

Embalagens ativas: uma alternativa para vegetais minimamente processados?

Active packaging: an alternative to minimum processed vegetables?

Envase activo: ¿una alternativa a las verduras mínimas procesadas?

Recebido: 16/07/2022 | Revisado: 26/07/2022 | Aceito: 29/07/2022 | Publicado: 07/08/2022

Taciane Peron

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5184-4594>
Instituto Federal de Ciência e Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil
E-mail: taciane.peron@gmail.com

Thamiris Carla Campos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3366-0673>
Instituto Federal de Ciência e Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil
E-mail: thamiriscarla92@yahoo.com.br

Luciene Dias Santos Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2342-8830>
Instituto Federal de Ciência e Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil
E-mail: llucienediassantos@gmail.com

Tarsila Rodrigues Arruda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1721-7241>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: tarsilaarruda@gmail.com

Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9030-2819>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: bruno.leitejr@ufv.br

Resumo

A demanda por frutas e hortaliças prontas para o consumo é crescente, com destaque ao mercado de vegetais minimamente processados (VMP). Esse aumento está vinculado ao elevado valor nutricional e aos benefícios à saúde associados ao consumo regular desses alimentos. Entretanto, os danos causados pelo processamento mínimo nos vegetais os tornam mais susceptíveis a deterioração. Neste contexto, as embalagens, em especial as embalagens ativas, desempenham um papel importante na preservação das características sensoriais, nutricionais e qualidade microbiológica desses produtos. Desta forma, essa revisão objetivou avaliar o efeito das embalagens ativas em VMP. Baseado nos estudos descritos na literatura, verifica-se que a utilização de filmes e revestimentos ativos podem atuar minimizando a perda de umidade e a oxidação de diferentes componentes (como lipídios e pigmentos), bem como retardar a deterioração microbiana, inclusive restringindo o crescimento de microrganismos patogênicos. Essas ações permitem prologar a vida útil desses alimentos. Portanto, a tecnologia de embalagem ativa tem mostrado resultados positivos e promissores para manter a qualidade, a segurança e as propriedades sensoriais desses alimentos, no entanto, observa-se a necessidade da realização de mais estudos relacionados ao custo e escalabilidade destes materiais aplicados em VMP.

Palavras-chave: Tecnologia de alimentos; Conservação de alimentos; Embalagens ativas; Embalagens celulósicas; Vegetais minimamente processados.

Abstract

The demand for ready-to-eat fruits and vegetables is growing, with emphasis on the minimally processed vegetables (MPV) market. This increase is linked to the high nutritional value and the health benefits associated with the regular consumption of these foods. However, the damage caused by minimal processing to vegetables makes them more susceptible to spoilage. In this context, packaging, especially active packaging, plays an important role in preserving the sensory, nutritional and microbiological quality of these products. Thus, this review aimed to evaluate the effect of active packaging on MPV. Based on the studies described in the literature, it appears that the use of films and active coatings can act by minimizing the loss of moisture and the oxidation of different components (such as lipids and pigments), as well as delaying microbial deterioration, including restricting the growth of pathogenic microorganisms. These actions make it possible to prolong the shelf life of these foods. Therefore, active packaging technology has shown positive and promising results to maintain the quality, safety and sensory properties of these foods, however, there is a need to carry out more studies related to the cost and scalability of these materials applied in MPV.

Keywords: Food technology; Food preservation; Active packaging; Cellulosic packaging; Minimally processed vegetables.

Resumen

La demanda de frutas y verduras listas para comer está creciendo, con énfasis en el mercado de verduras mínimamente procesadas (VMP). Este aumento está relacionado con el alto valor nutricional y los beneficios para la salud asociados con el consumo regular de estos alimentos. Sin embargo, el daño causado por un procesamiento mínimo a los vegetales los hace más susceptibles al deterioro. En este contexto, los envases, especialmente los envases activos, juegan un papel importante en la preservación de la calidad sensorial, nutricional y microbiológica de estos productos. Por lo tanto, esta revisión tuvo como objetivo evaluar el efecto de los envases activos en VMP. Con base en los estudios descritos en la literatura, parece que el uso de películas y recubrimientos activos puede actuar minimizando la pérdida de humedad y la oxidación de diferentes componentes (como lípidos y pigmentos), así como retrasando el deterioro microbiano, incluso restringiendo el crecimiento de microorganismos patógenos. Estas acciones permiten prolongar la vida útil de estos alimentos. Por lo tanto, la tecnología de empaque activo ha mostrado resultados positivos y prometedores para mantener la calidad, seguridad y propiedades sensoriales de estos alimentos, sin embargo, existe la necesidad de realizar más estudios relacionados con el costo y la escalabilidad de estos materiales aplicados en VMP.

Palabras clave: Tecnología de alimentos; Conservación de alimentos; Envases activos; Embalaje celulósico; Vegetales mínimamente procesados.

1. Introdução

Novos hábitos e percepções do mercado consumidor têm contribuído para o aumento do consumo de frutas e hortaliças. Estes produtos, caracterizados pelo elevado valor nutricional, têm ido de encontro aos anseios dos consumidores, cada vez mais preocupados com aspectos relacionados à saúde e bem-estar (Mostafidi et al., 2020). Além disso, a expansão da urbanização e da vida moderna, bem como a falta de tempo para o preparo dos alimentos são razões que estimulam a busca do consumidor por produtos saudáveis, práticos e prontos para o consumo, como é o caso dos vegetais minimamente processados (VMP). A crescente expansão dos VMP resultou em um novo perfil de consumidor definido como “rico em dinheiro/pobre em tempo” (De Corato, 2019).

Todavia, um dos principais objetivos e desafios da indústria de frutas e hortaliças é a preservação das características nutricionais e sensoriais desses produtos durante toda a cadeia produtiva (Pace & Cefola, 2021). Os vegetais prontos para o consumo são submetidos às etapas como remoção de sujeiras, lavagens, cortes, descascamento, fatiamento, trituração, secagem e embalagem (Maffei et al., 2016). Essas etapas podem promover modificações na estrutura destes vegetais e, conseqüentemente, favorecer a modificações indesejáveis como reações enzimáticas, oxidativas e microbianas. Conseqüentemente, tais alimentos apresentam características depreciativas, como amolecimento dos tecidos, escurecimento da superfície de corte, diminuição do valor nutricional e presença de *off-flavor* (Finnegan & O’Beirne, 2015; Prakash et al., 2018). Por isso, muitos autores descrevem que os VMP se deterioram mais rápido que as matérias-primas não processadas, principalmente devido aos danos físicos causados durante o processamento mínimo.

Nesse contexto, a fim de equilibrar a necessidade de fornecer alimentos seguros com vida útil prolongada, a utilização de embalagens ativas torna-se uma ferramenta útil para que esse objetivo seja alcançado. Segundo Yildirim et al. (2018), embalagens ativas são aquelas que interagem intencionalmente com o alimento, liberando ou absorvendo substâncias no ou do interior da embalagem, visando melhorar algumas de suas características. As embalagens ativas incluem diferentes mecanismos de interação, sendo os mais comuns as embalagens de liberação de substâncias bioativas ou dióxido de carbono, e de absorção de componentes como oxigênio, etileno, umidade e odor, que podem contribuir na extensão da vida útil e qualidade de frutas e vegetais embalados (Yildirim et al., 2018; Giannakourou & Tsironi, 2021).

Considerando sua relevância e potenciais benefícios, é de extrema importância a busca das informações disponíveis na literatura sobre a aplicação das embalagens ativas e na conservação de VMP. Portanto, a presente revisão objetiva avaliar o efeito das embalagens ativas em VMP, a partir de informações obtidas em trabalhos científicos nas bases de dados como Scopus, Web of Science, Science Direct, Pubmed e Google Acadêmico. A busca foi realizada em trabalhos publicados nos últimos 10 anos

relacionados a embalagens ativas em VMP utilizando as seguintes palavras-chave: “vegetais minimamente processados”, “embalagens ativas”, “polímeros bioativos”, e “filmes bioativos” para discussão desta temática.

2. Estratégias para Conservação de Vegetais Minimamente Processados

O mercado global de frutas e vegetais processados alcançou aproximadamente US\$ 323,2 bilhões em 2021 e estima-se que este valor alcance US\$ 545 bilhões em 2030. Este mercado foi impulsionado pelas novas demandas dos consumidores e alavancou-se ainda mais com a pandemia de COVID-19 (Precedence Research, 2022). Vários estudos mostram que a inclusão regular de frutas e vegetais na dieta está associada a um menor risco de doenças crônicas, principalmente devido ao alto teor de compostos bioativos presentes nesses alimentos (Xue et al., 2016). O efeito promotor da saúde dos fitoquímicos é explicado por sua capacidade de eliminar os radicais livres e por suas propriedades anti-inflamatórias, antidiabéticas e anti-hepatotóxicas (Al-Juhaimi et al., 2018). Todavia, para que tais benefícios possam ser alcançados, é fundamental o consumo regular desses alimentos. Desta forma, a apresentação de frutas e vegetais prontos para o consumo pode contribuir para o aumento da ingestão desses produtos (Fan et al., 2020).

Geralmente, a oxidação de frutas e hortaliças começa com a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) como resultado de processos como respiração, e fotossíntese que ocorrem dentro de diferentes sítios celulares. Tais reações oxidativas induzem, então, a decomposição do produto e perda de sua qualidade nutricional (Del Río & López-Huertas, 2016; Valenzuela et al., 2017).

Galani et al. (2017) observaram a influência do armazenamento refrigerado nos teores de vitamina C, fenólicos totais e antocianinas de diferentes frutas e vegetais. Os autores relataram uma diminuição significativa no teor de vitamina C para repolho, espinafre, tomate, batata e maçã após 15 dias de armazenamento, devido à alteração na expressão de genes e atividade de enzimas oxidativas durante o armazenamento (Galani et al., 2017b; Mankad, 2017).

Inúmeras estratégias têm sido utilizadas para minimizar as perdas durante o processamento e armazenamento dos vegetais. Tradicionalmente, o processo térmico é amplamente usado para inativar microrganismos patogênicos e enzimas indesejáveis (Koca et al., 2018). Todavia, a aplicação de tratamentos térmicos pode afetar negativamente a qualidade do produto final, com redução da qualidade nutricional e sensorial (Moreno-Vilet et al., 2018).

Processos não térmicos como plasma frio, processamento à alta pressão, campo elétrico pulsado, ultrassom, e irradiação têm sido investigados como potenciais substitutos, na tentativa de atenuar os danos sobre a qualidade dos produtos (Prakash, 2018; Hernández-Hernández et al., 2019; Mahendran et al., 2019; Wiktor et al., 2019; Delorme et al., 2020; Gómez-Maqueo et al., 2020); entretanto, estas tecnologias ainda apresentam alguns desafios como custo, escalabilidade e qualidade do produto final. Neste contexto, a utilização de embalagens ativas pode ser considerada uma ferramenta interessante e viável para manutenção da qualidade dos VMP.

3. Embalagens para Produtos Vegetais

A embalagem desempenha um papel crítico na proteção dos alimentos, atuando diretamente no aumento de sua vida útil e, conseqüentemente, na redução do desperdício. A embalagem de alimentos tem como função primária a contenção dos alimentos, protegendo-os de fatores externos como calor, luz, umidade, oxigênio, contaminação microbiana e ataque de insetos. Devido à sua grande versatilidade, os materiais plásticos são amplamente empregados na produção de embalagens alimentícias. Atualmente, polímeros oriundos de fontes fósseis ainda são os principais materiais plásticos empregados na fabricação de embalagens de alimentos devido à sua alta resistência a tensões mecânicas, altas propriedades de barreira, flexibilidade para

moldagem e baixo custo (Bhargava et al., 2020; Jafarzadeh et al., 2021). Todavia, a busca por novos materiais ambientalmente amigáveis tem crescido (Asdagh & Pirsa, 2020).

Os polímeros que são completamente degradados em produtos naturais como água, dióxido de carbono e biomassa (bactérias ou fungos) ou enzimas após o processo de decomposição por organismos vivos são chamados de biodegradáveis (Jabraili et al., 2021). A substituição de embalagens plásticas por materiais ecologicamente corretos e sustentáveis derivados de fontes biodegradáveis são principalmente estimuladas por questões ambientais (Garavand et al., 2020).

Novas tecnologias têm emergido no contexto das embalagens de alimentos como, por exemplo, o conceito de embalagens ativas. A utilização de embalagens ativas tem sido impulsionada por fatores como o aumento da demanda do consumidor por alimentos frescos, seguros e de alta qualidade (Yousefi et al., 2019; Roy & Rhim, 2020).

3.1 Embalagens ativas na conservação de vegetais minimamente processados

As frutas e hortaliças desempenham um papel importante na alimentação humana, cuja composição apresenta vitaminas, minerais, antioxidantes e fibras. No entanto, tais alimentos têm uma vida pós-colheita relativamente curta e são propensas a reações fisiológicas e bioquímicas, o que leva à deterioração afetando sua qualidade e aparência indesejável (Hassan et al., 2018; Sapper & Chiralt, 2018).

As características das frutas e vegetais capazes de afetar sua vida de armazenamento, e que levam a uma notável deterioração após a colheita, estão ligadas à atividade metabólica destes e sua taxa respiratória. Uma maior taxa respiratória vincula-se à menor capacidade de armazenamento. Ademais, a composição da atmosfera dentro da embalagem com o balanço de gases como etileno, CO₂ e O₂ ao redor das frutas e vegetais afetam a frequência respiratória e a taxa metabólica geral (Romanazzi et al., 2015). Portanto, algumas ações precisam ser tomadas para limitar a presença de etileno em vegetais e frutas durante o armazenamento e transporte, como embalagem apropriada, circulação de ar, e usando absorventes de etileno (Grande-Tovar et al., 2018).

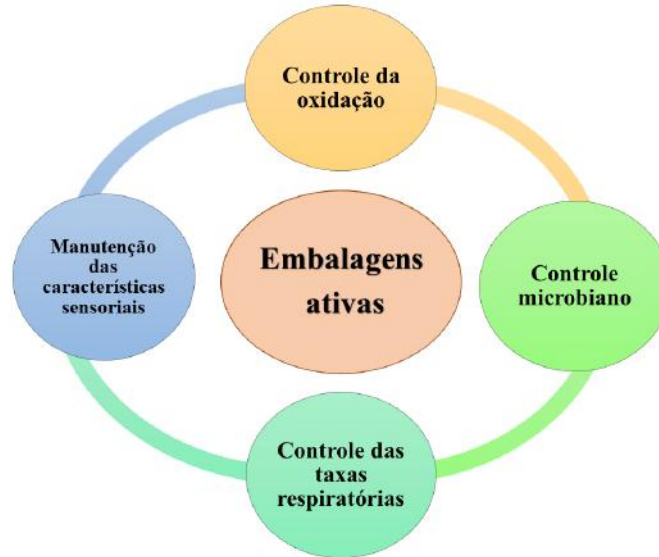
Vale também mencionar que as frutas são tipicamente caracterizadas em dois grupos, incluindo climatéricas e não climatéricas. O último grupo de frutos não pode amadurecer uma vez removido da planta, mas os frutos climatéricos podem amadurecer depois de serem colhidos e produzem mais etileno dos que os não climatéricos, então torna-os mais sensíveis à deterioração causada por bolores, leveduras e bactérias. Portanto, a embalagem e o revestimento adequados para frutas frescas são necessários, pois geralmente em condições normais, as frutas secam rapidamente com perda de rigidez (Farcuh et al., 2018). Mais ainda, frutas e hortaliças minimamente processadas são caracterizadas por uma deterioração acelerada que afeta o valor nutricional durante a vida útil.

A fim de preservar a qualidade dos vegetais, alguns métodos de preservação têm sido explorados, incluindo métodos físicos e químicos, como controle de temperatura e acondicionamento sob atmosfera modificada, por meio de embalagens específicas (Flores-López, 2016). A embalagem adequada pode desempenhar um papel importante na proteção e aumento da vida útil da pós-colheita dos vegetais, minimizando a taxa de respiração e amadurecimento, reduzindo o crescimento microbiano, bem como promovendo a redução do etileno e controlando a perda de água (Wu, 2010).

Ao contrário das embalagens tradicionais, ditas embalagens “passivas”, as embalagens ativas são caracterizadas pela interação entre a embalagem e os alimentos embalados. Tal tecnologia pode auxiliar na manutenção da temperatura, no nível de umidade, e reduzir a contaminação microbiana e processos oxidativos, culminando na preservação da qualidade dos produtos (Sharma et al., 2021). As embalagens ativas têm se mostrado um tópico relevante, tendo em vista à crescente demanda dos consumidores por alimentos com menor grau de processamento e redução/substituição de conservantes químicos sintéticos (Priyadarshi et al., 2021); desta forma, a utilização de embalagens ativas pode ser uma estratégia para prevenir alterações

indesejáveis nos alimentos e prolongar a vida útil dos alimentos embalados (Roy et al., 2022), especialmente considerando os VMP (Figura 1).

Figura 1. Benefícios das embalagens ativas em vegetais minimamente processados.



Fonte: Autoria própria.

As embalagens tradicionais armazenam os alimentos, fornecendo funções básicas como proteção, transporte e comunicação, e que, por si só, auxiliam na manutenção da vida útil dos produtos embalados. Todavia, para os VMP, que são produtos condicionados aos processos fisiológicos contínuos da própria matéria-prima, mantê-los em um microambiente isolado (embalagem) torna-se uma medida insuficiente. Vários sistemas de embalagem ativa podem ser aplicados para minimizar a deterioração de frutas e vegetais, como removedores de oxigênio e umidade, emissores de CO₂ e compostos carregados de antioxidantes/ antimicrobianos. Tem também havido um aumento no uso de nanocompósitos biopoliméricos no setor de embalagens da alimentação (Bodbodak & Rafiee, 2016).

As embalagens ativas são reconhecidas pela possibilidade em manter as características frescas e qualidade dos alimentos, característica útil no contexto dos produtos vegetais. A fim de modificar as condições ambientais ou fisiológicas dentro da embalagem, os sistemas de embalagem ativa geralmente envolvem a eliminação ou absorção de compostos indesejáveis, como oxigênio, dióxido de carbono, etileno, sabor/odor e excesso de água (Bodbodak & Rafiee, 2016). Ao estudar o efeito da tecnologia de embalagem com atmosfera modificada ativa nas propriedades mecânicas pós-colheita de alface em diferentes períodos de armazenamento, Firouz et al. (2021) constataram redução da respiração, transpiração e crescimento bacteriano, retardando a decomposição de nutrientes e mantendo a cor e a textura originais.

Devido à capacidade dos revestimentos comestíveis de evitar a perda de umidade, perda de aroma, absorção de água pelo material alimentar ou penetração de oxigênio, são sugeridas como alternativas viáveis para conservar frutas e vegetais frescos. Os filmes/ revestimentos bio/nanocompósitos contribuem reduzindo a perda de peso agindo como um obstáculo à perda de umidade. Além disso, os revestimentos comestíveis melhoram a textura, melhoram a aparência do produto e prolongam a vida útil dos mesmos, criando barreiras semipermeáveis à gases e umidade, como dióxido de carbono e oxigênio (Duran et al., 2016).

Alguns estudos mostram a importância que revestimentos contendo removedores de oxigênio e sistemas de controle de umidade têm na redução de gases que contribuem para deterioração de frutas e vegetais. Resende et al. (2018) indicaram que o revestimento de quitosana/celulose nanofibrila (CNF) minimiza a difusão de oxigênio, diminui a respiração, e retarda a oxidação do morango pela reação do ácido ascórbico. Filmes com maior porcentagem de CNF apresentam maior barreira ao oxigênio, o que mostra que estes podem ser benéficos na pós-colheita e preservação da qualidade de morango. Outro método é a utilização de filmes de poli (ácido láctico) (PLA), onde o coeficiente de difusão foi reduzido com o aumento do nano-ZnO, em que a diminuição da propagação de oxigênio pela superfície do fruto inevitavelmente reduziu o estresse oxidativo em sua textura. Isso levou à omissão do oxigênio reativo e à proteção da integridade da membrana celular da maçã minimamente processada (Li et al., 2017).

De um modo geral, os captadores de oxigênio, têm a principal função de garantir a proteção adequada dos frutos e produtos hortícolas. O crescimento de bactérias aeróbicas, degradação de coloração, crescimento de fungos e danos oxidativos as frutas e vegetais pode ser evitado pela eliminação de oxigênio usado para embalagem desses produtos (Jafarzadeh et al., 2021).

O controle de etileno no tempo de armazenamento desempenha um papel significativo na extensão da vida útil de frutas e legumes após a colheita. O etileno aumenta o amadurecimento, leva ao amolecimento e degradação das clorofilas, e eventualmente deteriora frutas e vegetais (Kaewklin et al., 2018). Assim, retardar o amadurecimento da fruta controlando o nível de etileno nos frutos é possível pelo revestimento com uma camada de material semipermeável. O revestimento pode reduzir a quantidade de O₂ na respiração e também limitar a propagação de CO₂ fora do tecido (Mustika & Wardana, 2020). Chiara et al. (2015) relataram que uma mistura de TiO₂ e sílica poderiam eliminar fotocataliticamente o etileno, e assim, suprimir o processo de amadurecimento de tomates verdes maduros.

Com base em observações e pesquisas, captadores de etileno como nanopartículas em embalagens ativas pode retardar a degradação e preservar o frescor de legumes e frutas durante o armazenamento. Colaborando ainda na extensão da vida de prateleira e melhora da qualidade do produto (Jafarzadeh et al., 2021).

Manga, banana, mamão e abacate são as frutas tropicais mais populares comumente cultivadas em áreas tropicais do mundo. Estes frutos têm vida útil curta e se deterioram rapidamente resultando de alterações bioquímicas, envelhecimento fisiológico durante o armazenamento e transporte. Geralmente há uma redução na qualidade comestível desses produtos, o que causa uma grande perda de frutas frescas anualmente. Pesquisadores sugerem vários métodos para manter a qualidade desses frutos, incluindo a embalagem de atmosfera modificada, revestimento de cera e bio-nanocompósitos (Mangaraj & Goswami, 2009).

Cortez-Veja et al. (2014) estudaram o mamão minimamente processado em fatias revestidas com filmes comestíveis de isolado proteico de corvina (*Micropogonias furnieri*) com organo-argila durante armazenamento de 12 dias a 5 °C. O mamão revestido apresentou menor crescimento microbiano, menor perda de massa, leveza e pH, e uma redução trivial de firmeza, indicando assim ótimos resultados quanto a este revestimento. Estudos sobre nanopartículas de ZnO e quitosana no revestimento do mamão minimamente processado sugeriram que a incorporação do revestimento nanocompósito no mamão minimamente processado poderia prevenir o crescimento microbiano em comparação ao não revestido. De acordo com esses estudos, pode-se concluir que o tratamento com nanocompósitos poderia, alternativamente, fornecer um método aceitável para preservar e aumentar a vida útil pós-colheita do mamão minimamente processado.

Outras alternativas têm se destacado, como o emprego de nanoargila na produção de filmes e revestimentos ativos. Tais materiais são apontados na literatura como uma possível solução para estender o período de armazenamento dos produtos alimentícios com alto teor de umidade, que estragam rapidamente, mesmo sob condições de refrigeração, como é o caso dos VMP (Nath et al., 2022).

Além da capacidade de controle dos gases e/ou umidade presentes na atmosfera interna das embalagens, as embalagens ativas ainda podem ser caracterizadas pela liberação de componentes bioativos. Tais substâncias ativas têm como formas mais difundidas de atuação o controle microbiológico e oxidativo, dando origem às embalagens ativas antimicrobianas e antioxidantes, respectivamente. As embalagens ativas se tornam ainda mais interessantes quando as substâncias responsáveis por sua bioatividade têm origem de fontes naturais (Arruda et al., 2022). Numerosos antioxidantes naturais, nanocargas e agentes antimicrobianos têm sido usados para incorporar matrizes biopoliméricas para aumentar as propriedades características (resistência à oxidação, atividade antimicrobiana, propriedades mecânicas e de barreira) dos filmes de embalagem de alimentos ativos (Rangaraj et al., 2021).

Bhat et al. (2022) desenvolveram filmes ativos com a incorporação de extrato de moringa em matriz de quitosana/goma guar/poli (álcool vinílico), sugerindo os mesmos como opção biodegradável, biocompatível, não tóxica e, portanto, aplicável como material de embalagem de alimentos. Um outro exemplo de material amplamente explorado por suas propriedades bioativas, inclusive na produção de embalagens ativas, é a cúrcuma. Uma especiaria amplamente utilizada na alimentação desde a antiguidade, que apresenta a curcumina em sua constituição, com várias propriedades biológicas, como antioxidante, antibacteriano, antiviral, antitumoral e anti-inflamatório (Roy & rhim, 2020; Roy et al., 2022).

Além disso, dentre as funcionalidades das embalagens ativas, a interrupção ou retardamento das reações oxidativas podem ser alcançados pela utilização de revestimentos ativos enriquecidos com compostos antioxidantes (Khan et al., 2021).

As embalagens ativas também são muito exploradas quanto às suas propriedades antimicrobianas. Lehtonen et al. (2019) relatam a ação fungicida do hexanal do aerogel de galactoglucomanano em amostras de tomate cereja e mirtilo, prevenindo o amolecimento dos tomates cereja estudados e mantendo os mirtilos visualmente inalterados por cinco dias em temperatura ambiente, comparado a amostra controle, em que o crescimento do bolor já era evidente. Em outro estudo, conduzido por Sani et al. (2019), embalagens ativas com nanopartículas de dióxido de titânio demonstraram-se seguras, com taxas de migração insignificantes, e com propriedades antimicrobianas e atividades de eliminação de gás etileno. Diante do mencionado, as embalagens ativas têm mostrado aspectos positivos e promissores para manutenção da qualidade e segurança de VMP, bem como auxilia na conservação das propriedades sensoriais desses alimentos (Tabela 1).

Tabela 1. Aplicação de embalagens ativas em vegetais minimamente processados.

Vegetal Minimamente Processado	Revestimento/ Embalagem	Propriedade	Função/ Resultado	Referência
Tomate cereja	Caixas de poli (tereftalato de etileno) com óleo essencial de pimenta rosa	Conservação	Menor perda de peso; Retardo da maturação	Locali-Pereira et al. (2021)
Uva	Filme de álcool polivinílico ativo (7% PVA) com 1% de óleo essencial de cravo	Antifúngica	Retardo do crescimento fúngico e prolongamento da vida útil	Luesuwan et al. (2021)
Morangos	Atmosfera modificada (PE, PP e PET)	Antimicrobiana	Extensão da vida de prateleira	Paulsen, Barrios & Lema (2021)
Pitaya	Filmes a base de amido e álcool polivinílico	Capacidade antioxidante, antimicrobiana	Melhora o frescor	Yao et al. (2021)
Mamão	Quitosana e ZnO nanopartículas	Antimicrobiana	Aumento da vida útil pós-colheita	Lavínia et al. (2019)
Maçã	Bandeja com fundo duplo com complexos de inclusão de β -ciclodextrina com os óleos essenciais de anis estrelado	Atividade antimicrobiana	Redução da produção de etileno, taxa de respiração, perda de firmeza e diminuição do pH.	Neto et al. (2019)
Alface	Pad de celulose e polipropileno com sachê emissor de trans-anetol	Antimicrobiana Conservação	Redução da descoloração; Indução da biossíntese de derivados cafeoil, fenólicos totais e atividade antioxidante; Melhora do frescor e o odor geral	Wiecznyńska & Cavoski (2018)

Fonte: Autoria própria.

Destacam-se também os filmes constituídos de pectina, com características mecânicas, hidrofóbicas e térmicas, que depois de funcionalizadas com compostos ativos, apresentam propriedades antimicrobianas, antioxidantes e de barreira bastante adequadas para conservação de alimentos. A embalagem ativa à base de pectina tem grandes vantagens para prolongar a vida de prateleira dos alimentos, retardando a oxidação lipídica, inibindo o crescimento microbiano e controlando a atividade de água, entre outras propriedades (Huang et al., 2021).

Extratos vegetais (chá verde e Aloe vera), óleos essenciais (capim-limão), compostos de óleos vegetais (eugenol e citral) e fenólicos (timol) como componente de filmes ativos ou sistemas de revestimento têm mostrado resultados promissores na preservação da qualidade de produtos frescos, como as frutas e hortaliças (Khan et al., 2021).

As embalagens ativas com óleos essenciais encapsulados mostram-se uma alternativa potencialmente sustentável e eficaz na manutenção da qualidade de frutas e hortaliças, como demonstrado no estudo de López-Gómez et al. (2020), em que uvas, nectarinas e alface mantiveram melhor preservação da qualidade e apresentaram redução do crescimento microbiano. As características físicas, químicas e biológicas dos óleos essenciais podem ser reguladas por aprisionamento ou revestimento com outros materiais que os protegem contra processos agressivos e condições externas desfavoráveis, colocando-os como uma possível estratégia que pode ser associada a embalagens para preservação de alimentos (Guo et al., 2021).

Ao utilizarem o óleo essencial de pimenta rosa em caixas de poli (tereftalato de etileno) para armazenamento de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) por 21 dias à 25°C, Locali-Pereira et al. (2021) observaram que as embalagens ativas resultaram em menor perda de peso, sólidos solúveis totais, pH e concentração de licopeno, enquanto os frutos armazenados em embalagens não ativas apresentaram evidências de maturação mais rápida com base nesses parâmetros. Nair et al. (2020) ressalta que a competência de fenólicos, óleos essenciais e nanoestruturas em estender a vida de prateleira sem afetar as propriedades nutricionais e os aspectos de segurança das frutas e vegetais requer ainda muita atenção.

As embalagens ativas surgem como alternativas interessantes para atender a demanda dos consumidores por alimentos frescos e nutritivos, trazendo a possibilidade de reduzir a taxa de deterioração dos alimentos atribuída à atividade microbiana ou outras reações de degradação fisiológica/química comumente apresentadas por frutas e vegetais minimamente processados. A utilização das mesmas torna possível fornecer alimentos seguros com vida útil estendida, atendendo às demandas dos consumidores por produtos alimentícios nutritivos e acessíveis (Giannakourou & Tsironi, 2021).

Vale ainda ressaltar que as embalagens ativas, conforme estudos aqui apontados, podem ainda estar vinculadas à aspectos ambientais quando produzidas a partir de materiais oriundos de fonte renovável e/ou biodegradáveis ou mesmo recicláveis. Muitos polímeros ambientalmente amigáveis (chamados de biopolímeros) têm sido investigados como base para o desenvolvimento de embalagens ativas, principalmente no contexto das embalagens de liberação (antioxidantes/antimicrobianas). Polietileno (PE) de base biológica, poli(trimetileno tereftalato) (PTT), PLA, poli(butileno succinato) (PBS), amido, amido termo plastificado, celulose, quitosana, pectina, colágeno, gelatina, caseínas, zeína, ceras naturais, polipfenileno (PPP) e polihidroxialcanoatos (PHAs) são alguns exemplos de biopolímeros amplamente encontrados no mercado (Grujic, Vujadinovic, & Savanovic, 2017). A expansão deste tópico torna-se de grande relevância no cenário atual, em que novas alternativas têm sido visadas para embalagens de alimentos. Desta forma, a junção da tecnologia inovadora das embalagens ativas aliada à bioconceitos se torna fundamental para uma grande temática em constante evolução.

4. Conclusão

Dentre as suas funcionalidades, as embalagens ativas podem constituir um sistema de controle da atmosfera em seu interior, contribuindo para conservação dos produtos embalados. Essa tecnologia auxilia a oferta de produtos nutritivos e seguros, tornando-se uma valiosa ferramenta aliada à produção de alimentos industrializados, principalmente no contexto dos alimentos vegetais. Vegetais minimamente processados requerem uma maior atenção e têm sua vida útil restrita devido às próprias condições fisiológicas dos alimentos. Mais ainda, as embalagens ativas podem proporcionar uma extensão da vida útil destes produtos a partir da incorporação de substâncias bioativas, com propriedades antimicrobianas e/ou antioxidantes. Diante do apresentado e discutido nesta revisão, propõe-se o emprego destas embalagens para a conservação de vegetais minimamente processados. Por outro lado, observa-se a necessidade da realização de estudos que abordem custos e viabilidade da utilização dessas embalagens, além de toxicidade e riscos que as mesmas possam oferecer.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade a B.R.C. Leite Júnior (nº306514/2020-6), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código de Financiamento 001) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG - APQ-00388-2).

Referências

- Ahamad, M., Nirmal, N. P., Danish, M., Chuprom, J., & Jafarzedeh, S. (2016). Characterisation of composite films fabricated from collagen/chitosan and collagen/soy protein isolate for food packaging applications. *Royal Society of chemistry*, 6.
- Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., Ozcan, M.M., Jauhurul, M.H.A., Babiker, E. E., Jinap, S., & Zaidul, I. S. M. (2018). Effect of various food processing and handling methods on the preservation of natural antioxidants in fruits and vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 3872-3880.
- Arruda, T. R., Bernardes, P. C, Moraes, A. R. F, Soares, N. F. F. (2022). Natural bioactives in perspective: The future of active packaging based on essential oils and plant extracts themselves and those complexed by cyclodextrins. *Food Research International*, 156, 111160.
- Asdagh, A., & Pirsá, S. Bacterial and oxidative control of local butter with smart/active film based on pectin/nanoclay/*Carum copticum* essential oils/ β -carotene. (2020). *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 156-18.
- Bhat, V. G., Narasagoudr, S. S., Masti, S. P., Chougale, R. B., Vantamuri, A. B., & Kasai, D. (2022). Development and evaluation of Moringa extract incorporated Chitosan/Guar gum/Poly (vinyl alcohol) active films for food packaging applications. *Macromolecules*, 200, 50-60.
- Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., & Gopal, T. K. S. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal Food Science and Tecnology*, 52, 6125 – 6135.
- Bodbodak, S., & Rafiee, Z. (2016). Recent trends in active packaging in fruits and vegetables. *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*, 7-125.
- Chiara, M. L. V., Licciulli, A., Amodio, M. L., & Colelli, G. (2015). Photocatalytic degradation of ethylene on mesoporous TiO₂/SiO₂ nanocomposites: effects on the ripening of mature green tomatoes. *Byosystems Engineering*, 132, 61-70.
- Cirillo, G., Kozłowski, M. A., & Spizzirri, U. G. (2018). *Composite Materials for Food Packaging*. Willey.
- Cortez-Veja, W. R., Pizato, S., Souza, J. T. A., & Prentice, C. (2014). Using edible coatings from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 197-202.
- Delorme, M. M., Guimaraes, J., Coutinho, N. M., Balthazar, C., Rocha, R., Silva, R., Margalho, L.P., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Granato, D., Sant'ana, A., Maria Carmela, K. H., & Cruz, A. (2020). Ultraviolet radiation: an interesting technology to preserve the quality and safety of milk and dairy products. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 146-154.
- Dinika, I., Verma, D.K., Baila, R., Utama, G. L., Patel, A. R. (2020). Potential of cheese whey bioactive proteins and peptides in the development of antimicrobial edible film composite: A review of recent trends. *Trends in Food Science & Technology*, 07-20.
- Duran, M., Aday, M. S., Zorba, N. N. D., Temizkan, R., Buyukcn, M. B., & Caner, C. (2016). Potential of antimicrobial active packaging 'containing natamycin, nisin, pomegranate and grape seed extract in chitosan coating' to extend shelf life of fresh strawberry. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 354-363.
- Fan, X., & Wang, W. (2020). Quality of fresh and fresh-cut produce impacted by nonthermal physical technologies intended to enhance microbial safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(3),1-21.
- Farcuh, M., Rivero, R. M., Sadka, A., & Blumwald, E. (2018). Ethylene regulation of sugar metabolism in climacteric and non-climacteric plums. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 20-30.
- Finnegan, E., & O'Beirne, D. (2015). Characterising deterioration patterns in fresh-cut fruit using principal component analysis. II: Effects of ripeness stage, seasonality, processing and packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 91-98.
- Fiروز, M. S., Alimardani, R., Mobli, H., & Mohtasebi, S. S. (2021). Effect of modified atmosphere packaging on the mechanical properties of lettuce during shelf life in cold storage. *Information Processing in Agriculture*, 8, 485-493.
- Galani, J. H. Y., Patel, J. S., Patel, N., & Talati, J. H. (2017). Storage of Fruits and Vegetables in Refrigerator Increases their Phenolic Acids but Decreases the Total Phenolics, Anthocyanins and Vitamin C with Subsequent Loss of their Antioxidant Capacity. *Antioxidants*, 6(3), 59.
- Giaconia, M. A., Ramos, S. P., Pereira, C. F., Lemes, A. C., Rosso, V. V., & Braga, A. R. C. (2020). Overcoming constraints of biological effects of bioactive compounds in food using nano-sized structures. *Food Hydrocolloids*, 107, 105939.
- Giannakourou, M. C., & Tsironi, T. N. (2021). Application of Processing and Packaging Hurdles for Fresh-Cut Fruits and Vegetables Preservation. *Foods*, 10(4), 830.
- Grande-Tovar, C. D., Chaves-Lopez, C., Serio, A., Rossi, C., & Paparella, A. (2018). Chitosan coatings enriched with essential oils: effects on fungal decay of fruits and mechanisms of action. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 61-71.
- Grujic, R., Vujadinovic, D., & Savanovic, D. (2017). Advances in applications of industrial biomaterials. In: Pellicer, E., Nikolic, D., Sort, J., Baró, M., Zivic, F., Grujovic, N., Grujic, R., Pelemis, S. (eds) (Org.). *Advances in Applications of Industrial Biomaterials*. [s.l: s.n.]. p. 139–160.
- Guo, Q., Du, G., Jia, H., Fan, Q., Wang, Z., Gao, Z., Yue, T., & Yuan, Y. (2021). Essential oils encapsulated by biopolymers as antimicrobials in fruits and vegetables: A review. *Food Bioscience*, 44, 101367.
- Hernández-Hernández, H.M., Moreno-Vilera, L., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 58.

- Hoffmann, T. G., Peters, D. A., Angioletti, B. L., Bertoli, S.L., Péres, L. V., Reiter, M. G. R., & Souza, C. K. (2019). Potential nanocomposites in food packaging. *Chemical Engineering Transactions*, 75, 253–258.
- Huang, J., Hu, Z., Hu, L., Li, G., Yao, Q., & Hu, Y. (2021). Pectin-based active packaging: A critical review on preparation, physical properties and novel application in food preservation. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 167-178.
- Jafarzadeh, S., Nafchi, A.M., Salehabadi, A., Oladzad-Abbsabadi, N., & Jafari, S.M. (2021). Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Advances in Colloid and Interface Science*, 291, 102405.
- Kaewklin, P., Siripatrawan, U., Suwanagul, A., & Lee, Y.S. (2018). Active packaging from chitosan titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. *International Journal Biological Macromolecules*, 112, 523-9.
- Khan, M. R., Giuseppe, F. A. D., Torrieri, E., & Sadiq, M. B. (2021). Recent advances in biopolymeric antioxidant films and coatings for preservation of nutritional quality of minimally processed fruits and vegetables. *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100752.
- Koca, N., Uргу, M., & Saatli, T. (2018). *Ultraviolet light applications in dairy processing*. Mendeley.
- Lavinia, M., Hibaturrahman, S.N., Harinata, H., & Wardana, A.A. (2019). Antimicrobial activity and application of nanocomposite coating from chitosan and ZnO nanoparticle to inhibit microbial growth on fresh-cut papaya. *Food Research*, 4, 307-311.
- Lehtonen, M., Kekäläinen, S., Nikkila, I., Kilpeläinen, P., Tenkanen, M., & Mikkonen, K. S. (2019). Active food packaging through controlled in situ production and release of hexanal. *Food Chemistry: X*, 5, 100074.
- Locali-Pereira, A. R., Guazi, J. S., Conti-Silva, A. C., & Nicoletti, V. R. (2021). Active packaging for postharvest storage of cherry tomatoes: Different strategies for application of microencapsulated essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100723.
- Li, W., Cao, Li, L., Cao, Y., Lan, T., Chen, H., & Qin, Y. (2017). Effects of PLA film incorporated with ZnO nanoparticle on the quality attributes of fresh-cut apple. *Nanomaterials*, 7, 207.
- López-Gómez, A., Ros-Chumillas, M., Buendía-Moreno, L., & Martínez-Hernández, G. B. (2020). Active Cardboard Packaging With Encapsulated Essential Oils for Enhancing the Shelf Life of Fruit and Vegetables. *Frontiers in Nutrition*, 7, 559978.
- Luesuan, S., Naradisorn, M., Shiekh, K. A., Rachtanapun, P., & Tongdeesontorn, W. (2021). Effect of Active Packaging Material Fortified with Clove Essential Oil on Fungal Growth and Post-Harvest Quality Changes in Table Grape during Cold Storage. *Polymers*, 13(19), 3445.
- Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2009). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables for extending shelf-life-a review. *Fresh Produce*, 1-31, 2009.
- Moreno-Vilet, L., Hernandez-Hernandez, H.M., & Villanueva-Rodriguez, S.J. (2018). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: new thermal processing. *Innovative food Science and emerging Technologies*, 50, 196-206.
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shir Khan, F., & Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 321-332.
- Nair, M. S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., & Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 304-320.
- Nath, D., R, S., Pal, K., & Sarkar, P. (2022). Nanoclay-based active food packaging systems: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100803.
- Neto, A.C.R., Beaudry, R., Maraschim, M., Di Piero, R.M., & Almenar, E. (2019). Double-bottom antimicrobial packaging for apple shelf-life extension. *Food Chemistry*, 279, 379-388.
- Pace, B., & Cefola, M. (2021). Innovative Preservation Technology for the Fresh Fruit and Vegetables. *Foods*, 10(4), 719.
- Paulsen, E., Barríos, S., & Lema, P. (2021). Production of packaged ready-to-eat whole strawberries (cv. San Andreas): Packaging conditions for shelf-life extension. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100696.
- Pirsa, S., Sani, I. K., & Khodayvandi, S. (2018). Design and fabrication of starch-nano clay composite films loaded with methyl orange and bromocresol green for determination of spoilage in milk package. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(11), 2750-2758.
- Prakash, A., Baskaran, R., Paramasivam, N., & Vadivel, V. (2018). Essential oil based nanoemulsions to improve the microbial quality of minimally processed fruits and vegetables: a review. *Food Reserch Internartional*, 11, 509-523.
- Priyadarshi, R., Roy, S., Ghosh, T., Biswas, D., & Rhim, J. (2021). Antimicrobial nanofillers reinforced biopolymer composite films for active food packaging applications - a review. *Sustainable Materials and Technologies*, e00353.
- Precedence Research. (2022). Fruit and Vegetable Processing Market. <https://www.precedenceresearch.com/fruit-and-vegetable-processing-market>
- Qian, M., Liu, D., Zhang, X., Yin, Z., Ismail, B. B., Ye, X., & Guo, M. (2021). A review of active packaging in bakery products: Applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 459-471.
- Rangaraj, V. M., Rambabu, K., Banat, F., & Mittal, V. (2021). Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience*, 43, 101251.
- Romanazzi, G., Feliziani, E., Baños, S.B., & Sivakumar, D. (2015). Shelf life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 579-601.

- Roy, S., Priyadarshi, R., Ezati, P., & Rhim, J. (2022). Curcumin and its uses in active and smart food packaging applications - a comprehensive review. *Food Chemistry*, 375, 131885.
- Roy, S., & Rhim, J. (2020). Preparation of antimicrobial and antioxidant gelatin/curcumin composite films for active food packaging application. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 188, 110761.
- Roy, S., & Rim, J. W. (2020). Anthocyanin food coloring and its application in pH-responsive color change indicator films. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-29.
- Salgado, P. R., Di Giorgio, L., Musso, Y. S., & Mauri, A. N. (2019). Bioactive packaging: combining nanotechnologies with packaging to improve food functionality. *Nanomaterials for Food Application*, 233 – 270.
- Sani, I.K., Pirsá, Ş., & Tagi, S. (2019). Preparation of a chitosan/zinc oxide/Melissa officinalis essential oil nanocomposite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by the response surface method. *Polymer Testing*, 79.
- Sani, M. A., Maleki, M., Eghbaljoo-Gharehgheshlaghi, H., Khezerlou, A., Mohammadian, E., Liu, Q., & Jafari, S. M. (2022). Titanium dioxide nanoparticles as multifunctional surface-active materials for smart/active nanocomposite packaging films. *Advances in Colloid and Interface Science*, 300, 102593.
- Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2021). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, 343, 128403.
- Umaraw, P., Munekata, P. E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P., & Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 10-24.
- Umaraw, P., & Verma, A.K. (2017). Comprehensive review on the application of edible film to meat and meat products: an eco-friendly approach. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6), 1270-1279.
- Valdés, A., Melinas, A.C., Ramos, M., Burgos, N., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2015). Use of herbs, spices and their bioactive compounds in active food packaging. *RSC Advances*, 5, 40324-40335.
- Valenzuela, J. L., Manzano, S., Palma, F., Carvajal, F., Garrido, D., & Jamilena, M. (2017). Oxidative Stress Associated with Chilling Injury in Immature Fruit: Postharvest Technological and Biotechnological Solutions. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(7).
- Wieczyńska, J., & Cavoski, I. (2018). Antimicrobial, antioxidant and sensory features of eugenol, carvacrol and trans-anethole in active packaging for organic ready-to-eat iceberg lettuce. *Food chemistry*, 259, 251-260.
- Wu, C. T. (2010). An overview of postharvest biology and technology of fruits and vegetables. *An overview of postharvest biology and technology of fruits and vegetables*, 2-11.
- Xue, Z., Li, J., Yu, W., Lu, X., & Kou, X. (2016). Effects of non-thermal preservation technologies on the antioxidant activity of fruits and vegetables. *Food Science and Technology International*, 22, 440 – 458.
- Yao, X., Liu, J., Hu, H., Yun, D., & Liu, J. (2021). Development and comparison of different polysaccharide/PVA-based active/intelligent packaging films containing red pitaya betacyanins. *Food Hydrocolloids*, 124, 107305.
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165–199.
- Yousefi, M., Ehsanih, A., & Jafari, S. M. (2019). Lipid-based nano delivery of antimicrobials to control food-borne bacteria. *Adv. Colloid Interface Science*, 270, 263-277.