

Capítulo 2

Embalagens utilizadas para frutas e hortaliças minimamente processadas

Lucimeire Pilon

1. Introdução

A embalagem tem como funções primárias conter, proteger e vender o produto nela acondicionado, preservando ao máximo sua qualidade e criando condições que minimizem alterações químicas, bioquímicas e microbiológicas que causam sua degradação (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009). Outro aspecto importante é a conveniência. A indústria de embalagens teve que reagir às mudanças no estilo de vida das sociedades industrializadas modernas, cedendo à demanda por maior conveniência dos produtos (ROBERTSON, 2012).

As soluções inovadoras na tecnologia de embalagens, bem como as melhorias na cadeia do frio e na tecnologia de processamento, certamente são os fatores que tornam possível a revolução no volume de vendas de frutas e hortaliças minimamente processadas nos últimos tempos (GORNÝ, 1997; ZHUANG, 2011).

As frutas e hortaliças minimamente processadas são submetidas, frequentemente, a estresses mecânicos, tanto durante o processamento quanto na distribuição, que causam injúrias levando a mais rápida perda de qualidade (BRECHT, 1995). A sua degradação implica nas perdas de umidade, alteração microbiana e fisiológica dos tecidos. Dessa forma, a escolha do material apropriado da embalagem é de extrema importância para assegurar maior vida útil desses produtos.

Os materiais para embalagem de frutas e hortaliças minimamente processadas devem ter alta permeabilidade a gases e etileno ou conter absorvedores de gás para controlar a respiração e produção de etileno. É necessário que o filme selecionado seja de três a seis vezes mais permeável ao CO_2 do que ao O_2 . As microperfurações dos filmes podem ser uma alternativa para promover os níveis adequados de CO_2 e O_2 na embalagem e prolongar a vida útil do produto (CANER, 2012; CLIFF et al., 2010; KARTAL; ADAY).

A composição gasosa é um dos parâmetros mais importantes relacionados à embalagem de produtos frescos, podendo afetar o metabolismo pós-colheita e acelerar a deterioração após o processamento; uma vez que cada fruta e hortaliça necessita de uma específica composição gasosa para estender sua vida útil (ARGENTA et al., 2004). Tem sido amplamente relatado na literatura o uso bem sucedido de embalagens com atmosfera modificada (MAP) para frutas e hortaliças minimamente processadas, contendo baixo teor de oxigênio (O_2) e alto CO_2 e outros gases (CORTELLINO et al., 2015; GONZÁLEZ-AGUILAR; WANG; BUTA, 2000; MARTÍNEZ-ROMERO et al., 2003; PILON et al., 2006; WAGHMARE e ANNAPURE, 2013).

As embalagens com atmosfera modificada têm vantagens em estender a vida útil do produto fresco, preservando as suas propriedades e proporcionando conveniência para o seu uso e distribuição. No entanto, é importante ressaltar que quase todos os sistemas MAP atualmente projetados têm também limitações específicas (ZHANG et al., 2015). Assim, a combinação das embalagens MAP, diferentes filmes, e outros métodos de tratamentos pode aumentar a eficácia em proteger o produto a ser comercializado (FARBER et al., 2003).

2. Métodos para modificação da atmosfera nas embalagens

2.1. Embalagens com atmosfera modificada (MAP)

Entre as mais comuns técnicas utilizadas para estender a vida útil e oferecer segurança aos produtos minimamente processados, estão a manipulação da temperatura e o uso de embalagem com atmosfera modificada (WILEY, 1994).

A embalagem com atmosfera modificada pode estender a vida útil do produto por minimizar as desordens fisiológicas, atividade metabólica e reduzir o crescimento microbiano. Fatores como tipo de filme, espessura, área, peso das frutas e hortaliças minimamente processadas na embalagem, umidade relativa e taxa de respiração influenciam a composição atmosférica em equilíbrio dentro da embalagem (DAVIES, 1995; GARCIA; BARRETT, 2005; GHIDELLI; PÉREZ-GAGO, 2016).

Durante o armazenamento sob atmosfera modificada, os níveis de O_2 geralmente são reduzidos e o de CO_2 aumentado (CHURCH; PARSONS, 1995; KADER; ZAGORY; KERBEL, 1989). Entre as respostas das frutas e hortaliças para o baixo nível de O_2 , incluem a redução da respiração e síntese de etileno, degradação da clorofila e parede celular, e redução da oxidação de compostos fenólicos. A indução da fermentação, acúmulo de acetaldeído, etanol e lactato, e reduzida biossíntese de compostos aromáticos também podem ocorrer nessas concentrações (BEAUDRY, 2000; KADER; SALTVEIT, 2003). Para prevenir as condições de anaerobiose na embalagem, algumas pesquisas sugerem a utilização de filmes microperfurados (HOBSON; BURTON, 1989; LEE et al., 1996b). Os filmes microperfurados a laser apresentam alta permeabilidade a gases e capacidade de manutenção da umidade.

É importante determinar previamente a tolerância do produto ao baixo nível de O_2 e alto nível de CO_2 , a atmosfera ideal para cada fruta e hortaliça (geralmente são utilizados 3 a 8% de O_2 e 3 a 10% de CO_2) e sua taxa de respiração, lembrando que a concentração gasosa da embalagem depende da temperatura e período de armazenamento (ARGENTA et al., 2004; SALTVEIT, 2003).

A modificação da atmosfera ao redor do produto pode ser conseguida por meio da criação de uma atmosfera modificada ativa na embalagem, ou ser gerada ao longo do tempo pela respiração das frutas e hortaliças na embalagem selada (KADER; WATKINS, 2000). A atmosfera modificada passiva é obtida por meio do controle das trocas gasosas através da própria embalagem. O ambiente atmosférico desejado é atingido por meio da respiração do produto e das trocas gasosas (difusão de O_2 e CO_2) através da embalagem com o meio externo. A atmosfera modificada ativa é obtida por meio da reposição da atmosfera do interior da embalagem por misturas gasosas, em concentração preestabelecida. Promove-se o vácuo moderado na embalagem que contém produto e injeta-se a mistura de gases desejada antes da sua selagem (CHITARRA; CHITARRA, 2005; LEE et al., 1996a).

Uma nova técnica para embalagem de produtos vegetais é a atmosfera modificada ativa não convencional, onde há substituição da pressão parcial do gás atmosférico original com gases nobres (He, Ar ou Xe), óxido nitroso (N_2O), N_2 ou O_2 superatmosférico (ARTÉS et al., 2009; MENG; ZHANG; ADHIKARI, 2012; ZHANG et al., 2016). Tomás-Callejas et al. (2011) relataram que o He e o O_2 superatmosférico contribuíram para a preservação da qualidade de acelga minimamente processada.

2.1.1. Tipos de filmes poliméricos e seleção de embalagens

A escolha apropriada do material da embalagem é um importante aspecto a ser determinado para a aplicação da atmosfera modificada. Os materiais devem ter baixa taxa de transmissão de vapor de água, permeabilidade a gases, resistência mecânica, e boa capacidade de vedação para assegurar a retenção de gás.

As embalagens utilizadas para produtos minimamente processados incluem sacos de filmes flexíveis, bandejas rígidas com tampas de encaixe (PET e PS) ou termosseladas (PET/PE, PVC/PE, PS/PE), bandejas cobertas por filmes termoencolhíveis ou esticáveis e embalagens flow-pack. O filme polimérico mais comumente utilizado é o polipropileno biorientado (BOPP); outros exemplos são polietileno (PE) com diferentes densidades, polipropileno (PP) monocamada ou laminado ao polietileno, cloreto de polivinila (PVC), poliestireno (PS), e copolímeros de etileno e vinil acetato (EVA) (GARCIA; BARRETT, 2005; MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009).

Muitos dos filmes usados para embalagens, isoladamente, não oferecem todas as propriedades mecânicas e de barreira requeridas pelas frutas e hortaliças minimamente processadas (AL-ATI; HOTCHKISS, 2002; ZAGORY, 2000). Sendo assim, muitos desses filmes são combinados por meio de processos como a laminação e coextrusão.

Os materiais de embalagens flexíveis encontrados no mercado brasileiro de produtos minimamente processados foram caracterizados pelo Centro de Tecnologia em Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos - CETEA-ITAL, e classificados em cinco categorias, como filmes esticáveis de PVC, filmes de PEBD, filmes de PP, filmes laminados de BOPP/PEBD ou apenas de BOPPcoex seláveis e filmes poliolefinicos termoencolhíveis (SARANTÓPOULOS, 2011).

Na Tabela 1, encontram-se valores de taxa de permeabilidade a gases e ao vapor d'água de diferentes filmes poliméricos, que podem ser selecionados para embalagem de frutas e hortaliças minimamente processadas.

Tabela 1. Características de permeabilidade a gases e vapor d'água por filmes plásticos de possível utilização em embalagem de vegetais minimamente processados.

Tipo de filme	Permeabilidade ^a (x 10 ³)		Transmissão ^b
	O ₂	CO ₂	Vapor d'água
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	3,9 – 13,0	7,7 – 77,0	6 – 23,2
Polipropileno (PP)	1,3 – 6,4	7,7 – 21,0	4 – 10,8
Polipropileno biorientado (BOPP)	2,0	8,0	6,7
Policloreto de vinila (PVC)	0,6 – 2,3	4,3 – 8,1	> 8
Poliestireno (PS)	2,0 – 7,7	10,0 – 26,0	108,5 – 155
Copolímeros de etileno e acetato de vinila (EVA)	12,5	50,0	40 – 60

^acm³ m⁻² dia⁻¹ atm⁻¹, (filme de 25 µm de espessura a 22 - 25 °C).

^bg m⁻² dia⁻¹ atm⁻¹ (37,8 °C e 90% UR).

Fonte: Wiley (1994) e Chitarra e Chitarra (2005).

Embora a maioria das embalagens seja desenvolvida a partir de quatro polímeros básicos, PVC, PET, PP e LDPE, para frutas e hortaliças, a indústria de embalagens com atmosfera modificada tem mostrado cada vez mais interesse no desenvolvimento e aplicação de novos filmes. Nos últimos anos, alguns filmes que têm atraído atenção incluem os filmes microperfurados, os biodegradáveis e os nanoativos, devendo-se salientar que nem todos eles têm sido amplamente utilizados em MAP na prática, mas acredita-se que as suas aplicações nessa área são promissoras devido às suas propriedades positivas melhoradas e funcionalidades específicas (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009; ZHANG et al., 2016).

2.2. Embalagens ativas e inteligentes

As embalagens tradicionais, que protegem o produto atuando de maneira inerte, lentamente estão perdendo espaço para as embalagens ativas e inteligentes. Essas embalagens interagem diretamente com o produto, prolongando sua vida útil, assegurando a qualidade e proporcionando informações aos consumidores sobre o estado final do produto (BRAGA; PERES, 2010).

A embalagem ativa pode ser definida como a que interage com o produto e o ambiente, com o intuito de prolongar a vida útil, conservar as propriedades sensoriais, mantendo a qualidade e segurança do alimento (SUPPAKUL et al., 2003). Embalagem inteligente consiste em um sistema que monitora as condições do alimento, indicando seu frescor durante o transporte e período de armazenamento (DAINELLI et al., 2008).

As tecnologias de embalagens ativas e inteligentes, que têm sido especialmente desenvolvidas para frutas e hortaliças, são os absorvedores de oxigênio, etileno, controladores de umidade, emissores de gás carbônico, integradores tempo-temperatura, indicadores de gás e voláteis, e radiofrequência (HAN; FLOROS, 2007).

2.2.1. Embalagens ativas para produtos minimamente processados

O desenvolvimento de tecnologias associadas a embalagens ativas resulta das limitações que as embalagens convencionais têm de controlar o ambiente ao redor do produto (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009). As embalagens ativas exercem funções adicionais na manutenção da qualidade dos produtos comparadas às embalagens tradicionais, pois ingredientes ativos são incluídos no material ou no espaço-livre da embalagem (sachês) (LÓPEZ-RUBIO et al., 2004).

De acordo com Day (2008), o uso de filmes e recipientes contendo ingredientes ativos é mais adequado que o de sachês para produtos minimamente processados, já que, devido à alta umidade e transpiração desses produtos, pode haver dissolução do conteúdo hidrofílico do sachê, comprometendo seu uso.

As embalagens ativas devem ser desenvolvidas para controlar o principal fator de deterioração de cada produto em particular. Assim, devem-se entender as reações relacionadas com a perda de qualidade dos produtos hortícolas, nas condições de armazenamento, para que uma embalagem ativa adequada possa ser aplicada (MEHYAR; HAN, 2011).

Na Tabela 2, estão descritos diversos tipos de embalagens ativas e seus principais componentes.

Tabela 2. Principais componentes utilizados em embalagens ativas.

Embalagens ativas	Principais componentes
Absorvedor de oxigênio	Pós de ferro, ácido ascórbico, compostos organometálicos, glicose-oxidase, etanoxidase
Absorvedor de etileno	Permanganato de potássio, carvão ativado, sílica gel, zeólito, argila
Absorvedor de umidade	Propilenoglicol, poli (álcool vinílico), sílica gel, terra diatomácea, argila
Antimicrobianos	Sorbatos, benzoatos, propionatos, etanol, ozônio, peróxido, dióxido de enxofre, antibióticos, zeólito de prata, enzimas
Emissores de CO ₂	Ácido ascórbico, carbonato de ferro + haleto metálico

Fonte: Adaptado de Braga e Peres (2010).

2.2.1.1. Absorvedores de oxigênio

A presença de oxigênio na embalagem pode desencadear ou acelerar reações oxidativas que resultam em deterioração dos alimentos, como crescimento de micro-organismos aeróbicos, odores e sabores estranhos, mudança de coloração, e redução da qualidade nutricional.

Absorvedores de oxigênio são aditivos ativos, utilizados no sistema de embalagem para absorver o oxigênio residual, que permanece depois que a embalagem é selada, e o que é originado a partir da respiração do produto e permeabilidade do material. São comercializados em várias formas: sachês, etiquetas ou rótulos, filmes, cartão e vedantes para tampas ou incorporação direta no material da embalagem (BRODY et al., 2008).

Os absorvedores de oxigênio comerciais, em sua maioria, são encontrados na forma de sachês e têm mecanismos de reação baseados na oxidação do ácido ascórbico, ferro em pó, oxidação enzimática dos ácidos graxos insaturados (ácidos oléico e linoléico) e combinação desses processos (MEHYAR; HAN, 2011).

2.2.1.2. Absorvedores de umidade

Os controladores de umidade auxiliam no monitoramento da atividade de água do produto, reduzindo o crescimento microbiano e prevenindo a condensação de vapor d'água na superfície da embalagem pelo produto fresco (VERMEIREN et al., 1999). Alguns tipos de absorvedores de umidade, utilizados

para modificar a umidade relativa da embalagem, são a sílica gel, argila natural (montmorilonita), óxido de cálcio, cloreto de cálcio e amido modificado (DAY, 2008).

A quantidade de umidade em uma embalagem de frutas e hortaliças é o resultado da transpiração do produto e da permeabilidade ao vapor d'água da embalagem. O processamento mínimo de frutas e hortaliças pode aumentar a umidade relativa dentro da embalagem devido à maior liberação de água pelo tecido vegetal cortado (MEHYAR; HAN, 2011). É comum a exsudação de líquido de frutas minimamente processadas; assim, podem-se utilizar os absorvedores de líquido (*pads*) no fundo das embalagens rígidas para a remoção do exsudado e controle da umidade relativa, como se usa para carnes e aves congeladas (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009).

2.2.1.3. Absorvedores de etileno

O etileno é um dos principais fatores endógenos que estimulam a atividade respiratória e, como consequência, antecipam o amadurecimento e a senescência dos tecidos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Dessa forma, a remoção desse gás da embalagem poderá auxiliar no aumento da vida útil das frutas e hortaliças minimamente processadas.

O mais comum absorvedor de etileno utilizado é o permanganato de potássio (KMnO_4), que é encontrado somente na forma de sachês, pois não pode entrar em contato com o alimento devido à sua toxicidade. O etileno também pode ser removido por adsorção em superfície ativa, como carvão ativo ou zeólitos, distribuídos como sachês ou incorporado no material de embalagem (BRODY et al., 2008).

2.2.1.4. Emissores de CO_2

O CO_2 pode ser adicionado nas embalagens devido a alguns efeitos benéficos que pode proporcionar, tais como alteração na função das células microbianas (FARBER, 1991) e redução da taxa respiratória do vegetal (O'BEIRNE; BALLANTYNE, 1987).

Em algumas aplicações, a remoção de oxigênio da embalagem pelo uso de absorvedor de O_2 , cria um vácuo parcial que pode resultar no colapso da embalagem flexível. Nesses casos, é desejável a liberação simultânea de CO_2 com o sachê que consome O_2 (BRAGA; PERES, 2010).

A maioria dos processos de emissão de CO_2 é ativada pela umidade gerada pelos alimentos embalados. Sendo assim, esse mecanismo de ativação pode ter aplicações limitadas em alimentos de umidade intermediária, mas pode funcionar bem em alimentos de alta umidade, como frutas e hortaliças minimamente processadas (MEHYAR; HAN, 2011).

2.2.1.5. Filmes antimicrobianos

As embalagens antimicrobianas baseiam-se na incorporação de conservantes na estrutura do polímero que compõe os filmes, rótulos, etiquetas ou sachês para reduzir, inibir ou retardar o crescimento microbiano presente principalmente na superfície do alimento embalado, onde ocorre a maior parte das reações de deterioração (BRAGA; PERES, 2010).

Os agentes antimicrobianos podem ser utilizados em forma de vapor ou incorporados diretamente nos materiais de embalagem (BRODY et al., 2008), com viabilidade de migrar para a superfície dos alimentos ou ligar-se quimicamente à superfície do filme (HAN, 2004).

São exemplos de agentes antimicrobianos: ácidos, anidridos e sais orgânicos, como ácidos benzoico e sódico, sorbatos e propionatos, anidrido sórbico; enzimas como lisozima e nisina; bacteriocinas como a nisina; fungicidas como benomil e imazalil; polímeros como quistosana e poliamida irradiada; extratos naturais como alil-isotiocianato e extrato de cravo da Índia, de alho; gases como etanol e ClO_2 , e metais como a prata (zeólito de prata e nitrato de prata) (SARANTÓPOULOS; MORAES, 2009). No Japão, os íons de prata e cobre, sais de amônio quaternário e compostos naturais são geralmente considerados

agentes antimicrobianos seguros. O zeólito de prata (Ag-zeólito) é o agente mais comum impregnado nos filmes plásticos (PÉREZ-PÉREZ et al., 2006).

2.2.2. Embalagens inteligentes para produtos minimamente processados

As embalagens inteligentes foram projetadas para detectar alterações bioquímicas ou microbianas do alimento e informar as condições do alimento ou do espaço-livre da embalagem por dispositivos externos ligados a indicadores que mostram a qualidade e a segurança do alimento (RODRIGUES; HAN, 2003). Os sistemas inteligentes incluem indicadores de tempo-temperatura, composição de gases, segurança e qualidade do produto.

Na Tabela 3, estão descritos diversos tipos de embalagens inteligentes e seus principais componentes.

Tabela 3. Principais componentes utilizados em embalagens inteligentes.

Embalagens Inteligentes	Principais componentes
Indicadores de tempo-temperatura	Mecânicos, químicos e enzimáticos
Indicadores de crescimento de micro-organismos	Corantes de pH, todos os tipos de corantes que reagem com metabólitos (voláteis e não voláteis)
Indicadores patogênicos	Métodos químicos e imunoquímicos que reagem com toxina
Indicadores de oxigênio	Tintas redox, enzimáticos, corantes de pH
Indicadores de dióxido de carbono	Químicos

Fonte: Adaptado de Braga e Peres (2010).

2.2.2.1. Integradores tempo-temperatura (TTI)

O controle preciso da temperatura pode retardar o processo de deterioração de frutas e hortaliças. A temperatura é o fator de maior influência na respiração, desenvolvimento de micro-organismos, e reações químicas que afetam a atividade metabólica de frutas e hortaliças minimamente processadas (WILEY, 1994).

Embalagem com controle de temperatura pode ser uma opção para indicar alterações no produto devido à variação de temperatura. Os Integradores tempo-temperatura são utilizados como indicadores da segurança e qualidade do produto, mediante monitoramento visual da vida útil (mudança de cor ou de movimento), ou de que o tempo-temperatura total excedeu o valor predeterminado (LABUZA, 1996). As reações ocorridas nos indicadores são baseadas em irreversíveis alterações, mecânicas, químicas, enzimáticas ou microbianas (TAOUKIS, 2008).

Os integradores tempo-temperatura têm aplicação importante para frutas e hortaliças, e uso potencial em produtos como os minimamente processados, onde o uso da temperatura de refrigeração estável é crucial, para alertar sobre flutuação da temperatura fora da faixa ideal durante o período de armazenamento (PAVELKOVÁ, 2012). O 3M™ Monitor Mark™ é um exemplo de indicador para o monitoramento da exposição térmica de produtos sensíveis à temperatura durante o transporte e o armazenamento.

2.2.2.2. Indicadores de gases e compostos voláteis

O frescor e o amadurecimento de frutas e hortaliças podem ser determinados pela medição de gás e compostos voláteis no espaço livre da embalagem. Os indicadores de frescor detectam, quando ocorrem alterações no produto, os metabólitos microbiológicos gerados, tais como oxigênio, dióxido de carbono, diacetil, aminas, etanol e sulfeto de hidrogênio (BRODY et al., 2001).

De acordo com Mehyar e Han (2011), as medições de aroma também têm sido utilizadas para monitorar o grau de fermentação de frutas. O ripeSense® é um indicador desenvolvido para detectar compostos aromáticos desprendidos pelos frutos. O ToxinGuard™ é um exemplo de indicador de frescor que incorpora anticorpos numa embalagem plástica à base de polietileno capaz de detectar patógenos. Sendo assim, mediante diagnósticos visuais, o consumidor pode adquirir produtos frescos e frutas com grau de maturação preferido.

2.2.2.3. Etiqueta de Identificação por radiofrequência (RFID)

A etiqueta de identificação por radiofrequência pode ser considerada como um sensor avançado para obtenção, transporte e armazenamento de informações, visando à identificação automática de produtos e sua rastreabilidade (BRAGA; PERES, 2010). A rastreabilidade representa a capacidade de capturar, coletar e armazenar informações, relacionadas a todos os processos na cadeia de suprimentos, de uma maneira que garanta ao consumidor e outras partes interessadas a origem, o local e o histórico de vida de um produto (MAINETTI et al., 2013).

Essa tecnologia consiste em etiquetas (suporte de dados), leitores (receptores), e sistemas informáticos (software, hardware, networking e base de dados). A etiqueta RFID é incorporada na embalagem, a partir da qual um sensor apropriado é utilizado para coletar os dados sobre a condição do produto. Os dados armazenados nas etiquetas (identificação do produto e seu histórico) são transmitidos para o leitor para decodificação e, após, processados pelo sistema de computador (BRODY et al., 2008; YAM et al., 2005).

Esses dados podem ser coletados em qualquer ponto durante o processamento e distribuição do produto de maneira rápida, o que torna o uso dessa tecnologia mais flexível do que o sistema de código de barras. De acordo com Moretti e Mattos (2007), o uso de código de barras exige que o produto seja “escaneado” de cada vez, enquanto que o leitor de RFID pode ler centenas de etiquetas ao mesmo tempo, tornando ágil o processo de carregamento e de entrega, o que favorece tanto as empresas quanto os consumidores devido aos ganhos em logística.

A capacidade de rastrear informações completas de forma eficiente e confiável está se tornando cada vez mais imprescindível para as empresas. Adquire ainda maior importância para as empresas envolvidas na cadeia de fornecimento de frutas e hortaliças frescas e processadas para garantir aos consumidores finais produtos de alta qualidade (MAINETTI et al., 2013).

3. Filmes biodegradáveis

Há uma tendência crescente na área de embalagens de frutas e hortaliças quanto à substituição dos filmes derivados de petróleo pelos materiais biodegradáveis. Os bioplásticos (biopolímeros) são embalagens produzidas a partir de matérias-primas biológicas renováveis (GALGANO et al., 2015; LUCERA et al., 2010).

Devido à natureza não renovável e o problema de eliminação de resíduos de petróleo, as pesquisas de bioplásticos passaram a ganhar incentivo, já que o descarte dessas embalagens na natureza causa baixos impactos ao meio ambiente por serem compostáveis ou degradáveis pela ação enzimática dos micro-organismos. Geralmente, esses polímeros biodegradáveis são hidrolisados em CO₂, CH₄, compostos inorgânicos ou biomassa (JABEEN; MAJID; NAYIK, 2015).

Os biopolímeros são amplamente classificados de acordo com o seu método de produção e origem de suas matérias-primas. Os biopolímeros podem ser extraídos diretamente de materiais naturais, como os polissacarídeos (amido e celulose), proteínas (caseína e glúten) e lipídeos. Eles podem ser produzidos por síntese química a partir de monômeros bioderivados, como o polilactato (PLA), um poliéster polimerizado a partir de monômeros de ácido láctico, a policaprolactona (PCL) e o polibutileno succinato (PBS). Eles

também podem ser produzidos por fermentação microbiana (incluindo micro-organismos geneticamente modificados), tais como polihidroxialcanoato (PHA), polihidroxibutirato (PHB) (GALGANO et al., 2015; RHIM; PARK; HA, 2013).

Alguns bioplásticos como o polihidroxialcanoatos (PHAs), polihidroxibutiratos (PHB), polilactato (PLA) e poliglicolatos (PGA), além de várias blends, são encontrados no mercado, comercializados por diferentes empresas (PRADELLA, 2006). Entre os bioplásticos, o PLA é o mais amplamente utilizado. O PLA vem substituindo o polietileno de alta (PEAD) e baixa densidade (PEBD), polietileno tereftalato (PET) e o poliestireno como material de embalagem. Entre suas aplicações, está a embalagem de frutas frescas (PLA tigelas) pela empresa McDonald's, e frutas e hortaliças minimamente processadas (PLA bandejas) pela empresa Asda Stores Ltda. (JABEEN; MAJID; NAYIK, 2015). Esses mesmos autores citam aplicações para os plásticos à base de amido para tomates orgânicos (Iper supermarkets, Italy) e bandejas biodegradáveis embrulhadas com filmes de celulose para kiwis.

Os bioplásticos têm mostrado aplicações promissoras para produtos frescos. Koide e John (2007) compararam o filme biodegradável à base de PLA com filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) e PEBD perfurado na manutenção da qualidade do pimentão inteiro e não encontraram diferenças na cor, textura e conteúdo de ascórbico entre as embalagens avaliadas após sete dias a 10 °C. No entanto, relataram efeito positivo do PLA sobre o PEBD quanto à contagem microbiana nas amostras devido à sua maior permeabilidade ao vapor d'água. Os autores sugerem que filmes de PLA podem ser uma alternativa para substituir o PEBD em embalagens com atmosfera modificada. Botondi et al. (2015), encontraram resultados semelhantes de qualidade e capacidade antioxidante de espinafres minimamente processados embalados em bandejas PLA e PET durante o armazenamento a 4 oC, e sugerem o uso de PLA ao invés de PET na distribuição de varejo de espinafres minimamente processados, devido à sua biodegradabilidade e compostabilidade. Para melões minimamente processados, Zhou et al. (2016) relataram que bandejas de PLA foram mais efetivas em manter a qualidade do produto por 10 dias a 10 oC, quando comparadas com bandejas PET.

3.1. Nanotecnologia em embalagens

A aplicação da nanotecnologia apresenta vantagens consideráveis na melhoria dos materiais de embalagem. Essa tecnologia tem potencial para aprimorar as propriedades (mecânicas e barreiras) das embalagens para alimentos, bem como fornecer a elas novas funcionalidades, como atividade antimicrobiana e antioxidante e monitoramento da qualidade dos alimentos.

A síntese de nanopartículas pode ser realizada de várias formas, entre elas extração por solvente/evaporação, por cristalização, por hidrólise ácida e via enzimática (DUFRESNE, 2006; BHUSHAN, 2004). A escolha do método depende do tipo e origem do material (vegetais, cerâmicos, poliméricos, entre outros) e de como será sua aplicação na embalagem (DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006; PINNA; NIEDERBERGER, 2008; WANG et al., 2007). No entanto, não é o intuito desse item descrever a produção de nanopartículas, pois tais estudos encontram-se bem discutidos na literatura.

De um modo geral, a introdução de nanopartículas em uma matriz polimérica promove, principalmente, melhoras nas propriedades mecânicas (resistência à tração e ruptura) e de barreira (permeabilidade a gases e a vapor d'água) e pode atuar, dependendo da composição, como agente antimicrobiano, com benefícios de qualidade e segurança do alimento (BELBEKHOUCHE et al., 2011; WANG et al., 2007).

Além dos benefícios citados, a incorporação de nanoestruturas pode reduzir custos de manufatura atribuídos à sua escala nanométrica. Nesse contexto, a nanotecnologia mostra-se uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de novos materiais para a indústria alimentícia, incluindo embalagens adequadas à conservação de frutas e hortaliças minimamente processadas.

4. Conclusão

Os grandes avanços vistos pela indústria de alimentos no setor de embalagens nos últimos tempos, onde várias tecnologias emergentes estão sendo analisadas, entre elas, as embalagens ativas e inteligentes, podem proporcionar, juntamente com outras tecnologias, produtos de melhor qualidade e mais seguros no mercado. No entanto, embora essas embalagens tenham mostrado eficiência no controle das reações de deterioração de produtos vegetais, as investigações para frutas e hortaliças minimamente processadas são ainda imaturas, sendo necessárias maiores informações quanto à sua contribuição para a melhoria da qualidade e segurança desses produtos.

Referências

- AL-ATI, T.; HOTCHKISS, J. H. Application of Packaging and Modified Atmosphere to Fresh-cut Fruits and Vegetables. In: LAMIKANRA, O. **Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market**. Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 2002. p. 311-344.
- ARGENTA, L. C.; MATTHEIS, J. P.; FAN, X.; FINGER, F. L. Production of volatile compounds by fuji apples following exposure to high CO₂ or low O₂. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 5957-5963, 2004.
- ARTÉS, F.; GÓMEZ, P.; AGUAYO, E.; ESCALONA, V.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 51, p. 287-296, 2009.
- BEAUDRY, R. M. Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging. **HortTechnology**, Alexandria, v. 10, p. 491-500, 2000.
- BELBEKHOUCHE, S.; BRAS, J.; SIQUEIRA, G.; CHAPPEY, C.; LEBRUN, L.; KHELIFI, B.; MARAIS, S.; DUFRESNE, A. Water sorption behavior and gas barrier properties of cellulose whiskers and microfibrils films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, p. 1740-1748, 2011.
- BHUSHAN, B. (Ed.). **Springer handbook of nanotechnology**. Berlin: Springer, 2004. 1222 p.
- BOTONDI, R.; BARTOLONI, S.; BACCELLONI, S.; MENCARELLI, F. Biodegradable PLA (polylactic acid) hinged trays keep quality of fresh-cut and cooked spinach. **Journal of Food Science and Technology**. v. 52, n. 9, p. 5938–5945, 2015.
- BRAGA, L. R.; PERES, L. Novas tendências em embalagens para alimentos: revisão. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 69-84, 2010.
- BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 18-21, 1995.
- BRODY, A. A.; BUGUSU, B.; HAN, J. H.; SAND, C. K.; MCHUGH, T. H. Innovative Food Packaging Solutions. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 73, n. 8, p. 107-116, 2008.
- BRODY, A. L.; STRUPINSKY, E. R.; KLINE, L. R. **Active Packaging for Food Applications**. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Col., 2001. 217 p.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2a ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- CHURCH, I.J.; PARSONS, A.L. Modified atmosphere packaging technology: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 67, p. 143–152, 1995.
- CLIFF, M.A.; TOIVONEN, P.M.A.; FORNEY, C.F.; LIU, P.P.; LU, C. Quality of fresh-cut apple slices stored in solid and micro-perforated film packages having contrasting O₂ headspace atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 58 254-261, 2010.
- CORTELLINO, G.; GOBBI, S.; BIANCHI, G.; RIZZOLO, A. Modified atmosphere packaging for shelf life extension of fresh-cut apples. **Trends in Food Science and Technology**, v. 46, p. 320-330, 2015.

- DAINELLI, D.; GONTARD, N.; SPYROPOULOS, D.; ZONDERVAN-VAN DEN BEUKEN, E.; TOBACK, P. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 19, p. 103-112, 2008.
- DAVIES, A.R. In: GOULD, G.W. (ed) *Advances in modified atmosphere packaging, new method of food preservation*. Glasgow UK,: Blackie, 1995. p. 304–320.
- DAY, B. P. F. Active packaging of food. In: KERRY, J. (ed.). **Smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Hoboken, NJ: John Wiley, 2008. p. 1–18.
- DUFRESNE, A. Comparing the mechanical properties of high performances polymer nanocomposites from biological sources. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, Stevenson Ranch, v. 6, p. 322-330, 2006.
- DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C de. **Nanotecnologia**: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo: Artliber, 2006. 208 p.
- FARBER, J. M. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology: a review. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 54, n. 1, p. 58-70, 1991.
- FARBER, J.N.; HARRIS, L.J.; PARISH, M.E.; BEUCHAT, L.R.; SUSLOW, T.V.; GORNEY, J.R.; GARRETT, E.H.; BUSTA, F.F. Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2 (Supplement), p. 143-160, 2003.
- GALGANO, F.; CONDELLI, N.; FAVATI, F.; DI BIANCO, V.; PERRETTI, G.; CARUSO, M.C. Biodegradable packaging and edible coating for fresh-cut fruits and vegetables. **Italian Journal of Food Science**, v. 27, 2015.
- GARCIA, E.; BARRETT, D. M. Fresh-cut fruit. In: BARRETT, D. M.; SOMOGYI, L.; RAMASWAMY, H. **Processing fruits: science and technology**. 2a ed. Boca Raton - FL: CRC Press, 2005. p. 53-72.
- GHIDELLI, C.; PÉREZ-GAGO, M. B. Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables. **Journal Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2016.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; WANG, C. Y.; BUTA, J. G. Maintaining Quality of Fresh-Cut Mangoes Using Antibrowning Agents and Modified Atmosphere Packaging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 9, p. 4204-4208, 2000.
- GORNY, J. R. Modified atmospheres packaging and the fresh-cut revolution. **Perishables Handling Newsletter**, [S. l.], n. 90, p. 4-5, 1997.
- HAN, J. H. Mass transfer modeling in closed systems for food packaging particulate foods and controlled release technology. **Food Science and Biotechnology**, [S. l.], v. 13, n. 6, p. 700–706, 2004.
- HAN, J. H.; FLOROS, J. D. Active packaging. In: TEWARI, G.; JUNEJA, V. K. (ed.). **Advances in thermal and non-thermal food preservation**. Ames, Ia: Blackwell Professional, 2007. p. 167-183.

HOBSON, G.; BURTON, K. The Application of Plastic Film Technology to the Preservation of Fresh Horticultural Produce. **Professional Horticulture**, [S. l.], v. 3, p. 20-23, 1989.

JABEEN, N.; MAJID, I.; NAYIK, G.A. Bioplastics and food packaging: A review. **Cogent Food and Agriculture**, v.1, p. 1-6, 2015.

KADER, A. A.; SALTVEIT, M. E. Atmosphere modification. In: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 229-246.

KADER, A. A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E. L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 28, n. 1, p. 1-30, 1989.

KADER, A. A.; WATKINS, C. B. Modified Atmosphere Packaging - Toward 2000 and Beyond. **Horttechnology**, v. 10, n. 3, p. 483-486, 2000.

KARTAL, S.; ADAY, M. S.; CANER, C. Use of microperforated films and oxygen scavengers to maintain storage stability of fresh strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 71, 32-40, 2012.

KOIDE, S.; JOHN, S. Microbial and quality evaluation of green peppers stored in biodegradable film packaging. **Food Control**, 18, p.1121-1125, 2007.

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

LEE, L. Z.; ARUL, J.; LENCKI, R.; CASTAIGNE, F. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects - part II. **Packaging Technology and Science**, 9, p.1-17. 1996a.

_____. Methodology for determining the appropriate selectivity of mass transfer devices for modified atmosphere packaging of fresh produce. **Packaging Technology and Science**, [S. l.], v. 9, p. 55-72, 1996b.

LÓPEZ-RUBIO, A.; ALMENAR, E.; HERNANDEZ-MUNOZ, P.; LAGARON, J. M.; CATALA, R.; GAVARA, R. Overview of active polymer-based packaging technologies for food application. **Food Reviews International**, New York, v. 20, n. 4, p. 357-387, 2004.

LUCERA, A.; COSTA, C.; MASTROMATTEO, M.; CONTE, A.; DEL NOBILE, M.A. Influence of different packaging systems on fresh-cut zucchini (*Cucurbita pepo*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 11, n. 2, p. 361, 2010.

MAINETTI, L.; MELE, F.; PATRONO, L.; SIMONE, F.; STEFANIZZI, M. L.; VERGALLO, R. An RFID-Based Tracing and Tracking System for the Fresh Vegetables Supply Chain. *International Journal of Antennas and Propagation*, p. 1-15, 2013.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; MAHAJAN, P. V. Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review. **Food Engineering Reviews**, v. 1, p. 133-158, 2009.

MARTÍNEZ-ROMERO, D.; GUILLÉN, F.; CASTILLO, S.; VALERO, D.; SERRANO, M. Modified atmosphere packaging maintains quality of table grapes. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 5, p. 1838-1843, 2003.

- MEHYAR, G. F.; HAN, J. H. Active Packaging for Fresh-Cut Fruits and Vegetables. In: BRODY, A. L.; ZHUANG, H.; HAN, J. H. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables**. Ames-IA: Wiley-Blackwell, 2011. p. 267-284.
- MENG, X.; ZHANG, M.; ADHIKARI, B. Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 71, p.13-20, 2012.
- MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. Sistemas e tecnologias podem prevenir e evitar contaminações. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 4, p. 75-77, 2007.
- O'BEIRNE, D.; BALLANTYNE, A. Some effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging in combination with antioxidants on quality and storage life of chilled potato strips. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 22, p. 515-523, 1987.
- PAVELKOVÁ, A. Intelligent packaging as device for monitoring of risk factors in food. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, v. 2, p. 282-292, 2012.
- PÉREZ-PÉREZ, C.; REGALADO-GONZÁLEZ, C.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, C. A.; BARBOSA-RODRÍGUEZ, J. R.; VILLASEÑOR-ORTEGA, F. Incorporation of antimicrobial agents in food packaging films and coatings. In: GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G.; TORRES-PACHECO, I. **Advances in Agricultural and Food Biotechnology**. Kerala: Research Signpost, 2006. p. 193-216.
- PILON, L.; OETTERER, M.; GALLO, C. R.; SPOTO, M.H.F. Shelf life of minimally processed carrot and green pepper. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 1, p. 150-158, 2006.
- PINNA, N.; NIEDERBERGER, M. Surfactant-free nonaqueous synthesis of metal oxide nanostructures. **Angewandte Chemie International Edition**, [Weinheim], v. 47, p. 5292-5304, 2008.
- PRADELLA, J. G. C. **Biopolímeros e Intermediários Químicos**. São Paulo: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2006. 119 p. Relatório Técnico nº 84 396-205.
- RHIM, J. W.; PARK, H. M.; HA, C. S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, v. 38, p. 1629-1652, 2013.
- ROBERTSON, G. L. Introduction to food packaging. In: **Food packaging: principles and practice**. Florida: CRC Press, 2012. p. 1-8.
- RODRIGUES, E. T.; HAN, J. H. Intelligent packaging. In: HELDMAN D.R. (Ed.). **Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering**. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 528-535.
- SALTVEIT, M. E. Is it possible to find and optimal controlled atmosphere? **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 3-13, 2003.
- SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; MORAES, B. B. Embalagens ativas e inteligentes para frutas e hortaliças. **Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens**. Campinas: CETEA/ITAL, 2009. p. 1-7.
- SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. Embalagem. In: CENCI, S. A. (Ed.). **Processamento mínimo de frutas e hortaliças: tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. p. 59-70.

SUPPAKUL, P.; MILTZ, J.; SONNEVELD, K.; BIGGER, S. W. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 2, p. 408-420, 2003.

TAOUKIS, P. S. Application of time-temperature integrators for monitoring and management of perishable product quality in the cold chain. In: KERRY, J. (Ed.). **Smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Hoboken, NJ: John Wiley, 2008. p. 61-74.

TOMÁS-CALLEJAS, A.; BOLUDA, M.; ROBLES, P. A.; ARTÉS, F.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. Innovative active modified atmosphere packaging improves overall quality of fresh-cut red chard baby leaves. **Food Science and Technology**, London, v. 44, p. 1422-1428, 2011.

VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; VAN BESST, M.; KRUIJF, N.; DEBEVERE, J. Developments in the active packaging of food. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 10, p. 77-86, 1999.

WAGHMARE, R.B.; ANNAPURE, U.S. Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. **Postharvest Biology and Technology**, v. 85, p. 147-153, 2013.

WANG, X.; YAN, Y.; YOST, M. J.; FANN, S. A.; DONG, S.; LI, X. Nanomechanical characterization of micro/nanofiber reinforced type I collagens. **Journal of Biomedical Materials Research Part A**, Hoboken, v. 83A, n. 1, p. 130-135, 2007.

WILEY, R. C. (Ed.). **Minimally processed refrigerated fruits & vegetables**. New York: Chapman & Hall, 1994. 368 p.

YAM, K. L.; TAKHISTOV, P. T.; MILTZ, J. Intelligent packaging: concepts and applications. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, n. 1, p. 1-10, 2005.

ZAGORY, D. What modified atmosphere packaging can and can't do for you. In: ANNUAL POSTHARVEST CONFERENCE & TRADE SHOW, 16., 2000, Washington. **Anais...** Washington: Washington State University, 2000. Disponível em: <http://www.nsf.org/business/nsf_agriculture/articles_whatmap.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2011.

ZHANG, M.; MENG, X.; BHANDARI, B.; FANG, Z.; CHEN, H. Recent Application of Modified Atmosphere Packaging (MAP) in Fresh and Fresh-cut Foods. **Food Reviews International**, v. 31, p. 172-193, 2015.

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, p. 2174-2182, 2016.

ZHOU, H.; KAWAMURA, S.; KOSEKI, S.; KIMURA, T. Comparative Quality Changes of Fresh-cut Melon in Bio-based and Petroleum-based Plastic Containers during Storage. **Environmental Control in Biology**, v. 54, n. 2, p. 93-99, 2016.

ZHUANG, H. Introduction. In: BRODY, A. L.; ZHUANG, H.; HAN, J. H. **Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables**. Ames-IA: Wiley-Blackwell, 2011. p. 3-8.