

EMBALAGEM DE ATMOSFERA MODIFICADA NA CADEIA DE EXPORTAÇÃO DE FRUTAS TROPICAIS: EFICIÊNCIA, LIMITAÇÕES E IMPLICAÇÕES LOGÍSTICAS

MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING IN THE TROPICAL FRUIT EXPORT CHAIN: EFFICIENCY, LIMITATIONS, AND LOGISTICAL IMPLICATIONS

ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA EN LA CADENA DE EXPORTACIÓN DE FRUTAS TROPICALES: EFICIENCIA, LIMITACIONES E IMPLICACIONES LOGÍSTICAS



10.56238/edimpacto2025.090-039

Nilo Ricardo Corrêa de Mello Júnior

Mestre em Horticultura Irrigada

Instituição: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
E-mail: Nilo.jr@unesp.br

Priscyla Raquel dos Santos Cavalcante

Bacharelado em Engenharia Agronômica

Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco - UAST
E-mail: pricila_1212@outlook.com

Renato Luís Aurélio

Bacharelado em Engenharia Agronômica

Instituição: Escola Superior de Pesquisa e Desenvolvimento - ESPD
E-mail: raurelioconsultoria@gmail.com

Luzia Micaele Alves Barbosa

Bacharelado em Agronomia

Universidade do estado da Bahia

Heloisa Martucci da Silva Brito

Bacharelado em Engenharia Agronômica

Instituição: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
E-mail: heloisa.martucci@unesp.br

Mikaele de Souza Santos

Bacharelado em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco
E-mail: mikaelesouza32@gmail.com



Enzo Viana Batista

Bacharelado em Agronomia

Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco

E-mail: enzovianabatista2000@gmail.com

Abraham David Guerra Ospino

Bacharelado em Microbiología

Instituição: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências

Agrárias e Veterinárias

E-mail: adgobioinformatic@gmail.com

RESUMO

A embalagem de atmosfera modificada (AM) tem se consolidado como uma tecnologia estratégica na conservação pós-colheita de frutas tropicais, contribuindo para a redução de perdas, a manutenção da qualidade e a viabilização da exportação para mercados distantes. Este artigo apresenta uma revisão crítica sobre os avanços, limitações e implicações logísticas da AM, com ênfase em mangas, a partir da análise de literatura científica nacional e internacional publicada entre 2010 e 2025, complementada por estudos consolidados das décadas anteriores. A revisão destaca os princípios fisiológicos da AM, as distinções entre abordagens passiva e ativa, a importância da seleção adequada de materiais de embalagem e sua interação com a refrigeração. Casos práticos com cultivares de manga como 'Keitt', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' e 'Palmer' demonstram que a resposta à técnica é dependente da cultivar, da permeabilidade do filme e das condições logísticas. Embora tecnologias complementares como filtros de etileno possam agregar valor em alguns contextos, os dados indicam que sua aplicação deve ser criteriosa. Os resultados sugerem que a eficácia da AM está diretamente relacionada ao planejamento técnico, à compreensão da fisiologia do produto e à adaptação das soluções às realidades operacionais da cadeia de exportação. Conclui-se que a AM, quando corretamente aplicada, pode representar um diferencial competitivo para a fruticultura tropical, ampliando o acesso a mercados internacionais com menor impacto ambiental e maior valor agregado.

Palavras-chave: Etileno. AM. O₂. CO₂. Pós-colheita. Conservação.

ABSTRACT

Modified Atmosphere Packaging (MAP) has been consolidated as a strategic technology in the postharvest conservation of tropical fruits, contributing to the reduction of losses, the maintenance of quality, and the feasibility of exports to distant markets. This article presents a critical review of the advances, limitations, and logistical implications of MAP, with emphasis on mangoes, based on the analysis of national and international scientific literature published between 2010 and 2025, complemented by consolidated studies from previous decades. The review highlights the physiological principles of MAP, the distinctions between passive and active approaches, the importance of proper packaging material selection, and its interaction with refrigeration. Practical cases with mango cultivars such as 'Keitt,' 'Ataulfo,' 'Tommy Atkins,' and 'Palmer' demonstrate that the response to the technique depends on the cultivar, film permeability, and logistical conditions. Although complementary technologies such as ethylene filters may add value in certain contexts, the data indicate that their application should be carefully evaluated. The results suggest that the effectiveness of MAP is related to technical planning, understanding product physiology, and the adaptation of solutions to the operational realities of the export chain. It is concluded that, when properly applied, MAP can represent a competitive advantage for tropical fruit production, expanding access to international markets with lower environmental impact and greater added value.

Keywords: Ethylene. MAP. O₂. CO₂. Postharvest. Conservation.

Conhecimento em Rede: Explorando a Multidisciplinaridade 3^a Edição

EMBALAGEM DE ATMOSFERA MODIFICADA NA CADEIA DE EXPORTAÇÃO DE FRUTAS TROPICais: EFICIÊNCIA, LIMITAÇÕES E IMPLICAÇÕES LOGÍSTICAS



RESUMEN

El envasado en atmósfera modificada (AM) se ha convertido en una tecnología estratégica para la conservación poscosecha de frutas tropicales, contribuyendo a la reducción de pérdidas, el mantenimiento de la calidad y facilitando la exportación a mercados lejanos. Este artículo presenta una revisión crítica de los avances, limitaciones e implicaciones logísticas de la AM, con especial énfasis en el mango, basada en un análisis de la literatura científica nacional e internacional publicada entre 2010 y 2025, complementado con estudios consolidados de décadas anteriores. La revisión destaca los principios fisiológicos de la AM, las diferencias entre los enfoques pasivos y activos, la importancia de la selección adecuada de los materiales de envasado y su interacción con la refrigeración. Casos prácticos con cultivares de mango como 'Keitt', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' y 'Palmer' demuestran que la respuesta a la técnica depende del cultivar, la permeabilidad de la película y las condiciones logísticas. Si bien las tecnologías complementarias, como los filtros de etileno, pueden aportar valor en algunos contextos, los datos indican que su aplicación debe considerarse cuidadosamente. Los resultados sugieren que la eficacia del manejo animal (MA) está directamente relacionada con la planificación técnica, la comprensión de la fisiología del producto y la adaptación de las soluciones a las realidades operativas de la cadena de exportación. Se concluye que el MA, cuando se aplica correctamente, puede representar una ventaja competitiva para el cultivo de frutas tropicales, ampliando el acceso a los mercados internacionales con menor impacto ambiental y mayor valor añadido.

Palabras clave: Etileno. MA. O₂. CO₂. Postcosecha. Conservación.



1 INTRODUÇÃO

A conservação pós-colheita de frutas e hortaliças representa um dos maiores desafios da agricultura contemporânea devido à sua alta perecibilidade e às perdas significativas que ocorrem ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Estima-se que mais de 30% da produção global de frutas e hortaliças é perdida entre a colheita e o consumo, resultando em impactos econômicos, sociais e ambientais substanciais (Oyewole *et al.*, 2025). Essas perdas são atribuídas principalmente à intensa atividade metabólica dos produtos frescos e sua susceptibilidade a danos mecânicos e microbiológicos após a colheita.

Para reduzir essas perdas e estender a vida pós-colheita, diversas tecnologias de preservação foram desenvolvidas e aplicadas, incluindo refrigeração, tratamentos químicos e revestimentos comestíveis. Entre estas, a Embalagem em Atmosfera Modificada (MAP) destaca-se como uma estratégia prática, eficiente e economicamente viável para a conservação de frutas e hortaliças frescas (Harish, 2024; Mikus & Galus, 2025). Essa técnica consiste em modificar a composição de gases ao redor do produto, usualmente reduzindo os níveis de oxigênio (O_2) e aumentando o dióxido de carbono (CO_2), o que reduz a taxa de respiração, diminui a produção de etileno e retarda o amadurecimento e a senescência dos tecidos (Moradi & Ahmadi, 2024; Romansyah *et al.*, 2025).

O conceito de modificar o ambiente ao redor dos alimentos não é recente: no Antigo Egito, alimentos já eram armazenados em recipientes hermeticamente fechados. Em 1821, Jacquet Beard conduziu os primeiros experimentos de preservação de frutas na França; porém, foi apenas no início do século XX que Kidd e West, na Inglaterra, sistematizaram a técnica que evoluiria para o Armazenamento em Atmosfera Controlada (AC) (Brackmann, 2006). O termo "atmosfera modificada" foi introduzido para distinguir essa técnica, na qual a composição final de gases não é rigidamente controlada, mas resulta do equilíbrio entre a respiração do produto e a permeabilidade do filme, dos métodos tradicionais de atmosfera controlada (Kader, 1992).

A MAP pode ser alcançada de forma passiva, quando a respiração do produto e as propriedades do filme interagem até atingir um novo equilíbrio atmosférico, ou ativa, mediante a introdução deliberada de uma mistura específica de gases antes do fechamento (Pooja & Kaushal, 2024). Em ambos os casos, a seleção cuidadosa do material de embalagem e o conhecimento das características fisiológicas do produto são essenciais para o sucesso da técnica.

Além de O_2 e CO_2 , outros gases podem ser utilizados em MAP, como o nitrogênio (N_2), que é quimicamente inerte e funciona como gás de preenchimento para reduzir a oxidação e prevenir o colapso da embalagem (Church, 1993). O CO_2 também exibe efeitos antimicrobianos mais pronunciados em temperaturas reduzidas e compete com o etileno, retardando assim o amadurecimento (Franco, 2004). Entretanto, as concentrações reduzidas de O_2 suprimem a atividade respiratória e a proliferação microbiana (Sandhya, 2010).

A eficácia da MAP foi demonstrada em ampla gama de produtos. Em pimentão, Romansyah *et al.* (2025) relataram que a MAP reduziu a perda de peso, manteve a cor e aumentou a firmeza durante o armazenamento. Ju *et al.* (2025) obtiveram resultados similares para melões coreanos, enfatizando seu potencial de exportação. Para maçãs, Mikus e Galus (2025) revisaram os benefícios dos filmes comestíveis associados à MAP, documentando redução da respiração e menor incidência de patógenos, enquanto Sachin *et al.* (2025) demonstraram que a MAP passiva estendeu a vida pós-colheita de goiaba em até 21 dias sob temperaturas reduzidas.

Outros estudos ressaltam a colaboração construtiva da MAP com tecnologias adicionais, como revestimentos comestíveis à base de plantas (Champa & Weerasooriya, 2025), nanofilmes antimicrobianos para cerejas (Zhuang *et al.*, 2025) e filmes inteligentes capazes de responder a condições internas (Maryam *et al.*, 2025). Apesar dos resultados promissores, muitos artigos e manuais ainda abordam a MAP de forma superficial, frequentemente como um subcapítulo em textos pós-colheita mais amplos, sem explorar os avanços tecnológicos mais recentes (Harish, 2024; Mikus & Galus, 2025). Além disso, desafios como a seleção de materiais sustentáveis, aceitação pelos consumidores e conformidade com regulamentações sanitárias permanecem como questões críticas que requerem esclarecimento (Maryam *et al.*, 2025; Oyewole *et al.*, 2025).

Este estudo foi concebido para preencher essas lacunas oferecendo uma análise detalhada e atualizada sobre MAP, abrangendo suas fundamentações fisiológicas e físico-químicas, materiais e técnicas de embalagem, aplicações práticas e tendências emergentes. O objetivo é fornecer a pesquisadores, estudantes e profissionais da indústria uma base sólida para compreender, aplicar e inovar no uso da MAP para a conservação de frutas e hortaliças de forma eficiente e sustentável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FUNDAMENTOS DA EMBALAGEM EM ATMOSFERA MODIFICADA

2.1.1 Conceitos básicos e princípios fisiológicos

A qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças está diretamente relacionada à intensidade dos processos fisiológicos e bioquímicos que continuam após a colheita. O mais relevante desses processos é a respiração, que envolve o consumo de oxigênio (O_2) e a liberação de dióxido de carbono (CO_2), calor e água. Quanto maior a taxa de respiração, mais rápida é a degradação dos tecidos, levando ao amadurecimento acelerado, perda de peso, amolecimento, alterações de cor e aumento da susceptibilidade a patógenos (Siddiq *et al.*, 2020).

A Embalagem em Atmosfera Modificada (MAP) foi desenvolvida para intervir diretamente nesse processo, criando uma atmosfera interna menos favorável à atividade metabólica. O princípio básico consiste em selar o produto fresco em um filme polimérico com permeabilidade aos gases específica, de modo que a respiração do produto e as propriedades do filme interajam para reduzir



gradualmente os níveis de O₂ e aumentar o CO₂. Esse microambiente retarda o amadurecimento, inibe a produção de etileno e reduz a incidência de doenças, estendendo assim a vida pós-colheita e mantendo a qualidade do produto (Altieri *et al.*, 2018; Siddiq *et al.*, 2020; Vilvert *et al.*, 2023).

2.1.2 Atmosfera controlada vs. atmosfera modificada

É importante distinguir entre Atmosfera Controlada (AC) e Atmosfera Modificada (MAP). Em ambos os sistemas, a composição de gases ao redor do produto é alterada, com O₂ reduzido e CO₂ aumentado. Porém, na AC, as concentrações de gases são ajustadas e mantidas precisamente durante todo o armazenamento por meio de injeção e monitoramento contínuos. Na MAP, não há controle preciso: a modificação ocorre natural e gradualmente devido à respiração do produto combinada com a permeabilidade do filme. Esse processo é altamente dependente da taxa de respiração do produto, temperatura de armazenamento, área da superfície da embalagem e propriedades de difusão do filme (Freitas *et al.*, 2023; Mongollón *et al.*, 2024).

Para produtos como morangos, estudos indicam que atmosferas alvo de 3–5% de O₂ e 10–15% de CO₂ a 1 °C promovem preservação significativa de firmeza, cor e redução de deterioração (Mongollón *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2023). O uso combinado de MAP e saches antimicrobianos mostrou desempenho superior em comparação à MAP isolada, estendendo a vida pós-colheita e aprimorando a segurança microbiológica.

Em uvas 'Niagara Rosada', o uso de filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) sob MAP passiva reduziu a perda de peso, mas foi insuficiente para controlar o desprendimento de bagas e doenças fúngicas. Os saches absorvedores de etileno, neste caso, também não apresentaram benefícios adicionais (Auri *et al.*, 2024). Em mangas 'Tommy Atkins', o limite fisiológico inferior para O₂ foi identificado em 2%; abaixo desse nível, ocorreram fermentação e degradação de tecidos, mesmo com membranas BreatheWay® e armazenamento a 10 °C (Freitas *et al.*, 2023). Isso demonstra que a MAP possui limites críticos que não podem ser ultrapassados sem riscos fisiológicos. Para caquis 'Fuyu', dois estudos independentes reforçaram o valor da MAP.

O primeiro (Auri *et al.*, 2024) mostrou que embalagens com propriedades de barreira aos gases média (atingindo ~6% de O₂ e 12% de CO₂) proporcionaram melhor manutenção da firmeza e aparência externa. O segundo (Silva *et al.*, 2023) observou que embalagens com menor permeabilidade, quando combinadas com refrigeração, prevenira o escurecimento interno e estenderam a vida pós-colheita. Em peras 'Rocha', a aplicação de atmosfera controlada dinâmica, com monitoramento em tempo real da respiração do fruto, foi eficaz na prevenção do escurecimento interno, um transtorno comum sob condições de O₂ muito baixo. A vantagem da AC neste caso foi sua capacidade de se ajustar automaticamente aos limites fisiológicos, evitando assim dano anaeróbico (Rodrigues *et al.*, 2024).



Essas descobertas reforçam que, enquanto a MAP oferece uma alternativa prática e econômica, especialmente para cadeias logísticas mais simples, a AC é preferível em casos que exigem precisão, como frutas com estreitos limites de tolerância a O₂. A escolha entre AC e MAP deve considerar a fisiologia da espécie, duração do armazenamento, temperatura, custos operacionais e o destino comercial do produto.

2.1.3 MAP ativa e passiva

A Embalagem em Atmosfera Modificada (MAP) pode ser alcançada por meio de duas abordagens principais:

- a) **MAP Passiva:** A modificação da atmosfera ocorre exclusivamente através da respiração do produto e da difusão de gases através do material de embalagem. É o método mais simples e econômico, embora exija maior cuidado para evitar hipoxia (Kader & Watkins, 2000).
- b) **MAP Ativa:** Uma mistura específica de gases é introduzida no momento da selagem, acelerando o estabelecimento da atmosfera desejada e permitindo maior controle inicial (Rico *et al.*, 2007; Mangaraj *et al.*, 2009).

2.1.4 Papel da permeabilidade do filme

A permeabilidade dos filmes plásticos é um fator crítico para o desempenho da MAP. Filmes com permeabilidade muito baixa a O₂ e CO₂ podem induzir anoxia e fermentação se não forem adequadamente projetados. Inversamente, filmes altamente permeáveis podem não conseguir atingir as concentrações necessárias para desacelerar os processos fisiológicos. Portanto, a escolha do filme deve levar em conta a taxa de respiração do produto, sensibilidade ao CO₂, temperatura e umidade de armazenamento, e a vida de prateleira desejada. A compreensão desses princípios é essencial para a aplicação correta da técnica. Erros no projeto da embalagem ou na escolha entre MAP passiva e ativa podem comprometer a qualidade final do produto.

2.1.5 Interação com refrigeração

A pós-colheita de frutas e hortaliças é largamente determinada por processos fisiológicos como a respiração, que continuam mesmo após a colheita. Durante a respiração, O₂ é consumido, enquanto CO₂, água e calor são liberados. Quanto mais intensa a respiração, mais rápida a degradação dos tecidos, levando ao amadurecimento acelerado, perda de firmeza e maior susceptibilidade a patógenos. A refrigeração reduz a taxa de respiração e prolonga a vida pós-colheita pela redução da pressão de vapor de água nos tecidos, prevenindo assim a evaporação e perda de turgidez, o que ajuda a manter a qualidade sensorial (Chitarra & Chitarra, 2005).

Porém, a refrigeração isolada é frequentemente insuficiente para conter toda a deterioração física e microbiológica. Por essa razão, sua associação com MAP tem sido amplamente estudada como estratégia complementar. Segundo Brackmann *et al.* (2004), a MAP é uma alternativa que potencializa o efeito do armazenamento refrigerado. Quando usada em conjunto com refrigeração, a MAP ou atmosfera controlada pode reduzir as taxas de respiração em até 50% em comparação com refrigeração isolada (Chitarra & Chitarra, 2005).

O armazenamento em atmosfera modificada permite preservação mais prolongada porque combina alta umidade relativa com pressões parciais controladas de O₂ e CO₂ dentro da embalagem, reduzindo assim a atividade metabólica (Chitarra & Chitarra, 2005). A velocidade com que a atmosfera interna é modificada depende da taxa de respiração do produto, temperatura de armazenamento, umidade e permeabilidade do filme (Sarantopoulos *et al.*, 1996; Cia, 2002). De acordo com Parry (1993), a MAP pode estender a vida pós-colheita de três a quatro vezes em comparação com refrigeração isolada, atendendo à demanda dos consumidores por produtos frescos, de alta qualidade e sem conservantes.

2.1.6 Aplicações práticas

Estudos sobre diferentes frutas mostraram tanto os benefícios quanto as limitações da combinação de MAP com refrigeração. Para amoras-pretas (cultivares 'Guarani' e 'Caingangue') armazenadas a 5 °C e 90% de umidade relativa, o uso de filmes de PEBD sob MAP reduziu significativamente a perda de peso e preservou os sólidos solúveis, acidez e pH em comparação com frutas não embaladas. Porém, a retenção de umidade dentro da embalagem favoreceu a deterioração, especialmente na cultivar 'Guarani', indicando a necessidade de ajustes no filme para melhorar a ventilação (Cia *et al.*, 2007).

Em uvas 'Niagara Rosada' armazenadas por 28 dias a 1 °C e 90% de umidade relativa, a MAP também foi eficaz na redução da perda de peso e manutenção da aparência visual. Os melhores resultados foram obtidos com filmes de PEBD de vinte e cinco μm, que proporcionaram um bom equilíbrio entre permeabilidade e retenção de umidade. Porém, a técnica não controlou adequadamente a incidência de deterioração ou o desprendimento de bagas, destacando a importância da seleção cuidadosa de materiais e condições de armazenamento (Cia *et al.*, 2010).

Para mangas, os resultados também são positivos, mas heterogêneos entre cultivares e tipos de embalagem. Pfaffenbach *et al.* (2003) testaram mangas 'Espada Vermelha' a 12 °C com diferentes materiais e encontraram que o PEBD combinado com saches absorvedores de etileno preservou a qualidade por até 28 dias sob refrigeração com consumo imediato, ou 14 dias seguidos de 4 dias em temperatura ambiente. Filmes de PVC também reduziram a perda de peso, embora fossem menos eficazes que o PEBD combinado com saches. Em contraste, Conservax afetou negativamente a



coloração e amadurecimento dos frutos, demonstrando que o material de embalagem influencia diretamente os atributos sensoriais.

Em um estudo mais recente, Mello Júnior (2025) avaliou mangas 'Ataulfo' e 'Keitt' sob refrigeração combinada com MAP e confirmou a eficácia da técnica em estender a vida pós-colheita e preservar a qualidade dos frutos. A MAP reduziu significativamente a perda de peso e as taxas de respiração, mantendo cor e firmeza por períodos mais prolongados. Este estudo ressalta a importância de considerar as características varietais e ajustar as propriedades do filme e as condições de armazenamento para maximizar os benefícios enquanto minimizam riscos como anaerobiose ou crescimento de patógenos.

2.1.7 Materiais e tecnologias de embalagem

A seleção apropriada de materiais e tecnologias de embalagem é essencial para o sucesso da conservação pós-colheita de frutas e hortaliças. A embalagem não apenas protege os produtos contra danos mecânicos e contaminação, mas também atua como uma barreira funcional que regula a atmosfera interna, controla a umidade e equilibra a transpiração. Essas funções são particularmente críticas para produtos com altas taxas respiratórias, nos quais um ambiente inadequado pode acelerar fermentação, murcha ou desenvolvimento de patógenos (Ribeiro *et al.*, 2005; Fang *et al.*, 2021).

As principais funções da embalagem incluem proteção física contra choques e compressão durante transporte e manuseio; uma barreira microbiológica que reduz a exposição a contaminantes externos; regulação da umidade, essencial para prevenir perda de água e desidratação; e o controle da atmosfera interna, que permite ajuste das concentrações de oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2), promovendo conservação através da redução da respiração e retardo do amadurecimento (Batista *et al.*, 2007; Brackmann *et al.*, 1999).

Os materiais utilizados para embalagem devem possuir propriedades de permeabilidade compatíveis com a taxa de respiração do produto. O polietileno de baixa densidade (PEBD), amplamente utilizado, é notável por sua flexibilidade e baixa permeabilidade ao vapor de água, tornando-o adequado para produtos com taxas de respiração baixa a moderada, embora possa favorecer condensação interna (Finger & Vieira, 1997).

O polietileno de alta densidade (PEAD) oferece maior rigidez e uma barreira mais forte, tornando-o mais adequado para produtos menos sensíveis ao acúmulo de CO_2 (Batista *et al.*, 2007). O polipropileno (PP) proporciona alta transparência, resistência mecânica e permeabilidade intermediária, frequentemente utilizado em filmes orientados biaxialmente (BOPP) com potencial para criar atmosferas protetoras em produtos mais sensíveis (Brackmann *et al.*, 1999).

O policloreto de vinila (PVC), por sua vez, apresenta maior permeabilidade a gases e vapor de água, reduzindo o risco de condensação em produtos com alta respiração (Batista *et al.*, 2007). Filmes

multicamadas e compostos permitem combinações seletivas de barreira e podem incluir camadas antimicrobianas ou absorvedoras de etileno (Wang *et al.*, 2022).

Quanto às tecnologias de embalagem, a atmosfera modificada pode ser estabelecida de forma passiva ou ativa. Na MAP passiva, a modificação atmosférica ocorre gradualmente após a selagem, devido ao equilíbrio entre a respiração do produto e a permeabilidade do filme (Masterpack, 2020). Essa abordagem é mais simples e econômica, mas menos precisa. Na MAP ativa, uma mistura específica de gases é inserida no momento da selagem, permitindo o alcance imediato das concentrações desejadas de O₂ e CO₂ e proporcionando maior controle sobre o microambiente inicial (Fang *et al.*, 2021).

Tecnologias complementares também podem ser incorporadas, como absorvedores de etileno, oxigênio ou umidade, que podem ser incluídos como saches ou integrados ao material. Esses dispositivos são particularmente úteis para frutos climatéricos, sensíveis à ação do etileno (Ethylene absorber, 2023; Fang *et al.*, 2021). Sistemas de embalagem inteligente incorporam sensores ou indicadores visuais capazes de monitorar variáveis como temperatura, concentrações de gases ou compostos voláteis, sinalizando alterações que possam comprometer a qualidade do produto.

Exemplos incluem indicadores colorimétricos que mudam de cor quando níveis críticos de etileno ou temperaturas inadequadas são detectados (Huang *et al.*, 2025). As inovações recentes incluem filmes microperfurados, que contêm pequenos furos distribuídos uniformemente e são ideais para produtos com alta respiração. Essa tecnologia melhora a troca de gases e reduz o risco de condensação (Microperforated Packaging, 2023). Outra inovação relevante são os filmes antimicrobianos, contendo agentes ativos capazes de inibir o crescimento fúngico e bacteriano, seja incorporados à matriz polimérica ou aplicados na superfície, prolongando assim a segurança e vida pós-colheita (Trends in Food Science & Technology, 2020).

A sustentabilidade ganhou destaque nos últimos anos. Estratégias como o uso de biopolímeros biodegradáveis (baseados em PLA, amido ou celulose), redução da espessura do filme, materiais recicláveis e embalagens reutilizáveis foram adotadas para minimizar impactos ambientais (Hongren, 2021). Porém, muitos desses materiais sustentáveis ainda apresentam desempenho inferior em comparação aos polímeros convencionais, particularmente quanto às propriedades de barreira aos gases e resistência mecânica, o que requer mais pesquisa e desenvolvimento para aprimorar suas propriedades e permitir aplicação comercial em larga escala (Wang *et al.*, 2022).

2.1.8 Considerações práticas

A escolha do material de embalagem e da tecnologia deve ser feita cuidadosamente, considerando a taxa de respiração do produto, sua sensibilidade ao dióxido de carbono e etileno, bem como as condições esperadas de transporte e armazenamento. Além desses fatores, é essencial



considerar a vida pós-colheita desejada e avaliar o balanço custo-benefício entre o uso de materiais mais simples e a adoção de tecnologias avançadas.

Para garantir que esses parâmetros sejam adequadamente ajustados, recomenda-se a realização de testes preliminares, pois erros no projeto da embalagem podem levar a situações indesejáveis, como anaerobiose ou acúmulo excessivo de umidade, comprometendo a qualidade final do produto.

2.1.9 Aplicações em frutas

A conservação pós-colheita de frutas representa um dos maiores desafios na cadeia de suprimentos, devido à sua alta perecibilidade e às intensas transformações fisiológicas que ocorrem após a colheita. Frutas são estruturas vivas, metabolicamente ativas, com altas taxas de respiração e transpiração, além de altamente susceptíveis ao ataque de patógenos. Como resultado, sua vida pós-colheita é limitada, exigindo técnicas de preservação capazes de retardar o amadurecimento, reduzir a perda de água e minimizar o desenvolvimento de doenças.

Entre as tecnologias disponíveis, a combinação de refrigeração com Embalagem em Atmosfera Modificada (MAP) emergiu como uma das estratégias mais promissoras. Essa abordagem permite o ajuste do microambiente ao redor dos frutos, controlando as concentrações de oxigênio e dióxido de carbono para reduzir a respiração e preservar atributos de qualidade como cor, firmeza, sabor e valor nutricional.

Esta seção apresenta estudos de caso e resultados práticos de aplicações de MAP em diferentes frutas. Exemplos com cultivares específicas ilustram respostas fisiológicas, efeitos na qualidade pós-colheita e as limitações observadas em cada situação. O objetivo é fornecer uma visão abrangente das aplicações dessa tecnologia em frutas, servindo como referência para profissionais e pesquisadores que buscam implementar ou melhorar essas técnicas na prática.

2.1.10 Estudos de caso com mangas 'Keitt', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' e 'Palmer'

Entre as frutas tropicais, a manga destaca-se como uma das principais commodities de exportação do Brasil, mas também como uma das mais desafiadoras do ponto de vista pós-colheita, devido à sua alta taxa de respiração e susceptibilidade a transtornos fisiológicos e doenças.

Os seguintes estudos conduzidos no Submédio Vale do São Francisco avaliaram a eficácia da MAP e filtros absorvedores de etileno em estender a vida pós-colheita e manter a qualidade durante transporte e comercialização. Mangas 'Keitt' e 'Ataulfo' tanto em mangas 'Keitt' quanto 'Ataulfo', a MAP mostrou-se eficaz em reduzir a perda de peso, taxa de respiração e transtornos fisiológicos enquanto mantém firmeza e sólidos solúveis durante o armazenamento refrigerado (Mello Júnior, 2025). Filmes de baixa permeabilidade geralmente produziram os melhores resultados,

particularmente em 'Keitt', onde estenderam significativamente a vida pós-colheita e preservaram a qualidade da polpa.

Em 'Ataulfo', porém, as respostas variaram entre safras: em uma colheita, filmes de permeabilidade média foram mais eficazes, enquanto em outra, filmes de baixa permeabilidade proporcionaram desempenho superior. Essas oscilações ilustram que a eficácia da MAP não é determinada apenas pelas propriedades do filme, mas também por fatores sazonais como condições climáticas, estágio de maturidade na colheita e práticas de manuseio. Em ambas as cultivares, o uso de filtros de etileno não resultou em melhorias adicionais, reforçando que sua utilidade prática sob refrigeração pode ser limitada.

Em contraste, Brecht *et al.* (2023) demonstraram que a MAP combinada com remoção de etileno melhorou a retenção de firmeza, retardou a degradação de açúcar e ácido, e aprimorou a qualidade sensorial em mangas 'Keitt' colhidas com maturidade avançada. Essas descobertas contrastantes sugerem que o papel de tecnologias complementares como absorção de etileno pode depender da fisiologia específica da cultivar, estágio de colheita e condições de armazenamento.

Mangas 'Tommy Atkins' 'Tommy Atkins' é uma das cultivares mais exportadas do Brasil, mas seu amadurecimento rápido limita o transporte de longa distância. Estudos conduzidos durante as estações de inverno e verão testaram embalagens com diferentes permeabilidades (BWA, BWB, BWC), com e sem filtros de etileno, e embalagens perfuradas com absorção de etileno (EAE) (Monteiro, 2025). Frutos foram armazenados por 28 dias a 9 °C, seguidos de 4 dias a 20 °C. Todas as embalagens reduziram a taxa de respiração e perda de peso, mas BWC foi a mais eficaz na manutenção da qualidade e minimização de transtornos fisiológicos internos.

Novamente, filtros de etileno não apresentaram efeito significativo adicional. Além disso, Brecht *et al.* (2023) confirmaram a viabilidade da MAP combinada com remoção de etileno para 'Tommy Atkins', especialmente quando colhidas com maturidade avançada. Frutos armazenados sob 6% de O₂ exibiram melhor firmeza, degradação mais lenta de açúcares e ácidos, e maior aceitação sensorial em comparação aos controles, tornando essa estratégia promissora para transporte internacional.

3 METODOLOGIA

Esta revisão crítica foi conduzida com o objetivo de compilar, analisar e discutir sistematicamente os avanços e limitações da tecnologia de Embalagem em Atmosfera Modificada (MAP) aplicada à conservação pós-colheita de frutas tropicais. O estudo seguiu uma abordagem qualitativa e interpretativa, fundamentada na análise da literatura científica nacional e internacional.

Priorizou-se estudos publicados entre 2010 e 2025 para refletir os avanços mais recentes do campo. Porém, obras clássicas e referências consolidadas dos anos 1990 e 2000 também foram

incorporadas devido à sua importância histórica e conceitual, particularmente com respeito aos fundamentos fisiológicos da MAP, às distinções entre atmosferas controlada e modificada, e às primeiras aplicações comerciais da técnica. A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados como Science Direct, Scopus, Web of Science, Google Scholar e repositórios institucionais como a ALICE da Embrapa, utilizando descritores em português e inglês, incluindo: "embalagem de atmosfera modificada", "frutas tropicais", "armazenamento refrigerado", "modified atmosphere packaging (MAP)", "shelf life" e "conservação pós-colheita de manga".

Apenas publicações com relevância temática direta, aplicabilidade prática ou fundamentação científica robusta foram selecionadas, com prioridade a estudos apresentando dados experimentais sob condições controladas ou simulações realistas de transporte, comercialização e armazenamento. Uma vez compilados, os materiais foram criticamente analisados com foco nas variáveis experimentais mais relevantes, como tipo de fruto, cultivar, características de embalagem, abordagem (ativa ou passiva), tempo e temperatura de armazenamento, uso de tecnologias complementares e qualidade final do produto. A análise buscou identificar padrões, divergências e lacunas entre os estudos, vinculando os achados aos requisitos fisiológicos das commodities e às condições reais da cadeia logística.

As evidências foram sintetizada comparativamente e discutida considerando desafios operacionais e tendências tecnológicas emergentes, com o propósito de fornecer uma perspectiva técnica e pragmática sobre o potencial e as limitações da MAP no contexto da produção de frutas tropicais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora a Embalagem em Atmosfera Modificada (MAP) seja amplamente reconhecida por sua capacidade de estender a vida pós-colheita de frutas frescas, sua eficácia é fortemente influenciada por fatores fisiológicos, ambientais e operacionais. Em mangas, por exemplo, estudos no Submédio Vale do São Francisco demonstraram que as respostas à MAP variam entre cultivares e até mesmo entre colheitas consecutivas.

Para as cultivares 'Ataulfo' e 'Keitt', diferenças sazonais levaram a resultados contrastantes: em alguns casos, filmes com permeabilidade média preservaram melhor a firmeza e coloração, enquanto em outras estações filmes de baixa permeabilidade foram mais eficazes em reduzir a perda de peso e minimizar transtornos fisiológicos (Mello Júnior, 2025). Essas variações sugerem que o desempenho da MAP não pode ser atribuído exclusivamente às características do filme, mas também é condicionado por fatores como estágio de maturidade na colheita, clima e práticas de manuseio.

Os filtros de etileno, por sua vez, não melhoraram significativamente os resultados sob condições refrigeradas, indicando relevância funcional limitada nesse contexto. Tendências similares foram relatadas para 'Tommy Atkins' e 'Palmer', onde a MAP reduziu respiração e perda de peso, com

filmes de baixa permeabilidade mostrando o melhor desempenho, embora novamente sem benefícios adicionais da absorção de etileno (Monteiro, 2025). Em contraste, Brecht *et al.* (2023) constataram que a combinação de MAP com remoção de etileno melhorou firmeza, retenção de açúcar e ácido, e aceitação sensorial em mangas 'Tommy Atkins', 'Kent' e 'Keitt' destinadas à exportação, destacando que respostas específicas da cultivar e condições de armazenamento determinam se tecnologias complementares são vantajosas.

Outras frutas apresentam padrões comparáveis. Em amoras-pretas, a MAP reduziu a perda de peso, mas a condensação favoreceu a deterioração (Cia *et al.*, 2007). Em uvas 'Niagara Rosada', os filmes reduziram efetivamente a perda de água, mas falharam em prevenir o desprendimento de bagas e doenças fúngicas (Cia *et al.*, 2010). Tais resultados ilustram o paradoxo clássico da MAP: enquanto desacelera a transpiração, pode elevar a umidade interna a níveis que favorecem o crescimento microbiano.

O equilíbrio ótimo depende, portanto, da permeabilidade do filme adaptada à taxa de respiração, tolerância a CO₂ e condições logísticas. Por exemplo, em mangas 'Espada Vermelha', filmes de PEBD com absorvedores de etileno estenderam a vida pós-colheita mas prejudicaram a coloração da casca quando combinados com certos produtos comerciais (Pfaffenbach *et al.*, 2003).

No geral, enquanto novas tecnologias como filmes antimicrobianos e embalagens inteligentes ganham atenção (Maryam *et al.*, 2025; Zhuang *et al.*, 2025), polímeros clássicos como PEBD e PVC, quando adequadamente calibrados, continuam a entregar resultados consistentes e economicamente viáveis. Assim, a MAP deve ser vista não como um protocolo fixo, mas como uma ferramenta flexível que requer ajustes de acordo com a fisiologia da commodity e as condições da cadeia de suprimentos.

5 CONSLUSÃO

A Embalagem em Atmosfera Modificada (MAP) destaca-se como uma das tecnologias mais relevantes para a conservação pós-colheita de frutas tropicais altamente perecíveis como a manga. Porém, sua eficácia não é universal, pois depende de fatores fisiológicos, ambientais e logísticos que variam entre cultivares e estações. O uso inadequado de materiais, seleção inadequada da permeabilidade do filme ou a adoção de tecnologias complementares sem justificativa fisiológica podem comprometer os resultados. Portanto, protocolos genéricos são insuficientes diante da complexidade da cadeia de suprimentos, reforçando a necessidade de abordagens adaptativas e contextualizadas.

Ao invés de depender exclusivamente de inovações tecnológicas, a MAP requer planejamento técnico e inteligência agronômica aplicada que integre a fisiologia do produto, refrigeração e controle de água. Com tal abordagem, a MAP pode ir além de ser considerada uma "tecnologia promissora" e se consolidar como componente confiável e essencial das estratégias pós-colheita para a produção de



frutas tropicais, com contribuições diretas para redução de perdas, sustentabilidade e acesso a mercados internacionais competitivos.



REFERÊNCIAS

ALTIERI, G., GENOVESE, F., MATERA, A., TAURIELLO, A., RENZO, G.C.D. **Characterization of an innovative device controlling gaseous exchange in packages for food products.** Postharvest Biology and Technology, v.138, p.64-73, 2018.

BATISTA, P. F.; SANTOS, A. E. O. dos; PIRES, M. M. M. L.; DANTAS, B. F.; PEIXOTO, A. R.; ARAGÃO, C. A. **Utilização de filmes plásticos e comestíveis na conservação pós-colheita de melão amarelo.** Horticultura Brasileira, v. 25, n. 4, p. 572-576, out./dez. 2007. DOI: 10.1590/S0102-05362007000400015.

BRACKMANN, A., GIEHL, R.F.H., FREITAS, S.T., EISERMANN, A.C., MELLO, A.M. **Uso de filmes de polietileno e absorção de etileno para o transporte refrigerado de maçã 'Gala'.** Semina: Ciências Agrárias, v.27, p.423-428, 2006.

BRACKMANN, A.; FREITAS, S. T.; GIEHL, R. F. H.; MELLO, A. M.; BENEDETTI, M.; OLIVEIRA, V. R.; GUARENTI, A. J. W. **Controlled atmosphere conditions for „Kyoto“ persimmon storage.** Ciência Rural, v.34, p.1607-1609, 2004. CHITARRA, M. I. F.; BRACKMANN, Auri. **Uso da atmosfera controlada é recente no Brasil.** Cultivar HF, Pelotas, v. 5, n. 55, p. 50–52, mar. 2006.

BRECHT, J. K.; SARGENT, S. A.; SHAHZAD, F.; DORON, M.; FREITAS, S. T. **Feasibility of Modified Atmosphere Packaging (MAP) Plus Ethylene Scrubbing for Extended International Shipping of Mangos.** Proceedings of the Florida State Horticultural Society, v. 136, p. 54–60, 2023.

CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.

CHAMPA, W. A.; WEERASOORIYA, A. D. **A systematic review on plant-based edible coatings for quality improvement and extended postharvest life of fresh fruits and vegetables.** Journal of Horticulture and Postharvest Research, v. 8, n. 4, p. DOI: 10.22077/jhpr.2024.8159.1424

CHURCH, N. **Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies.** Trends in Food Science e Technology, v. 5, p. 345-352, 1993.

CIA, P.; BRON, I. U.; MANGARAVITE, J. P.; PINTO, A. C. de Q.; MARTINS, F. P.; PEREIRA, F. M. **Qualidade da uva 'Niagara Rosada' armazenada sob atmosfera modificada e refrigerada.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 10, p. 1029–1036, 2010.

DEUCHANDE, Teresa; CARVALHO, Susana M. P.; GUTERRES, Umbelina; FIDALGO, Fernanda; ISIDORO, Nelson; LARRIGAUDIÈRE, Christian; VASCONCELOS, Marta W. **Dynamic controlled atmosphere for prevention of internal browning disorders in 'Rocha' pear.** Postharvest Biology and Technology, Amsterdam, v. 110, p. 113–120, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.010>

ETHYLENE ABSORBER – an overview. ScienceDirect Topics, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>

FANG, Y.; WAKISAKA, M. *et al.* **A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with innovative technologies.** Agricultura 2021 , 11 (10), 992; <https://doi.org/10.3390/agriculture11100992>



FERREIRA, MARCOS & SPRICIGO, POLIANA. (2017). **Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças** Editor Técnico Embrapa.

FINGER, F. L.; VIEIRA, G. **Qualidade pós-colheita de produtos hortícolas**. Viçosa: UFV, 1997.

FRANCO, Bernadette D. Gombossy de Melo; LANDGRAF, Mariza. **Microbiologia dos Alimentos**, Ed. Atheneu. São Paulo, 2004.

GOMES, Cláudia; SILVA, Fábio; BARROS, Mariana; OLIVEIRA, Felipe; PEREIRA, Lucas. **Configuração de um sistema de embalagem ativa combinada com atmosferas modificadas e controle antimicrobiano para conservação de morangos frescos**. Food Packaging and Shelf Life, Amsterdam, v. 33, p. 100901, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100901>

HARISH, T. **Innovative postharvest strategies to enhance shelf life of fresh fruits and vegetables**. ResearchGate, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/391366590>. Acesso em: 21 jul. 2025.

HONGREN. **Os 9 principais materiais de embalagem biodegradáveis**. Hongren Packing, 2021. Disponível em: <https://hongrenpacking.com>.

JU, W. et al. **Controlled atmosphere storage enhances Korean melon shelf life and quality: A comparative metabolic analysis with reefer container export**. Postharvest Biology and Technology, v. 205, 112670, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112670>.

LIAMNIMITR, Napassawan; THAMMAWONG, Manasikan; TECHAVUTHIPORN, Chairat; FAHMY, Khandra; SUZUKI, Tetsuya; NAKANO, Kohei. **Optimization of bulk modified atmosphere packaging for long-term storage of 'Fuyu' persimmon fruit**. Postharvest Biology and Technology, Amsterdam, v. 195, p. 112070, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112070>

KADER, A. A.; WATKINS, C. B. **Modified Atmosphere Packaging, Toward 2000 and beyond**. HortTechnology, v. 10, n. 3, p. 483–486, July–Sept. 2000. DOI: 10.21273/HORTTECH.10.3.483.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T.K.; MAHAJAN, V. **Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review**. Food Engineering Reviews, New York, v. 1, n. 2, p. 133 - 158, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s12393-009-9007-3>

MASTERPACK. **The difference between CAS, MAP and Vacuum Packaging**. Masterpack Group Blog, 2020.

MARYAM, N.; BERTIN, M.; MATHURIN, N. J. **Sustainable innovations in fruit and vegetable preservation: towards a synergy of technologies for optimal quality**. HAL, 2025. Disponível em: <https://hal.science/hal-05162209/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MELLO JÚNIOR, C. **Eficiência da embalagem de atmosfera modificada na conservação pós-colheita de mangas 'Ataulfo' e 'Keitt.'** Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstrAM/doc/1174278/1/Mello-Junior.-Manga.Eficiencia-embalagem..pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MIKUS, M.; GALUS, S. **Extending the shelf life of apples after harvest using edible coatings as active packaging, A review**. Applied Sciences, v. 15, n. 2, 767, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15020767>.



MICROPERFORATED COMPOSTABLE PACKAGING EXTENDS SHELF LIFE OF FRUIT. ResearchGate, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net>.

MORADI, M.; AHMADI, E. **Investigating the effect of chitosan edible coating, modified atmosphere packaging, and nano packaging film on improving the quality characteristics of horticultural products.** Journal of Agricultural Machinery, v. 14, n. 2, p. 79–90, 2024. DOI: 10.22034/jam.2024.63091.1288.

MOGOLLÓN, René; CONTRERAS, Carolina; SILVA NETA, Magnólia Lourenço da; MARQUES, Emanuel José Nascimento; ZOLLI, Juan Pablo; FREITAS, Sérgio Tonetto de. **Non-destructive prediction and detection of internal physiological disorders in ‘Keitt’ mango using a hand-held Vis-NIR spectrometer.** Postharvest Biology and Technology, Amsterdam, v. 203, p. 112414, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112414>

Monteiro, S. R. S. (2025). **Efeito de embalagens de atmosfera modificada e filtros de etileno na conservação da qualidade pós-colheita de mangas ‘Tommy Atkins’ e ‘Palmer’ cultivadas no Vale do São Francisco** (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE. xvii, 100 f. il.; 29 cm

OYEWOLE, O. S. *et al.* **Smart technological innovations for postharvest loss reduction: A review.** FUDMA Journal of Sciences, v. 9, n. 1, p. 18–24, 2025. DOI: <https://doi.org/10.33003/fjs-2025-0906-3605>

PARRY, R. T. **Envasado de los alimentos en atmosfera modificada.** Madrid (España): A Madrid Vicent, p.13-31, 1993.

PFAFFENBACH, L. B.; CASTRO, J. V.; CARVALHO, C. R. L.; ROSSETTO, C. J. **Efeito da atmosfera modificada e da refrigeração na conservação pós-colheita de manga Espada Vermelha.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 25, n. 3, p. 410–413, 2003.

POOJA, C. L. S.; KAUSHAL, B. Storage Technologies. In: **POST-HARVEST MANAGEMENT AND VALUE ADDITION OF FRUITS AND VEGETABLES.** Central Publishing, 2024. p. 33–58. Disponível em: <https://cpur.in/library/Books/81.%20Post-Harvest%20Management%20And%20Value%20Addition%20Of%20Fruits%20And%20Vegetables.pdf#page=33>. Acesso em: 21 jul. 2025.

ROMANSYAH, E.; BINTORO, N.; KARYADI, J. N. W. **Modelling of physicochemical properties and shelf-life assessment of fresh cayenne pepper under modified atmosphere packaging.** International Food Research Journal, v. 32, n. 2, p. 297–304, 2025. DOI: <https://doi.org/10.47836/ifrj.32.2.15>

SACHIN, A. J. *et al.* **Passive modified atmospheric approach using polypropylene film prolongs the storage life of guava fruits under low-temperature conditions.** Scientia Horticulturae, v. 322, 113822, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113822>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SANDHYA. **Modified atmosphere packaging of fresh produce: status and future needs.** Food Science and Technology, v. 43, p. 381– 392. 2010.

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

FREITAS, Sérgio Tonetto de; SANTOS, Luana Ferreira dos; VILVERT, João Claudio; SOUZA, Tassiane Alves de; ALVES, Jasciane da Silva; RIBEIRO, Tiffany da Silva; NEUWALD, Daniel



Alexandre. **Minimum O₂ levels during storage to inhibit aerobic respiration and prolong the postharvest life of 'Tommy Atkins' mangoes produced in different growing seasons.** Scientia Horticulturae, Amsterdam, v. 318, p. 112094, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112094>

SIDDIQ, Raafia; AURAS, Rafael; SIDDIQ, Muhammad; DOLAN, Kirk; HARTE, Bruce. **Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and NatureSeal® treatment on the physico-chemical, microbiological, and sensory quality of fresh-cut d'Anjou pears.** Food Packaging and Shelf Life, v. 23, p. 100454, 2020. DOI: 10.1016/j.fpsl.2019.100454.

SILVA, Médelin Marques da; CANTILLANO, Rufino Fernando Flores; CRIZEL, Giseli Rodrigues. **Utilização da atmosfera controlada em morangos cv. Camarosa.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2023. 6 p.

RICO, Daniel; MARTIN-DIANA, Ana; BARAT, Jose; BARRY-RYAN, Catherine. **Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: A review.** Trends in Food Science & Technology, v. 18, p. 373–386, 2007. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.03.011.

WANG, Q., CHEN, W., ZHU, W. *ET AL.* **Uma revisão de filmes e revestimentos multicamadas e compostos para embalagens biodegradáveis ativas.** *npj Sci Food* 6, 18 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00132-8>

TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY. Antimicrobial packaging – Incorporation of antifungal compounds. Trends in Food Science & Technology, 2020.

ZHAI, X., XUE, Y., SUN, Y., MA, X., BAN, W., MARAPPAN, G., TAHIR, HE, HUANG, X., WU, K., CHEN, Z., ZOU, W., LIU, B., ZHANG, L., YANG, Z., & KATONA, J. (2025). **Indicadores colorimétricos de frescor de alimentos para embalagens inteligentes: progresso, deficiências e soluções promissoras.** Foods, 14 (16), 2813. <https://doi.org/10.3390/foods14162813>