

Embalagens ativas: uma tecnologia promissora na conservação de alimentos

RESUMO

A utilização das embalagens se faz necessária para garantir a qualidade dos produtos alimentícios durante todo o seu tempo de prateleira. A embalagem ativa contém componentes nos materiais que a constituem ou na sua parte interior que mantém ou melhoram os aspectos sensoriais, assim como a segurança e qualidade do alimento. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi desenvolver uma revisão bibliográfica, reunindo informações da literatura a respeito de diferentes tipos de embalagens ativas utilizadas para uma maior conservação dos alimentos. Neste artigo são abordados conceitos, benefícios e aplicações, além dos diferentes tipos de embalagens ativas existentes, com destaque para embalagens com atmosfera modificada, controladoras dos níveis de etileno, redutoras dos níveis de umidade e liberadoras de aditivos com função antioxidante, antimicrobiana ou aromática. Cada embalagem possui um mecanismo de ação diferente que garante a qualidade do produto até este chegar ao alcance do consumidor. O uso de embalagens ativas traz como vantagem o aumento da vida útil e a segurança dos alimentos embalados, dentre eles carnes, laticínios, hortaliças, frutas e legumes, podendo ser reduzido o uso de conservantes químicos, proporciona menor desenvolvimento de microrganismos indesejáveis e de reações de oxidação, preservando as características sensoriais.

PALAVRAS-CHAVE: antimicrobiano; antioxidante; etileno; qualidade; umidade.

Janine Martinazzo

janinemartinazzo@yahoo.com.br
<http://orcid.org/0000-0003-1127-5555>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI Erechim, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.

Suelen Paloma Piazza

su.piazza@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8488-9622>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI Erechim, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.

Glaciela Cristina da Silva Rodrigues Scherer

glaciela.cristina@yahoo.com.br
<http://orcid.org/0000-0003-4981-0605>
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI Erechim, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.

Luiza Pieta

luiza.pieta@erechim.ifrs.edu.br
<http://orcid.org/0000-0001-8666-8957>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS, Campus Erechim, Erechim, Rio Grande do Sul., Brasil.

INTRODUÇÃO

As embalagens possuem quatro funções principais: contenção, proteção, conveniência e comunicação. A proteção muitas vezes acaba sendo considerada a principal função da embalagem para alimentos, pois esta atende às necessidades fundamentais de segurança dos produtos alimentícios evitando a degradação destes por influências externas tais como oxigênio, umidade, luz, poeira, pragas, odores, contaminação química e biológica (YILDIRIM *et al.*, 2018; ROBERTSON, 2012).

O aumento da demanda dos consumidores por produtos saudáveis, seguros e frescos proporciona um maior desenvolvimento de tecnologias inovadoras para preservar e garantir a qualidade dos alimentos da maneira mais natural possível. Devido a essa necessidade de mercado, estudos acerca da ciência e engenharia de materiais resultaram no desenvolvimento das embalagens ativas, que tem como principal objetivo aumentar o *shelf-life* dos produtos alimentícios, aprimorando ou mantendo as suas características originais (HAGHIGHI-MANESH; AZIZI, 2017; KHANEGHAH; HASHEMI; LIMBO, 2018).

Oxidação, deterioração microbiana e o metabolismo das matérias-primas são as principais causas de deterioração de muitos alimentos durante sua produção, transporte, processamento, armazenamento e comercialização. Para retardar processos oxidativos, controlar patógenos veiculados por alimentos e atender à crescente demanda dos consumidores por produtos seguros e de alta qualidade, esforços consideráveis têm sido empregados no estudo e desenvolvimento de embalagens ativas e novas tecnologias relacionadas a maior conservação dos alimentos (HAN *et al.*, 2018).

Uma mínima interação entre o produto e a embalagem é o que se espera a fim de garantir a qualidade do alimento sem que ocorram neste, alterações químicas, bioquímicas e microbiológicas relevantes (ROONEY, 1995; BRODY; STRUPINSKY; KLINE, 2001). Dessa forma, a embalagem ativa é aquela na qual intencionalmente são adicionados componentes com o intuito de melhorar o seu desempenho, mantendo os aspectos sensoriais, de segurança e de qualidade do alimento (CAMPBELL-PLATT, 2015).

O objetivo desse estudo foi desenvolver uma revisão bibliográfica reunindo informações da literatura a respeito de diferentes tipos de embalagens ativas, destacando as suas funções antimicrobiana, antioxidante, assim como na eliminação de oxigênio e etileno do interior da embalagem e emissão de dióxido de carbono para o interior desta.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

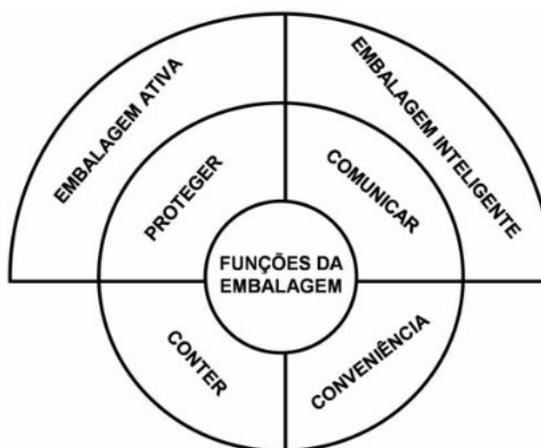
DEFINIÇÃO DE EMBALAGENS ATIVAS

De acordo com a RDC nº 259/2002 da Anvisa, “embalagem é o recipiente, o pacote ou a embalagem destinada a garantir a conservação e facilitar o transporte e manuseio dos alimentos”. Dentre as inúmeras funções das embalagens, a preservação da qualidade do produto e a necessidade da manutenção de condições que minimizem alterações químicas, bioquímicas e microbiológicas nos alimentos são essenciais.

Labuza utilizou o termo “embalagem ativa” pela primeira vez em 1987, definindo esta como uma embalagem que exerce papel adicional na preservação de alimentos (ROONEY, 2005) cujo objetivo principal é prolongar a vida útil dos produtos embalados (VERMEIREN *et al.*, 1999). Conforme César, Mori e Batalha (2009), como exemplos de embalagens ativas podem ser citadas as que incluem os absorvedores de oxigênio e etileno; eliminadores e emissores de CO₂; controladores de umidade, sabor e odor; agentes antimicrobianos e antioxidantes.

Além das embalagens ativas, as embalagens inteligentes também podem ser consideradas tecnologias inovadoras para a conservação de alimentos. Diferentemente das ativas, as embalagens inteligentes monitoram as condições do produto informando sua qualidade durante o transporte e armazenamento. Exemplos deste tipo de embalagem se referem àquelas que apresentam indicadores de temperatura e de vazamento de gases, sensores de microrganismos, entre outros componentes (KRUIJF; VAN BEEST, 2003). A Figura 1 abaixo apresenta as funções das embalagens ativas e inteligentes, que complementam o conceito das embalagens convencionais.

Figura 1 - Modelo das funções da embalagem: proteção, comunicação, contenção e conveniência.



Fonte: Adaptada de Braga e Peres (2010).

Dentre os diferentes tipos de embalagens ativas existentes, todas elas devem atender a determinados requisitos, tais como garantir segurança ao produto e se manter estável ao longo do armazenamento; absorver ou emitir gases ou vapores de interesse; e não propiciar a ocorrência de reações paralelas desfavoráveis. Para melhor compreensão, a seguir são listados os principais tipos de embalagens ativas utilizadas no armazenamento de alimentos (SARANTÓPOULOS *et al.*, 1996).

DEFINIÇÃO DE EMBALAGENS ATIVAS

Existem diversos tipos de embalagens ativas, cada qual com uma diferente função na preservação dos alimentos, as quais são listadas a seguir.

Embalagens com atmosfera modificada

O efeito do oxigênio atmosférico limita a vida útil dos alimentos perecíveis, causando efeitos deletérios na qualidade dos alimentos por meio de rancidez oxidativa, mudanças de cor, odor, sabor e textura além da deterioração microbiana principalmente pelo desenvolvimento de microrganismos aeróbios. Portanto, os indicadores de oxigênio são amplamente utilizados em embalagens de alimentos (TEODORO; ANDRADE; MANO, 2007; FANG *et al.*, 2017).

Em uma embalagem com atmosfera modificada (EAM) altera-se a composição gasosa no interior da embalagem através da substituição da sua composição gasosa natural por uma mistura de gases, tais como oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂) e nitrogênio (N₂), ao redor do produto e em diferentes concentrações de acordo com as necessidades do alimento a ser armazenado. O efeito inibitório de CO₂ sobre os diferentes tipos de microrganismos e a redução ou remoção de oxigênio são os principais agentes responsáveis pelo aumento do prazo comercial dos produtos alimentícios (MANTILLA, *et al.*, 2010). A eficácia da EAM depende de vários fatores, tais como o tipo de alimento, qualidade inicial da matéria-prima, composição de gases utilizados, temperatura e umidade de armazenamento, condições de higiene durante o processamento e características do material utilizado na fabricação da embalagem (SIVERTSVIK; ROSNES; BERGSLIEN, 2002; ZHANG *et al.*, 2016).

Retardar o crescimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes é o principal objetivo da EAM, além de diminuir as atividades fisiológicas das matérias-primas alimentícias e inibir fenômenos de oxidação. Isso ocorre a partir da diminuição da concentração de O₂ e da aplicação de elevados níveis de CO₂, o qual é útil para manter a qualidade dos produtos frescos e capaz de atuar como um inibidor do crescimento bacteriano (GORRIS; PEPPELENBOS, 1999; GAIKWAD; LEE, 2017).

Segundo Mohebbi *et al.* (2015), os tratamentos de EAM reduzem as taxas de respiração dentro da embalagem, através da alteração das concentrações de O₂ e CO₂ e assim retardam a senescência dos frutos. Embalagens de atmosfera modificada também são amplamente aplicadas para prolongar a vida útil microbiológica de alimentos cárneos, reduzindo o amolecimento da carne e mantendo atributos de qualidade por períodos mais longos (HÖLL *et al.*, 2019; MOHEBBI *et al.*, 2015).

As embalagens de atmosfera modificada possuem como vantagens a prolongação do tempo de prateleira, a redução da adição de conservantes químicos nos alimentos, a diminuição dos custos de distribuição, a permissão do transporte de alimentos por maiores tempos e até destinos mais distantes, entre outras. As principais desvantagens ou limitações do seu uso se referem ao elevado custo do equipamento de embalagem, a determinação de diferente composição gasosa para cada tipo de produto, ao controle de temperatura, a perda total do efeito da atmosfera modificada após a abertura da embalagem de forma proposital ou acidental, às restrições quanto ao empilhamento de embalagens, entre outras (RODRIGUEZ-AGUILERA; OLIVEIRA, 2009).

Yang *et al.* (2018) desenvolveram dois tipos de embalagem de atmosfera modificada passiva, utilizando filmes com alta taxa de transmissão de vapor de água e filmes com alta taxa de transmissão de oxigênio e de dióxido de carbono. Os dois tipos de embalagem de atmosfera modificada foram avaliados quanto à

influência do gás no *headspace* (espaço vazio da embalagem), na qualidade e aparência das embalagens, nos teores de vitamina C e de sólidos solúveis e na perda de água no repolho chinês (*Brassica rapa*). Os resultados mostraram que as embalagens foram capazes de atrasar efetivamente a respiração do repolho chinês, reduzindo a perda de nutrientes, mantendo a sua qualidade e prolongando o tempo de armazenamento deste vegetal de dois para cinco dias à temperatura ambiente.

Guo *et al.* (2018) investigaram o efeito de diferentes tipos de embalagem nas propriedades físico-químicas e microbiológicas da carne de frango assada. As amostras foram armazenadas sob atmosfera normal e sob quatro diferentes condições de EAM contendo variadas proporções de CO₂ e N₂ (N₂:100%; CO₂/N₂: 20%/80%; CO₂/N₂: 30%/70% e CO₂/N₂: 40%/60%). Os valores de ácido tiobarbitúrico (teste que mede a extensão de oxidação de lipídeos de três ou mais ligações duplas), da carne de frango assada embalada sob EAM foram menores que àqueles medidos no produto armazenado em embalagem normal. Além disso, a contagem total de microrganismos viáveis (TVC), bolores e leveduras diminuiu com o aumento do teor de CO₂ na EAM, sendo assim, foi possível verificar que a embalagem com CO₂/N₂: 40%/60% pôde prolongar a vida útil da carne de frango assada armazenada a 4°C.

Djordjevic *et al.* (2017) avaliaram a efetividade de diferentes condições de EAM a vácuo no comportamento de *Enterobacteriaceae* (*enterobactérias*) em carne picada. Carne suína mista e carne bovina, na proporção de 50:50%, foram embaladas a vácuo em atmosfera modificada com 20% O₂/50% CO₂/30% N₂ e com 20% O₂/30% CO₂/50% N₂, sob refrigeração a 3°C±1°C e examinadas nos dias zero, 3, 6, 9 e 12 de armazenamento. A contagem total média de *Enterobacteriaceae* em amostras de carne embaladas a vácuo foi estatisticamente significativamente maior do que a contagem total média de *Enterobacteriaceae* em amostras de carne embaladas em atmosfera modificada com ambas as combinações de gases, a partir do sexto dia de armazenamento. A maior diminuição na contagem total de *Enterobacteriaceae* foi observada em amostras de carne embaladas em atmosfera modificada com maior concentração (50%) de CO₂.

Controle dos níveis de etileno

O principal promotor da maturação em frutos é o etileno (C₂H₄), uma molécula pequena e volátil que atua como fitormônio, responsável pelo desenvolvimento do amadurecimento e senescência de frutas e hortaliças (ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2018). Grande parte das perdas no pós-colheita por diminuição da qualidade de produtos frescos são normalmente causadas pelo processo de amadurecimento induzido pelo etileno e pela contaminação por microrganismos deteriorantes ou patogênicos (CHIARA *et al.*, 2015).

A utilização de embalagens ativas pode prevenir os efeitos negativos do etileno e inibir o crescimento microbiano, sendo desejável para o prolongamento da vida útil de produtos frescos e podendo ainda ser uma boa alternativa ao uso de tratamentos químicos e desinfetantes (KAEWKLIN *et al.*, 2018). Para melhor controle dos níveis de etileno no pós colheita e diminuição do metabolismo das frutas e hortaliças, pode-se manter a atmosfera e a temperatura ao redor de produtos alimentícios frescos durante o transporte, armazenamento e manuseio,

utilizando produtos capazes de remover este fitormônio para melhora da qualidade e aumento do prazo de validade destes alimentos (VILELA *et al.*, 2018).

Os sequestrantes de etileno utilizados em embalagens podem ser fabricados a partir de permanganato de potássio (KMnO₄) e adicionados sobre matrizes inertes (por exemplo, gel de sílica ou alumina), o qual oxida o etileno resultando em uma mudança de cor de púrpura para castanho (VILELA *et al.*, 2018). Em trabalho desenvolvido por Spricigo *et al.* (2017), uma plataforma nanoestruturada à base de nanopartículas de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) foi impregnada com KMnO₄ para indicar a remoção de etileno.

Embalagens plásticas à base de poliolefinas e poliamidas com minerais incorporados na matriz do polímero atuam como adsorvedores de etileno, fazendo a remoção desse gás gradativamente. A capacidade de adsorção de etileno e o aumento das taxas de permeabilidade ao próprio etileno, ao oxigênio, ao gás carbônico e ao vapor d'água, são responsáveis pelo bom desempenho dessas embalagens quando aplicadas no acondicionamento de frutas. Além do controle da taxa de respiração das frutas e hortaliças embaladas, as embalagens ativas com incorporação de minerais adsorvedores de etileno tem o objetivo de controlar o teor deste fitormônio no espaço livre da embalagem e ao redor do produto para reduzir o seu metabolismo e aumentar a sua vida útil (BRAGA; PERES, 2010).

Siripatrawan e Kaewklin (2018) desenvolveram embalagens de quitosana e nanocompósito de dióxido de titânio (TiO₂) que apresentam capacidade simultânea de reduzir os efeitos negativos do etileno e inibir o crescimento microbiano. Com base em suas propriedades mecânicas, de barreira, de fotodegradação de etileno e antimicrobianas, o filme nanocompósito de concentração de dióxido de titânio apresentou potencial para ser utilizado como embalagem ativa para aplicações pós-colheita.

No estudo de Esturk, Ayhan e Gokkurt (2014), brócolis (*Brassica oleracea* L.) foram armazenados em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD) com e sem adsorvente de etileno sob atmosfera modificada passiva e armazenados a 4°C por 20 dias. Filmes de PEBD contendo 8% de Tazetut[®] masterbatch (produto inorgânico contendo 50% de vários alumino silicatos minerais) (denominados M2) ou sem adsorvedor de etileno (denominados M1) foram testados. Os efeitos dos tratamentos de embalagem com atmosfera modificada nas concentrações de gás (O₂, CO₂ e etileno) no *headspace*, a perda de massa, cor, textura, pH, sólidos solúveis totais, teor de clorofila, conteúdo fenólico total e qualidade sensorial dos brócolis empacotados foram determinados pela comparação com brócolis não-embalados (controle). Os resultados revelaram que a deterioração ocorreu rapidamente nos brócolis controle, manifestada principalmente pela perda de massa, degradação da clorofila e endurecimento do caule. Além disso, o alimento foi considerado inaceitável sensorialmente após 5 dias. Por outro lado, em brócolis embalados em EAM com adsorvente de etileno (M2), alterações relacionadas à perda de qualidade foram significativamente reduzidas e retardadas com o tempo. Os brócolis embalados com filmes M2 pôde ter armazenamento prolongado por até 20 dias mantendo seus atributos de qualidade em comparação ao período máximo de armazenamento de brócolis controle (não embalado) equivalente a 5 dias. A concentração de oxigênio diminuiu para menos de 1% após 5 dias de armazenamento em M1, e a vida útil de brócolis foi limitada a 5 dias devido ao risco de fermentação anaeróbica.

Redução dos níveis de umidade

O metabolismo de carboidratos e gorduras produz água, o que pode acarretar a presença de níveis inadequados de água no interior de um sistema de embalagem (LABUZA, 1996 *apud* AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000). Como consequência, pode haver crescimento microbiano; prejuízo às propriedades de barreira a gases de filmes hidrofílicos; acúmulo de água condensada na superfície de hortaliças, entre outros (ROONEY, 1995 *apud* AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000). Por outro lado, o líquido que permanece no interior da embalagem é percebido, o que consequentemente reduz a atratividade do produto (DROVAL *et al.*, 2012).

Os principais objetivos do uso de absorvedores de umidade em uma embalagem são: manter a qualidade dos alimentos, prolongar a vida útil, reduzir o crescimento microbiano e a degradação da textura, aroma, sabor e cor (LEE *et al.*, 2015). Uma das formas de se reduzir os níveis de umidade de um sistema ocorre pela incorporação de substâncias umectantes (tais como propilenoglicol e álcool polivinílico) entre duas camadas de um filme plástico de alta permeabilidade a umidade. Também se utiliza um polímero superabsorvente localizado entre duas camadas de um polímero micro poroso, sendo esse um dos sistemas de absorção de umidade mais comuns (ROONEY, 1995; REALINI; MARCOS, 2014; LEE *et al.*, 2015). Esses sistemas são uma forma eficaz de controlar o acúmulo de água em excesso dentro das embalagens de alimentos com alto teor de água, tais como carne, peixe, frango, produtos frescos, frutas e vegetais minimamente processados. Também são importantes para inibir o crescimento microbiano, melhorando consequentemente a apresentação dos produtos (REALINI; MARCOS, 2014; SARANTÓPOULOS; COFCEWICZ, 2016).

Dessecantes, tais como sílica gel, argilas, peneiras moleculares e sais umectantes, são usados para controlar a umidade no *headspace* da embalagem e são comumente colocados em embalagens na forma de pequenos pacotes, sacos microporosos ou integrados em almofadas (DAY, 2008; YILDIRIM *et al.*, 2018).

Agudelo-Rodríguez, Moncayo-Martínez e Castellanos (2020) desenvolveram um modelo para simulação da troca de umidade em um sistema de embalagem ativa aplicado na preservação de tomate fresco (*Solanum lycopersicum* Mill.). Foi considerado neste trabalho o efeito da temperatura e da umidade relativa na transferência e adsorção de umidade pelas embalagens ativas. 245 ± 30 g de tomate fresco foram embalados em conchas de tereftalato de polietileno rígido perfurado (PET) a 10°C por 17 dias. Foram utilizadas três configurações do adsorvedor: 100% do adsorvedor necessário para evitar a condensação durante todo o tempo de armazenamento (18,2 g), 50% do adsorvedor necessário (9,1 g) e embalagens sem adsorvedor. O sistema de embalagem ativa foi configurado com sucesso ao prever com antecedência a quantidade de material adsorvente necessária para evitar a condensação de umidade interna, sendo que nenhum prejuízo à qualidade das amostras frescas foi observada.

Rux *et al.* (2016) desenvolveram bandejas reguladoras de umidade a fim de evitar a deterioração de morangos e tomates. As bandejas foram feitas a partir de uma estrutura multicamada termoformada de polietileno/ionômero higroscópico espumado com 0 e 12% em peso de NaCl/ionômero higroscópico. A cinética de absorção de umidade das bandejas reguladoras com 0 e 12% em peso de NaCl (T-0 e T-12, respectivamente) foi investigada sob diferentes condições de umidade

relativa (76, 86, 96 e 100%) a 13 °C por 16 dias. Bandejas adicionais contendo 7 g de água destilada foram fechadas com um filme de cobertura de alta barreira, a umidade relativa do *headspace* foi continuamente monitorada em função do tempo. Como controle, uma bandeja de polipropileno foi usada. A quantidade de água absorvida pelas bandejas T-0 e T-12 foi de 7,6 e 13,2 g, respectivamente. A camada de ionômero higroscópico ativo foi eficaz na absorção de vapor de água, e a integração do NaCl nesta camada ativa aumentou a capacidade de absorção de vapor de água da bandeja. As bandejas T-12 contendo produtos frescos regulavam melhor a UR da embalagem abaixo de 97% e mantinham a qualidade geral, mas às custas da perda de peso do produto um pouco maior (2-3% em peso para o morango, 1% em peso para tomates) em comparação com as bandejas de controle (0,3- 0,6% em peso).

Estudos de Rux *et al.* (2015) investigaram o comportamento de transpiração de cogumelos sob várias temperaturas de armazenamento e umidade relativa. O impacto da bandeja reguladora de umidade e da bandeja controle (apenas com polipropileno) foi avaliado frente à condensação e qualidade dos cogumelos após 6 dias de armazenamento. A bandeja reguladora de umidade manteve uma umidade relativa estável (93%) dentro da embalagem e absorveu 4,1 g de vapor de água em 6 dias. Ainda, melhorou a qualidade dos cogumelos em comparação com a bandeja de controle, mas absorveu apenas 4,1 g de vapor de água em 6 dias, o que não foi suficiente para evitar a condensação de água no *headspace* da embalagem para cogumelos.

Liberação de aditivos

Vários aditivos químicos podem ser liberados a partir de uma embalagem, a fim de aumentar a vida de prateleira de um produto. A maior parte dos compostos assim liberados são os aditivos conservantes, especialmente ácidos orgânicos ou peróxidos, com função antimicrobiana e antioxidante. Tais compostos, capazes de prevenir o crescimento de microrganismos deterioradores e patogênicos, podem ser liberados controladamente sobre a superfície de um alimento, através de difusão e evaporação a partir do filme ou através de reação química ou enzimática (LABUZA; BREENE, 1989 *apud* AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000). A liberação de conservantes químicos pode ser de grande utilidade, por exemplo, no caso de frutas, às quais a pasteurização é contraindicada pois pode lhes conferir sabor cozido indesejável. Filmes comestíveis impregnados com conservantes podem também ser utilizados para reduzir o crescimento microbiano superficial (LABUZA, 1996 *apud* AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000).

A liberação de aditivos por embalagens ativas ocorre controladamente para o alimento através da difusão a partir do filme, e isso garante a segurança do consumo deste produto ao consumidor. Dessa maneira, os aditivos estarão presentes em quantidades menores e mais intensamente na superfície do produto, onde a maior parte das deteriorações ocorre (GONTARD, 1997; APPENDINI; HOTCHKISS, 2001).

No armazenamento da carne as embalagens ativas que possuem antioxidantes sintéticos (como o hidroxianisol butilado) podem proteger o produto contra a oxidação lipídica. Porém, os consumidores demandam produtos naturais,

criando tendência crescente no uso de antioxidantes naturais como substitutos dos artificiais (FANG *et al.*, 2017; SANCHES- SILVA *et al.*, 2014). Assim, diferentes produtos naturais podem ser utilizados, como os extratos vegetais e óleos essenciais que se apresentam como os principais substitutos dos aditivos sintéticos (GRANATO; NUNES; BARBA, 2017; POOJARY *et al.*, 2017). Isso tem outro efeito positivo, já que parte dos subprodutos agroindustriais (bagaço de uva, mirtilo, amora, entre outros) se torna uma fonte econômica e prática de potentes antioxidantes (BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006; LORENZO *et al.*, 2018). Porém, a utilização de óleos essenciais tem uma desvantagem importante, pois a maioria deles apresenta um forte odor. Logo, é muito importante dosar a concentração de óleo essencial sem que a mesma modifique as características organolépticas da carne (SHEN; KAMDEM, 2015).

Segundo Moura *et al.* (2018), o uso de aditivos naturais como alternativas aos aditivos sintéticos estão sendo estudados. A potencialidade desses compostos atuando como antioxidantes, antimicrobianos, analgésicos, antitumorais, inseticidas, antidiabéticos e anti-inflamatórios. Quando aplicados em alimentos podem desempenhar função aromatizante, antimicrobiana e antioxidante, sendo sua principal função a de minimizar ou eliminar a presença de microrganismos e a oxidação lipídica (RIBEIRO-SANTOS *et al.*, 2017). A curcumina, composto produzido a partir dos rizomas da cúrcuma, também é um antioxidante natural eficaz quando comparado com antioxidantes tradicionais, podendo ser usada para minimizar ou prevenir a oxidação lipídica de alimentos, mantendo a sua qualidade nutricional e prolongando a vida de prateleira (CARVALHO *et al.*, 2017).

De acordo com Haghghi-Manesh e Azizi (2017), outros compostos que vêm atraindo a atenção dos pesquisadores são os flavonoides extraídos do cacau, devido à sua capacidade antioxidante e possíveis benefícios para a saúde humana é a quitosana, um polissacarídeo encontrado na natureza, que é considerado biofuncional, biodegradável e não possui toxicidade, além de possuir forte ação antimicrobiana.

Santana *et al.* (2013) destacam a utilização do urucum como fonte de compostos antioxidantes, sendo que a embalagem contendo urucum pode ser utilizada para armazenar alimentos lipídicos, evitando a oxidação dos mesmos. Dantas *et al.* (2015) evidenciaram que o uso da polpa de frutas tropicais (tais como manga, acerola e seriguela) possuem potencial para serem utilizadas na matriz de embalagens ativas, visto que as mesmas possuem capacidade antioxidante, também podendo ser aplicadas no armazenamento de alimentos ricos em lipídeos.

Embalagens antioxidantes

Uma das principais causas da deterioração dos alimentos é a oxidação lipídica, que pode ocorrer após o crescimento microbiano. Alimentos com maior grau de instauração de seus ácidos graxos constituintes são mais susceptíveis a esse tipo de oxidação, tais como nozes, óleos vegetais e de peixe. Esta reação indesejável proporciona ao alimento um odor anormal, típico de rancidez, além de proporcionar a formação de aldeídos tóxicos e perda da qualidade nutricional. Uma alternativa para evitar este tipo de alteração é o uso de embalagens ativas,

que possuem como principal vantagem a liberação controlada de compostos antioxidantes (GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2014).

Substâncias antioxidantes são frequentemente adicionadas no produto ou na embalagem, sendo essas substâncias capazes de remover o oxigênio ou impedir a reação em cadeia produzida pelos radicais livres formados durante o processo de oxidação (SANTANA *et al.*, 2013). Nas embalagens antioxidantes ocorre a incorporação de um agente dentro da matriz polimérica da embalagem ou na superfície do recipiente que permanece em contato com o produto. Dessa forma, sua ação antioxidante é exercida através da absorção de compostos que estejam presentes no *headspace* da embalagem ao redor do produto ou pela liberação de compostos antioxidantes a partir da superfície que se mantém em contato com o alimento (FANG *et al.*, 2017).

O material de uma embalagem antioxidante é obtido através da mistura entre agentes antioxidantes (ou a substância ativa que produz os agentes antioxidantes) e o material de embalagem, através dos seguintes procedimentos: (1) dissolvendo ambos em um solvente adequado antes da aplicação da solução a um substrato via tecnologias de revestimento; (2) pela fusão do polímero e mistura do agente no polímero fundido usando tecnologias de extrusão; ou (3) pela imobilização dos agentes antioxidantes na superfície do filme (GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2014; AHMED *et al.*, 2017; HAN *et al.*, 2018).

O agente antioxidante deve possuir compatibilidade com o material da embalagem, permitindo formar uma distribuição homogênea no alimento ou no *headspace*. As vantagens de incluir antioxidantes no material da embalagem são maiores do que a sua adição direta no alimento. Devido a isso, a maior parte dos sistemas antioxidantes são fabricados na forma de pequenos pacotes, almofadas, rótulos ou até mesmo incorporadas na camada da embalagem (GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2014; MAJID *et al.*, 2018; VILELA *et al.*, 2018).

Devido à toxicidade de alguns agentes antioxidantes artificiais (tais como compostos butilados, tioéster, organofosfatos) o uso desses compostos se torna limitado em função da sua possível migração para o alimento. Como alternativa, destaca-se o uso de compostos como o tocoferol, óleos essenciais, ácidos orgânicos (ácido ascórbico), extratos de plantas (jabuticaba e beterraba) e poliaminas (espermina e espermidina). Devido ao alto custo de determinadas substâncias antioxidantes naturais, o desenvolvimento de embalagens ativas que empreguem quantidades mínimas desses compostos é desejável para aplicações práticas (SOARES *et al.*, 2009; MAJID *et al.*, 2018).

Adilah *et al.* (2018) desenvolveram filmes bioativos incorporando extrato de cascas de manga em filmes de gelatina de peixe para avaliar o efeito de diferentes concentrações de extrato (1 a 5%) nas diversas propriedades da embalagem, tais como propriedades físicas e mecânicas, incluindo sua ação antioxidante. Os autores observaram que os filmes contendo o extrato apresentaram diminuição na sua permeabilidade ao vapor de água e solubilidade, o que contribuiu para melhorar a sua resistência. Elevados nível de extratos nos filmes resultaram em uma película mais rígida e menos flexível. A adição do extrato proporcionou uma excelente atividade de remoção de radicais livres em comparação com o filme controle. Além disso, um aumento significativo no teor de compostos fenólicos foram observados nos filmes incorporados com 3 a 5% de extrato de cascas de manga.

Iahnke *et al.* (2016) investigaram o efeito de resíduos da raiz de beterraba (BRP) (2, 4, 8 e 12 g de BRP/100 g de água) sobre as propriedades mecânicas, físico-químicas, de barreira, ópticas e antioxidantes de filmes biodegradáveis à base de gelatina (GCR) (40g GCR/100 g de água). As propriedades térmicas, morfológicas e de degradação de um filme selecionado também foram avaliadas, juntamente com seu efeito protetor contra a oxidação primária do óleo de girassol. Entre todos os filmes considerados o BRP12 apresentou as propriedades mais adequadas, e em decorrência disto foi o principal objeto de estudo. Micrografias de varredura (MEV) mostraram que o BRP12 apresentou uma superfície menos homogênea em comparação com o filme de controle (sem BRP), porém com estabilidade térmica similar. Os filmes foram eficazes na proteção do óleo de girassol a partir do processo de oxidação primária, e o BRP12 apresentou maior proteção do que o filme de controle. Os autores concluíram que os filmes formulados poderiam atuar como materiais antioxidantes promissores, contribuindo assim para tecnologias a favor do meio ambiente.

Em 2015, Busolo e Lagaron relataram a caracterização do resveratrol, um antioxidante fenólico produzido naturalmente por plantas sob condições de estresse. Os autores utilizaram este componente como um antioxidante diretamente incorporado em filmes ativos para aplicações em embalagens de alimentos por adição direta e suporte em argilas. A caracterização das propriedades térmicas, antioxidantes e antimicrobianas dos materiais compósitos foram evidenciadas. Os compósitos resultantes não só mostraram forte atividade antioxidante, como também atividade antimicrobiana. Os resultados sugeriram que esta tecnologia poderia prolongar o prazo de validade de um produto tal como a carne vermelha durante alguns dias por um mecanismo de captura de radicais livres e subsequente detenção nos processos de oxidação de alimentos.

Embalagens antimicrobianas

Segurança de alimentos se refere a um quesito de grande interesse por parte dos consumidores. Através da incorporação de compostos ativos em alimentos e/ou embalagens que entram em contato com estes, torna-se possível diminuir a ação de microrganismos, garantindo assim um produto com maior segurança ao consumidor. Diversos compostos antimicrobianos podem ser utilizados, sendo eles de origem natural ou sintética (APPENDINI; HOTCHKISS, 2001 *apud* CARDOSO; SOUZA; GUIMARÃES, 2017).

Os mecanismos antimicrobianos das embalagens podem ser classificados em dois tipos: o mecanismo de liberação que inclui difusão e diminuição do composto antimicrobiano ao longo de tempo; e o mecanismo de contato, onde o efeito antimicrobiano se dá por contato direto com o alimento ou por substâncias imobilizadas na superfície da embalagem (LEE *et al.*, 2015).

Alguns aspectos devem ser considerados na seleção do agente antimicrobiano a ser incorporado na embalagem, tais como o mecanismo de inibição do agente; suas características físico-químicas; suas cinéticas de migração e difusão no alimento; tipo e população de microrganismos contaminantes; fisiologia do microrganismo-alvo; processo de fabricação do material de embalagem; processabilidade do material de embalagem; e aspectos relacionados

à legislação pertinente (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2004; VERMEIREN; DEVLIEGHERE; DEBEVERE, 2002 *apud* BRAGA, 2010; REALINI; MARCOS, 2014; FANG *et al.*, 2017).

Moura *et al.* (2018) desenvolveram filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) incorporando extratos de carotenoides comerciais naturais e erva-mate (*Ilex paraguariensis*) na embalagem. Foram avaliadas as propriedades térmicas, mecânicas e de barreira à água, bem como a eficácia antioxidante e antimicrobiana desses filmes no armazenamento de manteiga. Houve uma redução significativa na espessura e nos parâmetros mecânicos, térmicos e de barreira ao vapor de água dos filmes em comparação com o filme controle. A concentração de aditivos influenciou diretamente na coloração e na ação antioxidante e antimicrobiana dos filmes, sendo que estes proporcionaram proteção contra ação oxidativa e inibição do crescimento microbiano.

No trabalho de Mulla *et al.* (2017), a superfície de polietileno linear de baixa densidade foi quimicamente modificada pelo tratamento com ácido crômico e revestida com óleo essencial de cravo e os filmes foram testados quanto às propriedades antimicrobianas. Os filmes melhoraram a propriedade de barreira a luz ultravioleta (UV) do material e exibiram forte atividade antimicrobiana contra *Salmonella Typhimurium* e *Listeria monocytogenes* em amostras de frango embaladas por 21 dias e mantidas sob refrigeração.

Siripatrawan e Vitchayakitti (2016) desenvolveram e caracterizaram filmes de quitosana com extrato de própolis para potencial uso como embalagem ativa de alimentos com propriedades antimicrobianas. De acordo com os resultados obtidos, filmes de quitosana sem extrato de própolis mostraram nenhuma inibição do crescimento em bactérias testadas, enquanto que os filmes que possuíam o extrato exibiram atividade antimicrobiana contra os microrganismos testados.

Embalagens aromáticas

Um tipo de embalagem ativa atrativa para o uso em alimentos são as embalagens aromáticas, responsáveis pela melhor aceitação sensorial dos produtos nela acondicionados. Essas embalagens são produzidas a partir da incorporação de aromas voláteis na matriz polimérica (HUBER; RUIZ; CHASTELLAIN, 2002).

A adição de essências e odores em alguns alimentos, para compensar a perda natural de sabor ou odor, pode melhorar o aroma e o sabor de alimentos. Essas essências adicionadas podem ser liberadas de forma contínua na embalagem durante a vida útil do produto, ou a liberação pode ocorrer no momento de abertura da embalagem (HAGHIGHI-MANESH; AZIZI, 2017).

Embalagens comestíveis e/ou biodegradáveis

Devido ao crescente interesse por materiais obtidos a partir de fontes renováveis para produção de embalagens, as películas e revestimentos comestíveis vêm recebendo grande atenção por parte dos pesquisadores. Esses filmes comestíveis e/ou biodegradáveis são aplicados diretamente sobre a superfície do alimento e podem ser obtidos a partir de diversos materiais, tais como resíduos de frutas e vegetais, amido, gelatina, entre outros (ASSIS *et al.*, 2018).

Para Yan *et al.* (2019) o revestimento comestível tem sido amplamente estudado como uma alternativa para o uso em frutos, sendo assim, revestimentos à base de polissacarídeos, como a quitosana e derivados de celulose vêm ganhando cada vez mais a atenção de pesquisadores. Neste contexto, os autores revestiram morangos pela deposição eletrostática camada por camada (LBL) de quitosana em combinação com carboximetilcelulose ou somente quitosana. Os resultados mostraram que ambos os revestimentos de quitosana e LBL tiveram um efeito positivo na manutenção da firmeza do morango, mas tiveram pouco efeito sobre o total de sólidos solúveis e ácidos totais após oito dias de armazenamento a 0°C. Com relação aos compostos voláteis, os revestimentos de quitosana e LBL resultaram em um atraso na decomposição dos voláteis e na manutenção dos voláteis característicos após o armazenamento. O revestimento LBL também diminuiu a resistência aos estímulos de estresse ambiental do revestimento exógeno, e retardou o metabolismo primário e secundário, além de retardar a senescência do morango durante o armazenamento.

Atualmente tem-se interesse na inclusão de compostos naturais a partir de resíduos e subprodutos para melhorar as propriedades funcionais dos materiais de embalagem. Diferentes pesquisas mostraram resultados positivos da adição de subprodutos de resíduos, como extratos de casca de manga (ADILAH; JAMILAH; NUR HANANI, 2018), bagaço de limão (BORAH; DAS; BADWAIK, 2017) e resíduos de camarão (ARANCIBIA *et al.*, 2015). Resíduos do processamento de frutas podem ser considerados fontes econômicas de antioxidantes ou antimicrobianos, reduzindo a necessidade de uso dos conservantes sintéticos (BARBOSA-PEREIRA *et al.*, 2014).

Nur Hanani *et al.* (2018) desenvolveram um sistema de embalagem ativa feita de filmes de bicamada de gelatina/polietileno com diferentes tipos de cascas de frutas incorporadas. A incorporação de cascas de frutas em filmes de gelatina aumentou significativamente a espessura e o teor de umidade dos filmes, ao mesmo tempo que reduziu a solubilidade do filme e sua cor, a qual apresentou-se mais opaca e amarelada. Os filmes contendo romã, maçã e jaca obtiveram bons resultados antimicrobianos e representam uma boa possibilidade de embalagem para prolongar a vida útil dos alimentos.

Estudos realizados com a técnica de cobertura de filmes comestíveis em morango comprovaram que o uso de cobertura de quitosana acompanhada do uso de óleo de tomilho proporcionou diminuição na perda de massa e retardou as mudanças no conteúdo de antocianinas e no desenvolvimento bacteriano das amostras (SHAROBA; IBRAHIM; ELMANSY, 2017). A combinação da quitosana e do óleo de tomilho, oferece benefícios duplos: primeiro, os revestimentos ajudam a limitar o processo de respiração, reduz a perda de peso durante o armazenamento segundo este método ajuda a reduzir a quantidade de óleo essencial usado enquanto seus efeitos antifúngicos são mantidos. (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2011).

Lago-Vanzela *et al.* (2013) avaliaram o efeito de pré-tratamentos com revestimentos comestíveis a base de amido nativo e modificado de milho e mandioca na retenção de provitamina A durante a secagem da abóbora. Os autores observaram melhora significativa do conteúdo de carotenoides em fatias desidratadas previamente revestidas com uma solução de amido de milho, solução de amido de milho modificado e também com uma solução de amido modificado de mandioca, nas temperaturas estudadas. Concluíram que as soluções de amido

produziram um filme mais uniforme que aderiu às fatias, minimizando a degradação dos carotenoides durante a secagem da abóbora e, conseqüentemente, resultando em um produto que pode ser considerado uma boa fonte de provitamina A.

APLICAÇÕES, VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS EMBALAGENS ATIVAS

Com a exigência dos consumidores por produtos frescos e de qualidade, a comunidade científica e a indústria de alimentos trabalham para que o prazo de validade do alimento seja mais longo (BATTISTI *et al.*, 2017). A substituição das técnicas tradicionais de conservação, tais como a salga e a aplicação de calor, por novas técnicas não térmicas, que permitem um processamento mínimo, sem conservantes e capaz de manter a qualidade do alimento, estimulam o crescimento do desenvolvimento e uso das embalagens ativas (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2018).

As embalagens ativas vêm se destacando pela qualidade que garantem aos produtos durante o seu armazenamento, fornecendo soluções inovadoras para aumentar a vida útil e a segurança destes alimentos (REALINI; MARCOS, 2014). Entre os alimentos que podem ser armazenados neste tipo de embalagem encontram-se os alimentos perecíveis como carnes, laticínios, hortaliças, frutas e legumes.

Um potencial conservante na questão da preservação de massa de produtos hortigranjeiros é o permanganato (ELZUBEIR *et al.*, 2018). O uso de embalagens ativas atribui características adicionais àquelas das embalagens, comumente restritas a promover a proteção física usual, bem como, a etiquetagem de informações e com intuito de facilitar o manuseio do produto (SINGH; KUMAR; KAUR, 2014). As embalagens ativas desenvolvidas em biomateriais podem atuar como barreira do vapor d'água ou gases, proporcionando proteção mecânica e possibilitando a incorporação de compostos ativos funcionais que favorecem o aumento da vida útil do produto, representando um método importante na pós-colheita de vegetais (JAIN *et al.*, 2017). Um dos gases mais importantes da maturação, considerado geralmente como o fitohormônio do amadurecimento, por apresentar ligação a receptores na membrana celular, induzindo à síntese de enzimas que realizam alterações metabólicas (KOBELITZ, 2017). O etileno, que é o único hormônio gasoso conhecido, considerado quimicamente como um hidrocarboneto (C₂H₄) e possui atividade verificada em baixíssimas concentrações de até 0,1 ppm. O princípio da remoção de etileno com uso de absorvedores contendo permanganato de potássio (KMnO₄) tem seu alicerce fundamentado na reação química do etileno C₂H₄ com permanganato, por conta de seu caráter oxidativo. O uso de permanganato de potássio revela-se como um bom absorvedor de umidade e de etileno (SUJAYASREE; FASLUDEEN, 2017), apresentando-se, como um produto interessante a ser utilizado no manejo de vegetais na pós-colheita.

Ao se aplicar o tratamento de carbono ativado com permanganato de potássio em papelão enrugado, que representa uma embalagem ativa, apresentou resultados superiores na oxidação do etileno presente na atmosfera de estocagem ao ser comparado ao teste de papelão enrugado sem permanganato de potássio (APRILLIANI; WARSIKI; ISKANDAR, 2018). Em pesquisa realizada por Tirgar, Han, Steckl (2018), que estudaram a armazenagem de abacate e o emprego de permanganato de potássio em membranas, as concentrações de etileno emitida

pelos abacates foi extinta em 21 horas e uma quantidade quase nula de etileno foi observada por período de aproximadamente cinco dias de armazenagem.

Assim, uma das vantagens do uso das embalagens ativas está no fato desta proporcionar a diminuição dos níveis de etileno dentro das embalagens ativas e assim diminui também as taxas de respiração e senescência, favorecendo o aumento da vida útil dos produtos. Ainda, podem-se destacar outras vantagens do seu uso, tais como garantia de maior segurança do alimento, redução do uso de conservantes químicos; redução do desenvolvimento de microrganismos indesejáveis; diminuição da ocorrência de reações de oxidação; diminuição da velocidade de respiração e amadurecimento de vegetais; preservação de características sensoriais, aumentando assim a qualidade global dos alimentos (SARANTÓPOULOS; COFCEWICZ, 2016; BRAGA; PERES, 2010; AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000).

Como desvantagens, poucas são as mencionadas na literatura, mas pode-se citar o custo de produção da embalagem e perda da eficiência após sua abertura (RODRIGUEZ-AGUILERA; OLIVEIRA, 2009). Ainda, conforme Battisti *et al.* (2017), prolongar a durabilidade do produto, mantendo as características desejáveis, qualidade e a segurança microbiológica são os maiores desafios enfrentados.

CONCLUSÃO

Partindo do exposto neste estudo de revisão, fica nítida a necessidade e importância de mais pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de embalagens ativas para alimentos, a fim de tornar, cada vez mais esta, uma tecnologia promissora no ramo alimentício capaz de contribuir para uma maior conservação dos alimentos. O uso da tecnologia de embalagem ativa é uma ferramenta com grande potencial e de valorização do produto embalado, que aumenta a vida de prateleira dos produtos e é capaz de preservar as características originais do alimento embalado, evitando o uso de produtos químicos em excesso.

Pesquisas são necessárias para possibilitar a oferta de diferentes tecnologias que favoreçam a qualidade e segurança dos alimentos e a conveniência do consumidor. Cada vez mais estratégias inovadoras podem ser usadas na indústria de embalagens, melhorando ou substituindo processos, também com enfoque nos impactos ambientais deste tipo de produção e em consequência do descarte de embalagens no ambiente. Materiais biodegradáveis podem ser utilizados substituindo os plásticos, como por exemplo, os subprodutos de indústrias.

Active packaging: a promising technology for food preservation

ABSTRACT

Use of packaging is necessary to ensure the quality of food products throughout their shelf life. Active packaging contains components in its constituent materials or interior that maintain or enhance sensory aspects as well as food safety and quality. Thus, the aim of this study was to develop a literature review, gathering information from the literature about different types of active packaging used for greater food preservation. This article discusses concepts, benefits and applications, in addition to the different types of active packaging, especially those with modified atmosphere, capable of controlling ethylene levels, reducing moisture contents and releasing additives with antioxidant, antimicrobial or aromatic function. Each packing has a different mechanism of action that ensures product quality until it reaches the consumer. The use of active packaging has the advantage of increasing the shelf life and the safety of packaged foods, including meats, dairy products, fruits and vegetables, and the use of chemical preservatives providing less development of undesirable microorganisms and reactions oxidation, preserving the sensory characteristics.

KEYWORDS: antimicrobial; antioxidant; moisture; ethylene; quality.

REFERÊNCIAS

- ADILAH, A. N.; JAMILAH, B.; NORANIZAN, M. A.; NUR HANANI, Z. A. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 1-7, 2018.
- ADILAH, Z. A. M., JAMILAH, B., NUR HANANI, Z. A. Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 74, 207-218, 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, ANVISA. Ministério da Saúde. **Resolução - RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002**. Regulamento técnico para rotulagem de alimentos embalados, 2002.
- AGUDELO-RODRÍGUEZ, G., MONCAYO-MARTÍNEZ, D., CASTELLANOS, D. A. Evaluation of a predictive model to configure an active packaging with moisture adsorption for fresh tomato. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 23, p. 100458, 2020.
- AHMED, I.; LIN, H.; ZOU, L.; BRODY, A. L.; LI, Z.; QAZI, I. M.; LIANGTAO, L. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. **Food Control**, v. 82, p. 163-178, 2017.
- ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, M. H.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F.; ÁVALOS-BELMONTES, F.; CASTILLO-CAMPOHERMOSO, M. A.; CONTRERAS-ESQUIVEL, J. C.; VENTURA-SOBREVILLA, J. M.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B. Current scenario of adsorbent materials used in ethylene scavenging systems to extend fruit and vegetable postharvest life. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 3, p. 511-525, 2018.
- APPENDINI, P.; HOTCHKISS, J. H. Surface modification of poly (styrene) by the attachment of an antimicrobial peptide. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 81, p. 609-616, 2001.
- APRILLIANI, F.; WARSIKI, E.; ISKANDAR, A. Kinetic studies of potassium permanganate adsorption by activated carbon and its ability as ethylene oxidation material. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 141, n. 1, p. 0-7, 2018.
- ARANCIBIA, M. Y.; ALEMÁN, A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. Development of active films of chitosan isolated by mild extraction with added protein concentrate from shrimp waste. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 91-99, 2015.
- ASSIS, R. Q.; PAGNO, C. H.; COSTA, T. M. H.; FLÔRES, S. H.; RIOS, A. O. Synthesis of biodegradable films based on cassava starch containing free and nanoencapsulated β -carotene. **Packaging Technology and Science**, v. 31, n. 3, p. 157-166, 2018.
- AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A. M. C. Embalagens ativas para alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 337-341, 2000.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, n. 1, p. 191-203, 2006.

BARBOSA-PEREIRA, L.; ANGULO, I.; LAGARÓN, J. M.; PASEIRO-LOSADA, P.; CRUZ, J. M. Development of new active packaging films containing bioactive nanocomposites. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 26, p. 310-318, 2014.

BATTISTI, R.; FRONZA, N.; VARGAS Jr, A.; SILVEIRA, S. M.; DAMAS, M. S. P.; QUADRI, M. G. N. Gelatin-coated paper with antimicrobial and antioxidant effect for beef packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 11, p. 115-124, 2017.

BORAH, P. P.; DAS, P.; BADWAIK, L. S. Ultrasound treated potato peel and sweet lime pomace based biopolymer film development. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 36, p. 11-19, 2017.

BRAGA, L. I.; PERES, L. Novas tendências em embalagens para alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 69-84, 2010.

BRODY, A. L.; STRUPINSKY, E. P.; KLINE, L. R. **Active Packaging for Food Applications**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2001.

BUSOLO, M. A.; LAGARON, J. M. Antioxidant polyethylene films based on a resveratrol containing clay of interest in food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 6, p. 30-41, 2015.

CAMPBELL-PLATT, G. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Barueri (SP): Manole, 2015.

CARDOSO, L. G.; SOUZA, C. O.; GUIMARÃES, A. G. Prospecção tecnológica de patentes sobre a utilização de embalagens antimicrobianas em alimentos. **Caderno de Prospecção**, v. 10, n. 1, p. 14-23, 2017.

CARVALHO, D. M.; TAKEUCHI, K. P.; GERALDINE, R. M.; MOURA, C. J.; SILVEIRA, M. F. A. Filme ativo de acetato de celulose incorporado com nanosuspensão de curcumina. **Polímeros**, v. 27, p. 70-76, 2017.

CÉSAR, A. S.; MORI, C.; BATALHA, M. O. Inovações tecnológicas de embalagens nas indústrias de alimentos: estudo de caso da adoção de embalagem ativa em empresas de torrefação de café. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 9, n. 2, p. 355-378, 2009.

CHIARA, M. L. V.; PAL, S.; LICCIULLI, A.; AMODIO, M. L.; COLELLI, G. Photocatalytic degradation of ethylene on mesoporous TiO₂/SiO₂ nanocomposites: Effects on the ripening of mature green tomatoes. **Biosystems Engineering**, v. 132, p. 61-70, 2015.

DANTAS, E. A.; COSTA, S. S.; CRUZ, L. S.; BRAMONT, W. B.; COSTA, A. S.; PADILHA, F. F.; DRUZIAN, J. I.; MACHADO, B. A. S. Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 142-148, 2015.

DAY, B. Active packaging of food. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Eds). **Smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd. p 1-18, 2008.

ELZUBEIR, M. M.; ABU-GOUKH, A. A.; OSMAN, O. A.; SAFI, A. I. A. Effect of waxing and potassium permanganate on quality and shelf-life of mango fruits. **American Journal of Biology and Life Sciences**, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2018.

DJORDJEVIC, J.; BOSKOVIC, M.; DOKMANOVIC, M.; LAZIC, I. B.; LEDINA, T.; SUVAJDZIC, B.; BALTIC, M. Z. Vacuum and modified atmosphere packaging effect on *enterobacteriaceae* behaviour in minced meat. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 2, p. 1-7, 2017.

DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F. J.; GÓMEZ, B.; PUTNIK, P.; KOVAČEVIĆ, D. B.; PATEIRO, M.; SANTOS, E. M.; LORENZO, J. M. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: a review. **Food Research International**, v. 113, p. 93-101, 2018.

DROVAL, A. A.; BENASSI, V. T.; ROSSA, A.; PRUDENCIO, S. H.; PAIÃO, F. G.; SHIMOKOMAKI, M. Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, n. 3, p. 502-507, 2012.

ESTURK, B. O.; AYHAN, Z.; GOKKURT, T. Production and application of active packaging film with ethylene adsorber to increase the shelf life of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica). **Packaging Technology and Science**, v. 27, n. 3, p. 179-191, 2014.

FANG, Z.; ZHAO, Y.; WARNER, R.; JOHNSON, S. K. Active and intelligent packaging in meat industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 61, n. 2, p. 60-71, 2017.

GAIKWAD, K. K.; LEE, Y. S. Current scenario of gas scavenging systems used in active packaging - a review. **Korean Journal of Packaging Science e Technology**, v. 23, n. 2, p. 109-117, 2017.

GÓMEZ-ESTACA, J.; LÓPEZ-DE-DICASTILLO, C.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; CATALÁ, R.; GAVARA, R. Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 42-51, 2014.

GONTARD, N. Active packaging. In: SOBRAL, P. J. A.; CHUZEL, G. **Workshop sobre polímeros**. Pirassununga: FZEA, p. 23-27, 1997.

GORRIS, L. G. M.; PEPPELENBOS, H. W. Modified-atmosphere packaging of produce. In: RAHMAN, S. **Handbook of food preservation**. 2. ed. New York: CRC Press, 1999.

GRANATO, D.; NUNES, D. S.; BARBA, F. J. An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: a proposal. **Trends in Food Science and Technology**, v. 62, p. 13-22, 2017.

GUO, Y.; HUANG, J.; SUN, X.; LU, Q.; HUANG, M.; ZHOU, G. Effect of normal and modified atmosphere packaging on shelf life of roast chicken meat. **Journal of Food Safety**, v. 38, n. 5, p. 1-8, 2018.

HAGHIGHI-MANESH, S.; AZIZI, M. H. Active packaging systems with emphasis on its applications in dairy products. **Food Process Engineering**, v. 40, n. 5, p. 1-13, 2017.

HAN, J.-H.; RUIZ-GARCIA, L.; QIAN, J.-P.; YANG, X.-T. Food packaging: a comprehensive review and future trends. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 4, p. 860-877, 2018.

HÖLL, L.; HILGARTH, M.; GEISLER, A. J.; BEHR, J.; VOGEL, R. F. Prediction of in situ metabolism of photobacteria in modified atmosphere packaged poultry meat using metatranscriptomic data. **Microbiological Research**, v. 222, p. 52-59, 2019.

HUBER, M.; RUIZ, J.; CHASTELLAIN, F. Off-flavour release from packaging materials and its prevention: a foods company's approach. **Food Additives and Contaminants**, v. 19, p. 221-228, 2002.

IAHNKE, A. O. S.; COSTA, T. M. H.; RIOS, A. O.; FLORES, S. H. Antioxidant films based on gelatin capsules and minimally processed beet root (*Beta vulgaris* L. var. Conditiva) residues. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 43094, p. 1-10, 2016.

JAIN, V. K.; TIWARI, A.; MAURYA, A. K.; PAL, S. **Active packaging of horticultural produce**. In: SHUKLA, R. P.; MISHRA, R. S.; TRIPATI, A. D.; YADAV, A. K.; MANJU, T.; MISHRA, R. R. (Eds.). *Nutraceutical food processing technology: Innovative scientific research*. 1. ed. Delhi: Bharti Publications, 2017. p. 253-259.

KAEWKLIN, P.; SIRIPATRAWAN, U.; SUWANAGUL, A.; LEE, Y. S. Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 112, p. 523-529, 2018.

KHANEGHAH, A. M.; HASHEMI, S. M. B.; LIMBO, S. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: an overview of approaches and interactions. **Food and Bioproducts Processing**, v. 111, p. 1-19, 2018.

KOBLITZ, M. G. B. **Bioquímica de Alimentos Teoria e Aplicações Práticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

KRUIJF, N.; VAN BEEST, M. D. **Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering**. New York: Marcel Dekker, 2003.

LABUZA, T. P. An introduction to active packaging for foods. **Food Technology**, v. 50, n. 1, p. 68-71, 1996.

LABUZA, T. P.; BREENE, W. M. Applications of "active packaging" for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 13, n. 1, p. 1-69, 1989.

LAGO-VANZELA, E. S.; DO NASCIMENTO, P.; FONTES, E. A. F.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 420-425, 2013.

LEE, S. Y.; LEE, S. J.; CHOI, D. S.; HUR, S. J. Current topics in active and intelligent foodpackaging for preservation of fresh foods. *Journal of Food and Agriculture*, v. 95, n. 14, p. 2799-2810, 2015.

LORENZO, J. M.; PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F. J.; PUTNIK, P.; KOVAČEVIĆ, D. B.; FRANCO, D. Berries extracts as natural antioxidants in meat products: a review. **Food Research International**, v. 106, p. 1095-1104, 2018.

MAJID, I.; NAYIK, G. A.; DAR, M. S.; NANDA, V. Novel food packaging technologies: innovations and future prospective. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 4, p. 454-462, 2018.

MANTILLA, S. P. S.; MANO, S. B.; VITAL, H. C.; FRANCO, R. M. Atmosfera modificada na conservação de alimentos. **Revista Acadêmica, Ciências Agrárias e Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 437-448, 2010.

MOHEBBI, S.; MOSTOFI, Y.; ZAMANI, Z.; NAJAFI, F. Influence of modified atmosphere packaging on storability and postharvest quality of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 7, n. 1, p. 116-122, 2015.

MOURA, L. E.; SOUZA, C. O.; OLIVEIRA, E. A. S.; LEMOS, P. V. F.; DRUZIAN, J. I. Bioactive efficacy of low-density polyethylene films with natural additives. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 135, n. 34, p. 1-15, 2018.

MULLA, M.; AHMED, J.; AL-ATTAR, H.; CASTRO-AGUIRRE, E.; ARFAT, Y. A.; AURAS, R. Antimicrobial efficacy of clove essential oil infused into chemically modified lldpe film for chicken meat packaging. **Food Control**, v. 73, p. 663-671, 2017.

NUR HANANI, Z. A.; AELMA HUSNA, A. B.; NURUL SYAHIDA, S.; NOR KHAIZURA, M. A.; JAMILAH, B. Effect of different fruit peels on the functional properties of gelatin/polyethylene bilayer films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 201-211, 2018.

OLIVEIRA, L. M.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. Revisão: principais agentes antimicrobianos utilizados em embalagens plásticas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, p. 161-165, 2004.

POOJARY, M. M.; PUTNIK, P.; BURSAC KOVAČEVIĆ, D.; BARBA, F. J.; LORENZO, J. M.; DIAS, D. A.; SHPIGELMAN, A. Stability and extraction of bioactive sulfur compounds from genus processed by traditional and innovative technologies. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 61, p. 28-39, 2017.

REALINI, C. E.; MARCOS, B. Active and intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science**, v. 98, n. 3; p. 404-419, 2014.

RIBEIRO-SANTOS, R.; ANDRADE, M.; MELO, R. N.; SANCHES-SILVA, A. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 61, p. 132-140, 2017.

ROBERTSON, G. L. **Food packaging: principles and practice**. 3 ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2012.

RODRIGUEZ-AGUILERA, R.; OLIVEIRA, C. J. Review of design engineering methods and applications of active and modified atmosphere packaging systems. **Food Engineering Reviews**, v. 1, n. 1, p. 66-83, 2009.

ROONEY, M. L. Active packaging in polymer films. In: ROONEY, M. L. **Active food packaging**. Chapman & Hall, p. 74-110, 1995.

ROONEY, M. L. Introduction to active food packaging technologies. In: **Innovations in Food Packaging**. Jung H. Han: Academic Press, 2005.

RUX, G.; MAHAJAN, P. V.; GEYER, M.; LINKE, M.; ASTRID, C.; SANGERLAUB, S.; CALEB, O. J. Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms. **Postharvest Biology and Technology**, v. 108, p. 102-110, 2015.

RUX, G.; MAHAJAN, P. V.; LINKE, M.; PANT, A.; SANGERLAUB, S.; CALEB, O. J.; GEYER, M. Humidity-regulating trays: moisture absorption kinetics and applications for fresh produce packaging. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 4, p. 709-716, 2016.

SANCHES-SILVA, A.; COSTA, D.; ALBUQUERQUE, T. G.; BUONOCORE, G. G.; RAMOS, F.; CASTILHO, M. C.; COSTA, H. S. Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging: a review. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 31, n. 3, p. 374-395, 2014.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L.; VARGAS, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A.; CHÁFER, M. Use of essential oils in bioactive edible coatings: a review. **Food Engineering Reviews**, v. 3, p. 1-16, 2011.

SANTANA, M. C. C. B.; MACHADO, B. A. S.; SILVA, T. N.; NUNES, I. L.; DRUZIAN, J. I. Incorporação de urucum como aditivo antioxidante em embalagens biodegradáveis a base de quitosana. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 544-550, 2013.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; ALVES, R. V.; OLIVEIRA, L. M.; GOMES, T. C. **Embalagens com atmosfera modificada**. Campinas: CETEA/ITAL, p. 99-114, 1996.

SARANTÓPOULOS, C.; COFCEWICZ, L. S. Embalagens ativas para produtos perecíveis. Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens. **Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 1-12, 2016.

SHAROBA, A. M.; IBRAHIM, M. A. E. A.; ELMANSY, H. A. Effect of edible coating by chitosan with lemongrass and thyme oils on strawberry quality and shelf life during storage. **Journal of Food Technology and Nutritional Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2017.

SHEN, Z.; KAMDEM, D. P. Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 74, p. 289-296, 2015.

SINGH, M.; KUMAR, A.; KAUR, P. Respiratory dynamics of fresh baby corn (*Zea mays* L.) under modified atmospheres based on enzyme kinetics. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1911-1919, 2014.

SIRIPATRAWAN, U.; KAEWKLIN, P. Fabrication and characterization of chitosan-titanium dioxide nanocomposite film as ethylene scavenging and antimicrobial active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 84, p. 125-134, 2018.

SIRIPATRAWAN, U.; VITCHAYAKITTI, W. Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 695-702, 2016.

SIVERTSVIK, M.; ROSNES, J. T.; BERGSLIEN, H. Modified atmosphere packaging. In: OHLSSON, T.; BENGTTSSON, N. (Eds.). **Minimal Processing Technologies in the Food Industry**. Cambridge: Woodhead publishing, 2002.

SOARES, N. F. F.; SILVA, W. A.; PIRES, A. C. S.; CAMILOTO, G. P.; SILVA, P. S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 370-378, 2009.

SPRICIGO, P. C.; FOSCHINI, M. M.; RIBEIRO, C.; CORRÊA, D. S.; FERREIRA, M. D. Nanoscaled platforms based on SiO₂ and Al₂O₃ impregnated with potassium permanganate use color changes to indicate ethylene removal. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 9, p. 1622-1630, 2017.

SUJAYASREE, O. J.; FASLUDEEN, N. S. Potassium permanganate (KMnO₄) as a effective anti-ethyleneagent to delay fruit ripening: recent advances. **Research Journal of Chemical and Environmental Sciences**, v. 5, n. 2, p. 4, 2017.

TEODORO, A. J.; ANDRADE, É. C. B.; MANO, S. B. Avaliação da utilização de embalagem em atmosfera modificada sobre a conservação de sardinhas (*Sardinella brasiliensis*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 1, n. 27, p. 158-161, 2007.

TIRGAR, A.; HAN, D.; STECKL, A. Absorption of ethylene on membranes containing potassium permanganate loaded into alumina nanoparticle incorporated alumina/carbon nanofibers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 22, p. 5635-5643, 2018.

VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; DEBEVERE, J. Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. **Food Additives and Contaminants**, v. 19, p. 163-171, 2002.

VILELA, C.; KUREK, M.; HAYOUKA, Z.; RÖCKER, B.; YILDIRIM, S.; ANTUNES, M. D. C.; NILSEN-NYGAARD, J.; PETTERSEN, M. K.; FREIREA, C. S. R. A concise guide to active agents for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 212-222, 2018.

YAN, J.; LUO, Z.; BAN, Z.; LU, H.; LI, D.; YANG, D.; AGHDAM, M. S.; LI, L. The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 147, p. 29-38, 2019.

YANG, D.; LI, D.; XU, W.; LIAO, R.; SHI, J.; FU, Y.; WANG, J.; WANG, Y.; HE, X. Design and application of a passive modified atmosphere packaging for maintaining the freshness of Chinese cabbage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 94, p. 136-141, 2018.

YILDIRIM, S.; RÖCKER, B.; PETTERSEN, M. K.; NILSEN-NYGAARD, J.; AYHAN, Z.; RUTKAITE, R.; RADUSIN, T.; SUMINSKA, P.; MARCOS, B.; COMA, V. Active packaging applications for food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 1, p. 165-199, 2018.

ZHANG, M.; MENG, X.; BHANDARI, B.; FANG, Z. Recent developments in film and gas research in modified atmosphere packaging of fresh foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 13, p. 2174-2182, 2016.

Recebido: 10 set. 2019.

Aprovado: 17 set. 2021.

DOI: 10.3895/rebrapa.v11n2.10672

Como citar:

MARTINAZZO, J. et. al. Embalagens ativas: uma tecnologia promissora na conservação de alimentos. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 11, n. 2, p. 171-194, abr./jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Janine Martinazzo

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI Erechim, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

