleo De Cravo-Da-Índia Na Conservação Pós-Colheita De Goiaba 'Pedro Sato.' *Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng*, 25(6), 479–490. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i6.723>
- Comaposada, J., Gou, P., Marcos, B., & Arnau, J. (2015). Physical properties of sodium alginate solutions and edible wet calcium alginate coatings. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 212–219. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.05.043>
- Costa, M. J., Maciel, L. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Carqueira, M. A. (2018). Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. *Food Research International*, 107, 84–92. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.02.013>
- da Silva, I. J., de Veredas, V., dos Santos, M. A. G., Santana, C. C., Carpes, M. J. S., & Correia, C. R. D. (2006). Simulated moving bed chromatography in the production of enantiomerically pure or enriched compounds in large scale. *Química Nova*, 29(5), 1027–1037. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422006000500024>
- Daniela Cardozo Bagatini. (2017). Extração de gelatina de peles de pescada-olhuda (*Cynoscion guatucupa*) para aplicação em embalagens biodegradáveis para alimentos.
- de Freitas, C. A. S., de Sousa, P. H. M., Soares, D. J., da Silva, J. Y. G., Benjamin, S. R., & Guedes, M. I. F. (2019). Carnauba wax uses in food – A review. *Food Chemistry*, 291, 38–48. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.03.133>
- Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505–513. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.034>
- Ebrahimi, B., Mohammadi, R., Rouhi, M., Mortazavian, A. M., Shojaee-Aliabadi, S., & Koushki, M. R. (2018). Survival of probiotic bacteria in carboxymethyl cellulose-based edible film and assessment of quality parameters. *LWT*, 87, 54–60. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.08.066>
- Elanthikkal, S., Gopalakrishnapanicker, U., Varghese, S., & Guthrie, J. T. (2010). Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 852–859. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.043>
- Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 33(4), 1819–1841. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2013.01.010>
- Eom, H., Chang, Y., Lee, E., Choi, H.-D., & Han, J. (2018). Development of a starch/gum-based edible coating for rice cakes to retard retrogradation during storage. *LWT*, 97, 516–522. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.07.044>
- Fonseca, M. J. de O., Soares, A. G., Barboza, H. T. G., Carvalho, M. A. G., & Júnior, A. C. V. N. (2016). Uso de Revestimento Comestível para Extensão da Vida Útil da Goiaba 'Pedro Sato.' *Engenharia Na Agricultura*, pp. 101–110. <https://doi.org/10.13083/1414-3984/reveng.v24n2p101-110>
- Fratari, S. C., Oliveira, A. P. de, Faria, R. A. P. G. de, & Villa, R. D. (2021). REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS PARA CONSERVAÇÃO PÓS COLHEITA DE BANANA: UMA REVISÃO. In *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 4 (Vol. 4, pp. 444–467)*. Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/210203091>
- Gol, B., & Rao, T. V. R. (2014). Influence of zein and gelatin coatings on the postharvest quality and shelf life extension of mango (*Mangifera indica* L.). *Fruits*, 69(2), 101–115. <https://doi.org/10.1051/fruits/2014002>
- Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1813–1827. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.02.007>
- Hajji, S., Younes, I., Affes, S., Boufi, S., & Nasri, M. (2018). Optimization of the formulation of chitosan edible coatings supplemented with carotenoproteins and their use for extending strawberries postharvest life. *Food Hydrocolloids*, 83, 375–392. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.05.013>
- Hamed, H., Kargozari, M., Shotorbani, P. M., Mogadam, N. B., & Fahimdanesh, M. (2017). A novel bioactive edible coating based on sodium alginate and galbanum gum incorporated with essential oil of *Ziziphora persica*: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food model. *Food Hydrocolloids*, 72, 35–46. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.05.014>
- Han, J. H. (2014). *Edible Films and Coatings: A Review. Innovations in Food Packaging*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6>

- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095–1107. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.11.097>
- Huq, T., Salmieri, S., Khan, A., Khan, R. A., Le Tien, C., Riedl, B., ... Lacroix, M. (2012). Nanocrystalline cellulose (NCC) reinforced alginate based biodegradable nanocomposite film. *Carbohydrate Polymers*, 90(4), 1757–1763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.07.065>
- Jiao, W., Shu, C., Li, X., Cao, J., Fan, X., & Jiang, W. (2019). Preparation of a chitosan-chlorogenic acid conjugate and its application as edible coating in postharvest preservation of peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 154, 129–136. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2019.05.003>
- Jorge, T. de S., Soares, A. G., Fonseca, M. J. de O., Barboza, H. T. G., Junior, M. F., Oliveira, A. H., ... Barbosa, W. J. (2013). Evaluation of Packaging and Edible Coating on Postharvest Strawberry. 7th International Postharvest Symposium, (November), 533–538. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1012.71>
- K.S., J., Jose, J., Li, T., Thomas, M., Shankregowda, A. M., Sreekumaran, S., ... Thomas, S. (2020). Application of novel zinc oxide reinforced xanthan gum hybrid system for edible coatings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 806–813. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.02.085>
- Koushesh Saba, M., & Amini, R. (2017). Nano-ZnO/carboxymethyl cellulose-based active coating impact on ready-to-use pomegranate during cold storage. *Food Chemistry*, 232, 721–726. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.04.076>
- Lan, Y. (2019). Waxes. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 312–316. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22344-5>
- Li, J., Sun, Q., Sun, Y., Chen, B., Wu, X., & Le, T. (2019). Improvement of banana postharvest quality using a novel soybean protein isolate/cinnamaldehyde/zinc oxide bionanocomposite coating strategy. *Scientia Horticulturae*, 258, 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.108786>
- Li, X. yu, Du, X. long, Liu, Y., Tong, L. jing, Wang, Q., & Li, J. long. (2019). Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. *Scientia Horticulturae*, 257(July), 108685. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108685>
- Liu, C., Huang, J., Zheng, X., Liu, S., Lu, K., Tang, K., & Liu, J. (2020). Heat sealable soluble soybean polysaccharide/gelatin blend edible films for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 24(November 2019), 100485. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100485>
- Low, L. E., Siva, S. P., Ho, Y. K., Chan, E. S., & Tey, B. T. (2020). Recent advances of characterization techniques for the formation, physical properties and stability of Pickering emulsion. *Advances in Colloid and Interface Science*, 277, 102117. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102117>
- Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. (2008). Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.002>
- Mannucci, A., Serra, A., Remorini, D., Castagna, A., Mele, M., Scartazza, A., & Ranieri, A. (2017). Aroma profile of Fuji apples treated with gelatin edible coating during their storage. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.061>
- Md Nor, S., & Ding, P. (2020). Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. *Food Research International*, 134, 109208. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109208>
- Mirzaei-Mohkam, A., Garavand, F., Dehnad, D., Keramat, J., & Nasirpour, A. (2019). Optimisation, antioxidant attributes, stability and release behaviour of carboxymethyl cellulose films incorporated with nanoencapsulated vitamin E. *Progress in Organic Coatings*, 134, 333–341. <https://doi.org/10.1016/J.PORGOAT.2019.05.026>
- Nallan Chakravartula, S. S., Cevoli, C., Balestra, F., Fabbri, A., & Dalla Rosa, M. (2019). Evaluation of drying of edible coating on bread using NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 240, 29–37. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2018.07.009>
- Neves Junior, A. C. V., Coneglian, R. C. C., Soares, A. G., Freitas, D. de G. C., Fonseca, M. J. O., & Barboza, H. T. G. (2013). Evaluation of Refrigerated Storage of 'Mikado' Fresh Persimmon Using Edible Coatings Evaluation of Refrigerated Storage of 'Mikado' Fresh Persimmon Using Edible Coatings. *Acta Horticulturae*, (November), 1517–1522. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1012.206>
- Neves Junior, A. C. V., Coneglian, R. C. C., Soares, A. G., Freitas, D. de G. C., Fonseca, M. J. O., Barreira, F. R., & Miranda, A. F. M. de. (2012). Physical and sensory characterization of edible coatings applied to minimally processed persimmon Physical and Sensory Characterization of Edible Coatings Applied to Minimally Processed Persimmon. *Acta Horticulturae*, (December 2015), 537–542. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.934.71>
- Nourbakhsh, S., Talebian, A., & Faramarzi, S. (2017). Preparation and Characterization of Gelatin/ZnO Nano-Composite Film. *Materials Today: Proceedings*, 4(7), 7038–7043. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2017.07.035>
- Nouri Ala, M. A., & Shahbazi, Y. (2019). The effects of novel bioactive carboxymethyl cellulose coatings on food-borne pathogenic bacteria and shelf life extension of fresh and sauced chicken breast fillets. *LWT*, 111, 602–611. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.05.092>
- Ortiz-Duarte, G., Pérez-Cabrera, L. E., Artés-Hernández, F., & Martínez-Hernández, G. B. (2019). Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 174–184. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2018.09.021>
- Pellá, M. C. G., Silva, O. A., Pellá, M. G., Beneton, A. G., Caetano, J., Simões, M. R., & Dragunski, D. C. (2020). Effect of gelatin and casein additions on starch edible biodegradable films for fruit surface coating. *Food Chemistry*, 309(March 2019), 125764. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125764>
- Rangel-Marrón, M., Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. (2019). Effects of alginate-glycerol-citric acid concentrations on selected physical, mechanical, and barrier properties of papaya puree-based edible films and coatings, as evaluated by response surface methodology. *LWT*, 101, 83–91. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.11.005>
- Rico, M., Rodríguez-Llamazares, S., Barral, L., Bouza, R., & Montero, B. (2016). Processing and characterization of polyols plasticized-starch reinforced with microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 149, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.087>

- Ruan, C., Zhang, Y., Sun, Y., Gao, X., Xiong, G., & Liang, J. (2019). Effect of sodium alginate and carboxymethyl cellulose edible coating with epigallocatechin gallate on quality and shelf life of fresh pork. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.247>
- Sánchez-Ortega, I., García-Almendárez, B. E., Santos-López, E. M., Reyes-González, L. R., & Regalado, C. (2016). Characterization and antimicrobial effect of starch-based edible coating suspensions. *Food Hydrocolloids*, 52, 906–913. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.09.004>
- Sani, I. K., Pirsá, S., & Tađi, Œ. (2019). Preparation of chitosan/zinc oxide/Melissa officinalis essential oil nano-composite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method. *Polymer Testing*, 79, 106004. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2019.106004>
- Saral Sarojini, K., Indumathi, M. P., & Rajarajeswari, G. R. (2019). Mahua oil-based polyurethane/chitosan/nano ZnO composite films for biodegradable food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.195>
- Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., Aguilera-Carbó, A. F., Saenz-Galindo, A., Garza, H. de La, Jasso-Cantú, D., & Aguilar, C. N. (2009). Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*, 42(4), 511–515. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2009.02.017>
- Soradech, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S., & Luangtana-anan, M. (2017). Utilization of shellac and gelatin composite film for coating to extend the shelf life of banana. *Food Control*, 73, 1310–1317. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.10.059>
- Souza, B. W. S., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., & Vicente, A. (2010). The Use of Electric Fields for Edible Coatings and Films Development and Production: A Review. *Food Engineering Reviews*, 2(4), 244–255. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9029-x>
- Spasojević, L., Katona, J., Bućko, S., Savić, S. M., Petrović, L., Milinković Budinčić, J., ... Sharipova, A. (2019). Edible water barrier films prepared from aqueous dispersions of zein nanoparticles. *LWT*, 109, 350–358. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.04.038>
- Stockler, I. (2019). Principais leis ambientais. Retrieved June 22, 2022, from <https://iusnatura.com.br/principais-leis-ambientais/>
- Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Mahunu, G. K., Arslan, M., Abdalhai, M., & Zhihua, L. (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review. *Carbohydrate Polymers*, 224(July), 115141. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 137, 360–374. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.10.074>
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1079–1089. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.03.190>
- Theóphilo Galvão, A. M. M., de Oliveira Araújo, A. W., Carneiro, S. V., Zambelli, R. A., & do Socorro Rocha Bastos, M. (2018). Coating development with modified starch and tomato powder for application in frozen dough. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 194–203. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2018.04.003>
- Tsai, M. J., & Weng, Y. M. (2019). Novel edible composite films fabricated with whey protein isolate and zein: Preparation and physicochemical property evaluation. *Lwt*, 101(August 2018), 567–574. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.068>
- Valencia-Chamorro, S. A., Palou, L., Delfio, M. A., & Pérez-Gago, M. B. (2011). Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(9), 872–900. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.485705>
- Valizadeh, S., Naseri, M., Babaei, S., Hosseini, S. M. H., & Imani, A. (2019). Development of bioactive composite films from chitosan and carboxymethyl cellulose using glutaraldehyde, cinnamon essential oil and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 604–612. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.05.071>
- Xu, Y., Chu, Y., Feng, X., Gao, C., Wu, D., Cheng, W., ... Tang, X. (2020). Effects of zein stabilized clove essential oil Pickering emulsion on the structure and properties of chitosan-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.027>
- Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., ... Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29–38. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2018.09.002>
- Yeddes, W., Djebali, K., Aidi Wannas, W., Horchani-Naifer, K., Hammami, M., Younes, I., & Saidani Tounsi, M. (2020). Gelatin-chitosan-pectin films incorporated with rosemary essential oil: Optimized formulation using mixture design and response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.092>
- Zhao, Y. (2019). Edible Coatings for Extending Shelf-Life of Fresh Produce During Postharvest Storage. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 506–510. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22262-2>
- Zhu, Q., Li, Y., Li, S., & Wang, W. (2020). Fabrication and characterization of acid soluble collagen stabilized Pickering emulsions. *Food Hydrocolloids*, 106(December 2019), 105875. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105875>