



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: TENDÊNCIAS EM EMBALAGENS ATIVAS PARA ALIMENTOS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: TENDENCIAS EN ENVASES DE ALIMENTOS ACTIVOS

LITERATURE REVIEW: TRENDS IN ACTIVE FOOD PACKAGING

Patricia Viera de Oliveira¹; Leandro Pellenz²; Carlos Rafael Silva de Oliveira³ Lisandro Simão⁴; Afonso Henrique da Silva Júnior⁵

DOI :<https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0081>

RESUMO

Aproximadamente um terço dos alimentos produzidos (1,3 bilhão de toneladas de alimentos) para consumo humano é perdido ou desperdiçado todos os anos em toda cadeia de suprimentos do mundo, desde a produção agrícola inicial até o consumo final. Além disso, a crescente demanda dos consumidores por alimentos minimamente processados e *in natura* vem sendo frequentemente discutidas e tornam-se um desafio da indústria de alimentos bem como a cadeia produtora de alimentos. Destaca-se que mais de 25% dos alimentos são desperdiçados devido a embalagens inadequadas, proteção e armazenamento insuficiente. As embalagens desempenham, portanto, funções importantes na indústria de alimentos, começando pelo transporte, distribuição, varejo e o principal a proteção e preservação. Diante disso, o estudo e desenvolvimento de embalagens apropriadas para atender a demanda dos mercados e de seus consumidores está em constante crescimento. A embalagem ativa compreende sistemas que interagem com o alimento de forma a incorporar deliberadamente componentes que liberam ou absorvem substâncias dentro ou fora do alimento embalado ou ao redor do ambiente do alimento, e atuam de forma a manter ou prolongar a vida útil dos produtos alimentícios. Os sistemas de embalagens ativas que serão apresentadas são: absorvedores de oxigênio, absorvedores de etileno, absorvedoras de umidade, absorvedores e/ou liberadores de sabor e odor, eliminadores de CO₂, antimicrobianos e antioxidantes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar algumas recentes

¹ Engenheira Química, Mestre em Nanociências (Universidade Franciscana), Doutoranda em Engenharia Química (Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC), p.v.oliveira@posgrad.ufsc.br

² Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis (Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS), Doutorando em Engenharia Química (Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC), leandropellenz@hotmail.com

³ Engenheiro Têxtil (Universidade Estadual de Maringá – UEM), Doutor em Engenharia Química (UFSC), carlos.oliveira@ufsc.br;

⁴ Engenheiro Ambiental e Sanitarista (Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC), Doutor em Ciência e Engenharia

de Materiais (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC), lisandrosimao@gmail.com;

⁵ Engenheiro Agroindustrial-Agroquímico (Universidade Federal do Rio Grande – FURG), Mestre em Engenharia Química, Doutorando em Engenharia Química (Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC), afonso.silva@posgrad.ufsc.br;

inovações tecnológicas na área de embalagens ativas para alimentos. Os resultados deste trabalho são úteis para identificar tendências ou novas áreas de pesquisa, bem como ampliar a utilização desta tecnologia, pois apresentam inúmeras vantagens como redução da perda de produtos, aumento da vida de prateleira, retardando ou inibindo a deterioração dos alimentos. Diante disso, as embalagens ativas apresentam uma alternativa promissora para serem aplicadas em alimentos. Porém, ainda que esta tecnologia necessita ser aprimorada e um melhor entendimento dos princípios e mecanismos ainda são necessários para otimizar o uso destas embalagens e desenvolver sistemas eficazes e seguros.

Palavras-Chave: indústria de alimentos, embalagem ativa, tecnologia, conservação, vida de prateleira

RESUMEN

Aproximadamente un tercio de los alimentos producidos (1300 millones de toneladas de alimentos) para el consumo humano se pierden o desperdician cada año en la cadena de suministro mundial, desde la producción agrícola inicial hasta el consumo final. Además, la creciente demanda de los consumidores por alimentos mínimamente procesados e *in natura* ha sido objeto de debate frecuente y se convierte en un desafío para la industria alimentaria y la cadena de producción de alimentos. Cabe destacar que más del 25% de los alimentos se desperdician por inadecuado empaque, protección y almacenamiento insuficiente. Por lo tanto, el embalaje juega un papel importante en la industria alimentaria, empezando por el transporte, la distribución, la venta al por menor y, lo más importante, la protección y conservación. Por ello, el estudio y desarrollo de envases adecuados a la demanda de los mercados y sus consumidores está en constante crecimiento. Los envases activos comprenden sistemas que interactúan con los alimentos para incorporar deliberadamente componentes liberan o absorben sustancias dentro o fuera de los alimentos envasados o alrededor del entorno alimentario, y actúan para mantener o extender la vida útil de los productos alimenticios. Los sistemas de envases activos que se presentarán son: absorbentes de oxígeno, absorbentes de etileno, absorbentes de humedad, absorbentes y/o liberadores de sabor y olor, secuestrantes de CO₂, antimicrobianos y antioxidantes. En este contexto, el objetivo de este trabajo es presentar las innovaciones tecnológicas más recientes en el área de los envases activos para alimentos. Los resultados de este trabajo son útiles para identificar tendencias o nuevas áreas de investigación, así como ampliar el uso de esta tecnología, ya que presenta numerosas ventajas como reducir la pérdida de producto, aumentar la vida útil, retrasar o inhibir el deterioro de los alimentos. Por lo tanto, los envases activos presentan una alternativa prometedora para ser aplicada en alimentos. Sin embargo, esta tecnología aún debe mejorarse, aún se necesita una mejor comprensión de los principios y mecanismos para optimizar el uso de estos paquetes y desarrollar sistemas efectivos y seguros.

Palabras Clave: industria alimentaria, envasado activo, tecnología, conservación, vida útil.

ABSTRACT

Approximately one-third of the food produced (1.3 billion tons of food) for human consumption is lost or wasted every year across the world's supply chain, from initial agricultural production to final consumption. In addition, the growing consumer demand for minimally processed and "*in nature*" foods has been frequently discussed and becomes a challenge for the food industry as well as the food production chain. It is noteworthy that more than 25% of food is wasted due to inadequate packaging, protection, and insufficient storage. Packaging, therefore, plays an important role in the food industry, starting with transport, distribution, retail, and, most importantly, protection and preservation. Therefore, the study and development of appropriate packaging to meet the demand of markets and their consumers are constantly growing. Active packaging comprises systems that interact with food to deliberately incorporate components that would release or absorb substances into or out of the packaged food or around the food environment, and act to maintain or extend the shelf life of food products. The active packaging systems that will be presented are oxygen absorbers, ethylene absorbers, moisture absorbers, flavor, and odor absorbers and/or releasers, CO₂ scavengers, antimicrobials, and antioxidants. In this context, the objective of this work is to present the most recent technological innovations in the field of active packaging for food. The results of this work are useful to identify trends or new areas of research,

as well as to expand the use of this technology, as they have numerous advantages such as reducing product loss, increasing shelf life, and delaying or inhibiting food spoilage. Therefore, active packaging presents a promising alternative to be applied to food. However, this technology will still need to be improved, and a better understanding of the principles and mechanisms is still needed to optimize the use of these packages and to develop effective and safe systems.

Keywords: food industry, active packaging, technology, conservation, shelf life

INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e alimentação (FAO), aproximadamente um terço dos alimentos produzidos (1,3 bilhão de toneladas de alimentos) para consumo humano é perdido ou desperdiçado todos os anos em toda cadeia de suprimentos do mundo, desde a produção agrícola inicial até o consumo final (ISHANGULYYEV; KIM; LEE, 2019).

Acrescenta-se que fatores como a crescente pressão para alimentar uma população mundial exponencialmente crescente, aumento dos custos dos alimentos, questões relacionadas à segurança alimentar e a segurança dos alimentos, e o aumento da demanda dos consumidores por produtos minimamente processados e sensorialmente similares aos alimentos *in natura* são frequentemente discutidas e tornam-se portanto um desafio da indústria de alimentos bem como a cadeia produtora de alimentos cumprir rigorosas leis e regulamentos de segurança alimentar (GULATI et al., 2013; JANJARASSKUL; SUPPAKUL, 2017).

Diante disso, as embalagens desempenham um papel importante na cadeia de indústria de alimentos, começando pelo transporte, distribuição, varejo e o principal a proteção e preservação (BRODY et al., 2008). Um relatório publicado pela Organização Mundial de Embalagens mostra que mais de 25% dos alimentos são desperdiçados devido a embalagens inadequadas, dosagem inadequada e proteção de armazenamento insuficiente (WIKSTRÖM et al., 2019). De acordo com os Markets Business Insider (2020), o tamanho global do mercado de embalagens durante 2019 foi avaliado em US \$ 909,2 bilhões e deverá atingir US\$ 1.012,6 bilhões até 2021, registrando um CAGR de 5,5% durante a pandemia (MARKETS BUSINESS INSIDER, 2020).

As embalagens tradicionais apresentam como principal função atuar como barreira a impactos mecânicos e/ou físicos, reações químicas e invasão de microrganismo patogênicos (WIKSTRÖM et al., 2019). Em consideração a isso, torna-se essencial o estudo e desenvolvimento de novos materiais e embalagens. Avanços recentes incorporaram funcionalidades as embalagens, tal como embalagens inteligentes (KALPANA et al., 2019) e

destaca-se as embalagens ativas que aumentam a vida útil de alimentos e minimizam o uso de conservantes e são alvo deste trabalho (DE JONG et al., 2005; YAN; HSIEH; RICACHO, 2022).

As embalagens ativas compreendem sistemas de embalagens que interagem com o alimento de forma a incorporar deliberadamente componentes que liberam ou absorvem substâncias dentro ou fora do alimento embalado ou do ambiente ao redor do alimento, e atuam de forma a manter ou prolongar a vida útil dos produtos alimentícios, garantindo sua qualidade, segurança e integridade (YILDIRIM et al., 2018).

Neste trabalho, apresentamos pesquisas recentes relacionadas à embalagens ativas aplicadas em alimentos. Este estudo fornece informações valiosas que podem ser úteis para identificar tendências ou novas áreas de pesquisa, bem como ampliar a produção/utilização desta tecnologia emergente.

APLICAÇÃO DAS EMBALAGENS ATIVAS

As embalagens ativas são os sistemas que como resultado das atividades químicas, físicas e biológicas alteram ativamente as condições do alimento embalado, causam uma extensão de sua sustentabilidade e, portanto, sua vida de prateleira, garantem ou melhoram significativamente a segurança microbiológica e/ou ou propriedades sensoriais, mantendo e/ou melhorando sua qualidade (WYRWA; BARSKA, 2017). Além disso, as embalagens ativas, são embalagens que contêm certos aditivos conhecidos como “ativos” incorporados no material de embalagem ou colocados dentro do recipiente da embalagem para interagir diretamente com o produto perecível e/ou seu ambiente visando estender sua qualidade e/ou segurança (RODRIGUES ARRUDA et al., 2022). Acrescenta-se que estas embalagens promovem uma barreira entre comida e ambiente externo, onde o material reage com a comida e aumenta a vida útil, proporciona produtos frescos e seguros, retardam o processo de deterioração dos alimentos em consonância necessidade de fornecer alimentos suficientes para uma população global em rápido crescimento (BRODY; STRUPINSKY; KLINE, 2001; WYRWA; BARSKA, 2017).

Quanto ao material de embalagem ou revestimento ativo existem diversos, incluindo materiais como polietileno, polietileno de baixa densidade, polipropileno, tereftalato de polietileno, álcool etileno vinílico, poli (ácido lático), poliamida, poliestireno, álcool

polivinílico, entre outros (WEI et al., 2021).

Acrescenta-se o uso de embalagens ativas biodegradáveis sendo utilizadas como alternativas sustentáveis para uso na indústria de alimentos (SANI et al., 2021). Também o uso de nanomateriais e transformação de compostos ativos de escala micro para nano, micro e nanoencapsulação de compostos ativos, o uso de metais e óxidos metálicos, nanopartículas orgânicas e nanocarreadores. Além disso as modificações química de polímeros, preparação de filmes são amplamente utilizadas e atuam fornecendo melhores funções ativas em embalagens (ALMASI; JAHANBAKHSO OSKOUIE; SALEH, 2020).

As embalagens ativas prolongam a vida útil de produtos através de impactos nos processos em alimentos tal como (i) processos fisiológicos, por exemplo, respiração de frutas e vegetais frescos; (ii) processos químicos, por exemplo, na oxidação de gorduras; (iii) processos físicos, tais como envelhecimento do pão; (iv) alterações microbiológicas devido impactos de microorganismos; e (v) infecções causadas por insetos (WYRWA; BARSKA, 2017).

Os sistemas de embalagem ativa podem ser categorizados como removedores /absorvedores de oxigênio, removedores/absorvedores de etileno, absorvedores de líquidos e umidade, absorvedores ou liberadores de sabor e odor, eliminadores/emissores de CO₂, antimicrobianos, antioxidantes, entre outros (DE ABREU; CRUZ; LOSADA, 2012). O quadro 01, abaixo, sintetiza alguns exemplos de embalagens ativas e trabalhos recentes desenvolvidos na área e a seguir os principais resultados obtidos nas pesquisas são mencionados com mais detalhes.

Quadro 01: Exemplos de aplicação de área de embalagens ativas em alimentos.

Embalagem ativa/Sistema estudado	Aplicação	Referência
Antimicrobiana/Encapsulação de citral e trans-cinamaldeído em β -Ciclodextrina.	Carne bovina resfriada	(CHEN et al., 2019)
Antioxidante/extrato de chá verde e óleo essencial de orégano	Presunto cozido fatiado	(PATEIRO et al., 2019)
Removedores de etileno/ filmes de triticale contendo KMnO ₄	Tomates cereja	(ARAGÜEZ et al., 2020)

Removedores de oxigênio/Filme baseado em sistema catalítico com paládio	Óleo de linhaça	(FAAS et al., 2020)
Atmosfera modificada/sachê de remoção de umidade sílica grossa e sachê de gel e removedor de etileno contendo permanganato de potássio	Goiaba	(GAIKWAD; SINGH; AJJI, 2019)
Absorvedor de CO ₂ /Impregnação de hidróxido de cálcio e meio poroso	kimchi	(LEE; JEONG; YOO, 2019)
Atmosfera modificada/ filme ativo de polietileno revestidos com zeína/gelatina	Frutas, morango	(AHMED et al., 2017)

Fonte: Própria (2022).

As embalagens ativas contendo antimicrobianos, minimizam a contaminação e aumentam a vida útil dos alimentos, pois elas interagem com o alimento embalado ou o *headspace* da embalagem para reduzir, retardar ou mesmo inibir o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos. A atividade antimicrobiana de tais filmes pode ser alcançada pela incorporação de agentes antimicrobianos em uma matriz polimérica (DOBRUCKA; PRZEKOP, 2019). Além disso, as embalagens antimicrobinas podem ser utilizados como sachês contendo agentes antimicrobianos voláteis, incorporação de revestimentos antimicrobianos em polímeros que podem ser realizados por meio de ligações de superfície, iônicas ou covalentes pela técnica de imobilização, funcionalização encapsulamento e/ou métodos combinados (APPENDINI; HOTCHKISS, 2002; SOFI et al., 2018). Um exemplo de embalagem antimicrobiana é o estudo desenvolvido por Chen et al (2019), na qual avaliou a encapsulação de antimicrobianos naturais, como citral e trans-cinamaldeído, em filme de um complexo de inclusão com β -Ciclodextrina. Foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas do filme, além da taxa de liberação dos compostos antimicrobianos naturais do filme. Além disso, foram determinadas a estabilidade térmica do complexo e avaliado a função conservante de filmes potencializados com os complexos antimicrobianos em carne bovina resfriada embalada. Os resultados demonstraram que o filme contendo complexo de inclusão

de β -ciclodextrina apresentou baixo coeficiente de difusão e alta concentração de equilíbrio de antimicrobianos naturais em simuladores de alimentos, e vida útil prolongada da carne bovina em cerca de 4 dias a $4 \pm 1^\circ\text{C}$. Em geral, os compostos ativos encapsulados em β -Ciclodextrina como um complexo de inclusão apresentaram alta estabilidade térmica e taxa de liberação lenta, o que resultou no prolongamento da vida útil da carne refrigerada (CHEN et al., 2019).

As embalagens ativas contendo revestimento antioxidante na superfície da embalagem podem permitir, por exemplo, uma proteção imediata contra a oxidação lipídica. As embalagens antioxidantes podem conter óleos ou extratos vegetais (DOBRUCKA; PRZEKOP, 2019) (GÓMEZ-ESTACA et al., 2014). Destaca-se o uso de antioxidantes naturais como α -tocoferol, ácido cafeico, catequina, quercetina, carvacrol que são incorporados a embalagens de alimentos (SANCHES-SILVA et al., 2014). Acrescenta-se a tendência atual a incorporação de óleos essenciais em materiais e filmes biodegradáveis no desenvolvimento de embalagens ativas com propriedades de preservação aprimoradas. Estas estratégias geram inúmeros benefícios como redução do desperdício de alimentos e a combinação de embalagens biodegradáveis e óleos essenciais extraídos de produtos agroindustriais conduzem processos sustentáveis na indústria de alimentos (CARPENA et al., 2021).

Pateiro et al (2019) avaliaram a eficácia de sistemas de embalagens ativas com extrato de chá verde e óleo essencial de orégano em presunto cozido fatiado. Três sistemas de embalagem foram avaliados: grupo controle sem filme ativo; ATGT (embalado com filme ativo de extrato de chá verde (1%)); e ATRX (com mistura de extrato de chá verde e óleo essencial de orégano (1%)). Foram avaliados atributos microbiológicos, físico-químicos (pH, aw, cor e oxidação lipídica) e sensoriais após 0, 7, 14 e 21 dias de armazenamento refrigerado. Como principais resultados, as amostras embaladas com ATGT mostraram a melhor atividade antimicrobiana contra contagens viáveis totais e bactérias lácticas. Em relação à cor, foram encontradas pequenas diferenças entre as amostras embaladas com filmes ativos e controles. Os filmes que continham chá verde (ATGT) foram os que apresentaram menor descoloração ao final do armazenamento (8,86 vs. 8,63 e 7,50 para ATGT vs. CON e ATRX, respectivamente). O baixo teor de gordura deste tipo de produto e o uso de atmosfera anaeróbia para a embalagem do presunto cozido não permitiram mostrar efeito antioxidante na oxidação lipídica (valores abaixo de 0,15 mg MDA/kg). Por fim, o uso de ATGT e ATRX não apresentou uma modificação dos atributos sensoriais do produto, ficando as notas de aceitação abaixo do limite

de aceitação durante toda a aplicação (PATEIRO et al., 2019).

As embalagens ativas contendo removedores de etileno são aplicadas para o armazenamento de frutas e vegetais (JANJARASSKUL; SUPPAKUL, 2017). O sistema de atmosfera modificada, reduz as taxas de respiração e de produção de etileno, promovendo um retardamento na deterioração desses produtos. Este material está contido em um sachê ou incorporado diretamente à embalagem, sendo capaz de promover alterações na composição gasosa (AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000). O uso de empacotamento de removedores de etileno como zeólitas, dióxido de titânio e metais de transição tem sido amplamente estudados, onde estes materiais são incorporados em filmes e materiais compósitos. Porém a aplicação comercial desta tecnologia ainda é um pouco limitada devido a fatores como interação entre embalagens, alimentos e meio ambiente. Tais fatores, ainda devem ser explorados e poderão fornecer orientações importantes para o desenvolvimento deste tipo de embalagens (WEI et al., 2021). Araguez et al (2020), desenvolveram caixas de embalagem ativas com filmes de triticales contendo KMnO_4 . Os autores avaliaram os efeitos da incorporação de KMnO_4 e do tempo de armazenamento nas propriedades do filme de triticales quando aplicados em tomates cerejas em diferentes temperaturas durante 20 dias. As mudanças na firmeza, perda de peso, sólidos solúveis totais e pH dos tomates foram monitoradas. Os tomates em caixas de embalagens ativas apresentaram menores alterações de qualidade, menor perda de peso e maior firmeza durante o armazenamento do que aqueles em caixas controle e abertas. Os resultados mostraram que ao longo de 20 dias de armazenamento o filme ativo exibiu uma atividade contínua de oxidação do etileno e conseqüentemente atrasou o processo de amadurecimento e alterações na qualidade dos tomates (ARAGÜEZ et al., 2020).

As embalagens ativas absorvedores de O_2 controlam os níveis de oxigênio. Estes são geralmente incorporados ao sistema na forma de sachês, mas, em alguns casos, podem ser incorporados diretamente à face interna de embalagens. Os absorvedores de O_2 atuam prevenindo o crescimento de microrganismos aeróbios; retardam oxidação de lipídios e de compostos de sabor; podendo substituir pesticidas químicos para prevenção de danos por insetos (AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000; WEI et al., 2021). Faas et al (2020) desenvolveram um filme sequestrante de oxigênio baseado em sistema catalítico com paládio utilizado para prevenir a oxidação lipídica em óleo de linhaça. Como resultado o nível significativamente mais alto de produtos de oxidação foi medido em óleo de linhaça

armazenado sob atmosfera normal em comparação com atmosfera modificada com 2 vol% de oxigênio sem sistema catalítico com paládio. Os limites indicando óleo de boa qualidade com base no valor de peróxido (15 miliequivalentes O_2/g de óleo) e no valor de para-anisidina (2 unidades de absorvância/g de óleo) foram excedidos em ambas as condições de embalagem. Nas embalagens com sistema catalítico com paládio, no entanto, a remoção do oxigênio do *headspace* manteve os parâmetros de oxidação abaixo desses limites, indicando óleo de boa qualidade durante todo o período de armazenamento de 6 meses (FAAS et al., 2020).

O uso de embalagens ativas baseadas em atmosfera modificada com sistema removedores/absorvedores de umidade, são de extrema importância para serem aplicados a produtos alimentícios, pois o excesso de umidade em uma embalagem é desfavorável à qualidade do produto alimentício e à integridade da embalagem, particularmente no caso de alimentos com alta atividade de água, como produtos frescos e alimentos crus. O processo comum envolvido na absorção de umidade em embalagens de alimentos é a adsorção física (GAIKWAD; SINGH; AJJI, 2019). Gaikwad, Singh, Ajji (2019) estudaram embalagem em atmosfera modificada, sachê de remoção de umidade contendo 30-50 g de sílica grossa e sachê de gel e removedor de etileno contendo 0-4 g de permanganato de potássio e aplicadas em goiabas. O *headspace* de O_2 e CO_2 das embalagens foram estudados a 4, 8 e 12 °C por 30 dias e as goiabas foram deixadas por dois dias para amadurecer a 30°C. Como resultados, as goiabas armazenadas a 4°C, com 3 g de removedor de etileno e 46 g de removedor de umidade, foram menos afetada pela injúria pelo frio, pois tinham a cor mais brilhante, menor firmeza e o maior número de goiabas aceitáveis (95,33%) em relação aos demais tratamentos. As amostras armazenadas na condição ótima apresentaram menor perda de massa fisiológica, maior retenção do teor de fenol total e teor de ácido ascórbico após 32 dias de armazenamento o que talvez tenha induzido resistência da goiaba e reduzido o crescimento de fungos significativamente em relação ao controle (GAIKWAD; SINGH; AJJI, 2019).

Embalagens ativas removedores e mediadores de dióxido de carbono são incorporados nos materiais de embalagem. O dióxido de carbono diminui a taxa de respiração dos alimentos frescos (DOBRUCKA; PRZEKOP, 2019). Acrescenta-se a isto, o fato de que o dióxido de carbono possui também propriedades microbianas, e são utilizados na indústria de alimentos para preservação da qualidade de vida de prateleira. O atuação do CO_2 é baseado em um conjunto complexo de mecanismos, na qual ainda não são muito compreendidos, mas acredita-

se que ocorre alteração molecular da membrana bacteriana e alteração do pH citoplasmático faz com que ocorra a inibição do crescimento de bactérias deteriorantes (VILELA et al., 2018; YILDIRIM et al., 2018) Lee, Jeong, Yoo (2019) estudaram a embalagem de kimchi (alimentos típicos da culinária da Coreia, com base em hortaliças). A embalagem do kimchi pode ser facilmente danificada pelo dióxido de carbono gerado durante a fermentação do kimchi, e os adsorventes foram desenvolvidos para superar os problemas de expansão de volume e quebra da embalagem do kimchi causados pelo dióxido de carbono. Foi estudado a impregnação de hidróxido de cálcio e de meio poroso incorporados ao polietileno de baixa densidade para desenvolver a embalagem. Como resultado, na embalagem de kimchi, o efeito da adsorção não afetou o amadurecimento do kimchi ($p > 0,05$). A concentração ideal de dióxido de carbono na embalagem de kimchi foi de 40 a 55%, e a concentração de dióxido de carbono pode ser controlada usando os materiais de embalagem de adsorção desenvolvidos (LEE; JEONG; YOO, 2019).

Ahmed et al (2017) desenvolveu um filme ativo de polietileno revestidos com zeína/gelatina que foi desenvolvido em escala industrial e efetivamente retardou o crescimento microbiano e a perda de peso de frutos com diferentes taxas de respiração durante o armazenamento. Durante a preservação com baixa taxa de respiração, a produção de *off-flavor* foi reduzida e mais sesquiterpenos foram reservados devido à capacidade antimicrobiana e de absorção de umidade do filme que levou à inibição seletiva em gêneros de bactérias deteriorantes, incluindo *Zymobacter*, *Gluconobacter* e *Pantoea*. Já para morango com alta taxa de respiração, as alterações do perfil volátil foram mais relacionadas à concentração de gás no *headspace*, independentemente da comunidade bacteriana, em que ocorreu o acúmulo de ésteres etílicos e reduziu o nível de ésteres metílicos e etílicos durante a preservação. Os autores ressaltam que a pesquisa desenvolve novos conhecimentos sobre os impactos das embalagens ativas no perfil volátil de frutas e fornece orientações para o design inteligente de embalagens ativas para preservação de frutas aromáticas (AHMED et al., 2017).

Segundo Wyrwa, Barska (2017), as principais vantagens do uso de embalagens ativas como já mencionadas é o aumento da vida útil do alimento, melhora significativa na segurança microbiológica dos alimentos, podendo reduzir o uso de conservantes, promoção do consumo sustentável através de embalagens biodegradáveis, biocompatíveis. Já as principais desvantagens é o preço mais elevado em relação à embalagem tradicional. Acrescenta-se que

certas substâncias liberadas podem afetar a composição dos alimentos; alguns compostos químicos por exemplo CO₂, podem ajudar a prolongar a vida de prateleira da carne por exemplo mas afetar a cor do produto (WYRWA; BARSKA, 2017).

PERSPECTIVAS FUTURAS

O uso de sistemas ativos deve atender aos requisitos de diferentes agências reguladoras, como o FDA (*Food and Drug Administration*) (EUA), a European Food Safety Authority (União Europeia), que estabelecem a base legal para seu uso preciso, segurança e marketing (VILELA et al., 2018). No Brasil a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), não estabeleceu legislações específicas para segurança de embalagens ativas, no entanto, existem algumas regulações que são levados em consideração para o desenvolvimento de embalagens ativas, tal como a que classifica os materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos (MONÇÃO et al., 2022).

Diante disso, as embalagens ativas devem cumprir o propósito pretendido da sua aplicação de forma adequada e eficaz e devem cumprir os requisitos previstos na legislação, os materiais que entrarem em contato com os alimentos tal como as embalagens ativas podem mudar composição, características organolépticas dos alimentos e estas alterações devem estar de acordo com regulamentos sobre alimentos e modificações decorrentes destes materiais podem mascarar sinais de deterioração dos alimentos induzindo erros ao consumidor (WYRWA; BARSKA, 2017)

Acrescenta-se que a tecnologia de embalagens ativas ainda é considerada inovadora no setor de embalagens, pois as primeiras patentes de embalagens ativas são no início do século XX, e os mercados estão, portanto recentemente adotando esta tecnologia (WESTLAKE et al., 2022). Apesar da enorme popularidade das embalagens ativas no Japão introduzidas no mercado em meados da década de 1970 seu uso na Europa só agora está começando a aumentar. A dificuldade de difusão no mercado é o alto custo, baixa aceitação do consumidor e legislação rigorosa de alguns países (VILELA et al., 2018)

Diante disso, pesquisas precisam ser desenvolvidas a fim de tornar as embalagens ativas comercialmente viáveis em aspectos como custo, aceitação, confiança dos consumidores, aspectos regulatórios e multifuncionalidade (GHAANI et al., 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do grande desperdício de alimentos em toda cadeia produtiva de alimentos, crescimento da população mundial e o aumento da demanda dos consumidores por produtos minimamente processados e sensorialmente similares aos alimentos *in natura*.

As embalagens ativas mostram-se como uma excelente solução para uma ampla gama de aplicações na indústria alimentícia. Embora as tecnologias tradicionais de embalagem de alimentos ainda sejam amplamente utilizadas, o futuro sem dúvida pertencerá à inovação representada pela embalagem ativa, pois como mencionados apresentam inúmeras vantagens como redução da perda de produtos e aumento da vida de prateleira, retardando ou inibindo a deterioração dos alimentos, entre outras mencionadas neste trabalho.

Portanto conclui-se que as embalagens ativas apresentam como uma alternativa promissora para serem aplicadas em na indústria de alimentos e na cadeia produtora de alimentos, porém estudos ainda devem ser realizados buscando uma melhor compreensão das mesmas bem como aprimoramento desta tecnologia.

REFERÊNCIAS

AHMED, I. et al. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. **Food Control**, v. 82, p. 163–178, 1 dez. 2017.

ALMASI, H.; JAHANBAKHSH OSKOUIE, M.; SALEH, A. A review on techniques utilized for design of controlled release food active packaging. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1783199>, v. 61, n. 15, p. 2601–2621, 2020.

APPENDINI, P.; HOTCHKISS, J. H. Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 3, n. 2, p. 113–126, 1 jun. 2002.

ARAGÜEZ, L. et al. Active packaging from triticale flour films for prolonging storage life of cherry tomato. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 25, p. 100520, 1 set. 2020.

AZEREDO, H. M. C. DE; FARIA, J. DE A. F.; AZEREDO, A. M. C. DE. Embalagens ativas para alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 337–341, dez. 2000.

BRODY, A. L. et al. Innovative food packaging solutions. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 8, 2008.

BRODY, A.; STRUPINSKY, E.; KLINE, L. Active packaging for food applications. 2001.

CARPENA, M. et al. Essential Oils and Their Application on Active Packaging Systems: A Review. **Resources** 2021, Vol. 10, Page 7, v. 10, n. 1, p. 7, 17 jan. 2021.

CHEN, H. et al. Development of active packaging film containing bioactive components encapsulated in β -cyclodextrin and its application. **Food Hydrocolloids**, v. 90, p. 360–366, 1 maio 2019.

DE ABREU, D. A. P.; CRUZ, J. M.; LOSADA, P. P. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. **Food Reviews International**, v. 28, n. 2, p. 146–187, abr. 2012.

DE JONG, A. R. et al. Active and intelligent packaging for food: is it the future? **Taylor & Francis**, v. 22, n. 10, p. 975–979, out. 2005.

DOBRUCKA, R.; PRZEKOP, R. New perspectives in active and intelligent food packaging. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 11, p. e14194, 1 nov. 2019.

FAAS, N. et al. Prevention of lipid oxidation in linseed oil using a palladium-based oxygen scavenging film. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 24, p. 100488, 1 jun. 2020.

GAIKWAD, K. K.; SINGH, S.; AJJI, A. Moisture absorbers for food packaging applications. **Environmental Chemistry Letters**, v. 17, n. 2, p. 609–628, 15 jun. 2019.

GHAANI, M. et al. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. **Trends in Food Science & Technology**, v. 51, p. 1–11, 1 maio 2016.

GÓMEZ-ESTACA, J. et al. Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 42–51, 1 jan. 2014.

GULATI, M. et al. The Water–energy–food Security Nexus: Challenges and Opportunities for Food Security in South Africa. **Aquatic Procedia**, v. 1, p. 150–164, 2013.

ISHANGULYYEV, R.; KIM, S.; LEE, S. H. Understanding food loss and waste-why are we losing and wasting food? **Foods**, v. 8, n. 8, p. 297, 29 jul. 2019.

JANJARASSKUL, T.; SUPPAKUL, P. Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1225278>, v. 58, n. 5, p. 808–831, 24 mar. 2017.

KALPANA, S. et al. Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. **Trends in Food Science & Technology**, v. 93, p. 145–157, 1 nov. 2019.

LEE, H. G.; JEONG, S.; YOO, S. R. Development of food packaging materials containing calcium hydroxide and porous medium with carbon dioxide-adsorptive function. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, p. 100352, 1 set. 2019.

MARKETS BUSINESS INSIDER. **COVID-19 Impact on Packaging Market by Material Type, Application And Region - Global Forecast to 2021**. Disponível em: <<https://markets.businessinsider.com/news/stocks/covid-19-impact-on-packaging-market-by->

material-type-application-and-region-global-forecast-to-2021-1029187123>. Acesso em: 5 jun. 2022.

MONÇÃO, É. DA C. et al. Active packaging for lipid foods and development challenges for marketing. **Food Bioscience**, v. 45, 1 fev. 2022.

PATEIRO, M. et al. Antioxidant active packaging systems to extend the shelf life of sliced cooked ham. **Current Research in Food Science**, v. 1, p. 24–30, 1 nov. 2019.

RODRIGUES ARRUDA, T. et al. 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**, v. 156, 2022.

SANCHES-SILVA, A. et al. Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging: a review. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.879215>, v. 31, n. 3, p. 374–395, 2014.

SANI, M. A. et al. **Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials** *Nanomaterials*, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1114042>>. Acesso em: 4 jun. 2022

SOFI, S. A. et al. A Comprehensive Review on Antimicrobial Packaging and its Use in Food Packaging. **Current Nutrition & Food Science**, v. 14, n. 4, p. 305–312, 23 fev. 2018.

VILELA, C. et al. A concise guide to active agents for active food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, v. 80, p. 212–222, 1 out. 2018.

WEI, H. et al. Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. **Food Chemistry**, v. 337, p. 127750, 1 fev. 2021.

WESTLAKE, J. R. et al. Biodegradable Active Packaging with Controlled Release: Principles, Progress, and Prospects. **ACS Food Science & Technology**, v. 1, 2022.

WIKSTRÖM, F. et al. The Importance of Packaging Functions for Food Waste of Different Products in Households. **Sustainability 2019, Vol. 11, Page 2641**, v. 11, n. 9, p. 2641, 8 maio 2019.

WYRWA, J.; BARSKA, A. Innovations in the food packaging market: active packaging. **European Food Research and Technology**, v. 243, n. 10, p. 1681–1692, 1 out. 2017.

YAN, M. R.; HSIEH, S.; RICACHO, N. Innovative Food Packaging, Food Quality and Safety, and Consumer Perspectives. **Processes**, v. 10, n. 4, p. 747, 12 abr. 2022.

YILDIRIM, S. et al. Active Packaging Applications for Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 1, p. 165–199, 1 jan. 2018.