



Embalagens ativas para aumentar a segurança e vida útil dos queijos: uma revisão

**Taline Amorim Santos^{1*} ; Marissa Justi Cancelli¹ ; Déborah Tavares Alves¹ ;
Gisela de Magalhães Machado Moreira¹ ; Elisângela Michele Miguel¹ ; Isis
Rodrigues Toledo Renhe¹ **

Introdução: A constante evolução da tecnologia de embalagens de alimentos visa atender aos consumidores modernos que buscam por produtos mais seguros e saudáveis. Nesse contexto, as embalagens ativas foram desenvolvidas para proporcionar mais segurança e aumento da vida útil dos alimentos, além de reduzir ou eliminar a adição de conservantes. A maioria das pesquisas sobre o desenvolvimento de embalagens ativas no setor alimentício, são focadas principalmente em carnes, aves, frutas e vegetais. Contudo, é notável uma tendência em pesquisas sobre embalagens ativas. **Objetivo:** Fornecer uma visão geral sobre as pesquisas relacionadas a embalagens ativas para aplicação em queijos. **Metodologia:** A revisão bibliográfica foi conduzida utilizando diferentes bases de indexação para coletar informações sobre o desenvolvimento de embalagens ativas destinadas a queijos. Foram selecionados cinquenta e seis artigos de pesquisa e de revisão, publicados em língua inglesa e portuguesa. **Resultados:** Os avanços em pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de embalagens ativas, juntamente com o aumento do consumo de queijos além da crescente busca dos consumidores por produtos naturais e com menos conservantes, estão impulsionando as pesquisas em embalagens ativas para queijos. **Conclusão:** As pesquisas tanto para desenvolvimento quanto para a aplicabilidade das embalagens ativas são imprescindíveis para atender às novas demandas do mercado de queijos.

Palavras-chave: Embalagem antimicrobiana; Embalagem inteligente; Composto ativo; Produtos lácteos.

Active packaging as an alternative to increase safety and shelf life of cheeses: a review

Introduction: The constant evolution of food packaging technology aims to cater to modern consumers who are looking for safer and healthier products. In this context, active packaging was developed to provide more safety and increase the shelf life of food, in addition to reducing or eliminating the addition of preservatives. Most research on the development of active packaging in the food sector is mainly focused on meat, poultry, fruits and vegetables. However, there is a notable trend in research on active packaging. **Objective:** To provide an overview

¹ Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. *Endereço para correspondência: *E-mail:* taamorims@gmail.com.

of research related to active packaging for application in cheeses. **Methodology:** The literature review was conducted using different indexing databases to collect information on the development of active packaging for cheeses. Fifty-six Research and review articles, published in English and Portuguese were selected. **Results:** Advances in research related to the development of active packaging, together with the increase in cheese consumption, in addition to the growing consumer demand for more natural products with fewer preservatives, are conducting research on active packaging for cheese. **Conclusion:** Research into both the development and applicability of active packaging is essential to meet the new demands of the cheese market.

Keywords: Antimicrobial packaging; Smart packaging; Active compound; Dairy products.

Submetido em: 25/10/2024

Aceito em: 18/02/2025

INTRODUÇÃO

A embalagem atua como uma barreira protetora contra os fatores externos responsáveis pela deterioração dos alimentos, como umidade, oxigênio, luz e microrganismos. Além de atuarem na proteção e conservação desses, ela é uma poderosa ferramenta de *marketing* e comunicação, influenciando diretamente nas decisões de compra dos consumidores.

A tecnologia de embalagens de alimentos está em constante evolução para atender às demandas da sociedade moderna por alimentos mais saudáveis, seguros e com maior durabilidade. Nas últimas décadas, o conceito tradicional de embalagem passiva, ou seja, que apresenta mínima interação entre a embalagem e o alimento, foi superado por novas tecnologias que vêm sendo desenvolvidas, baseando-se no fato de que algumas interações entre a embalagem e o alimento podem ser benéficas, auxiliando na preservação da qualidade e segurança dos alimentos embalados^{1,2,3,4}.

Nesse contexto, surge a tecnologia de embalagens ativas, projetadas para interagir de forma intencional com o alimento, proporcionando mais segurança e aumento da vida útil do produto embalado, além de reduzir ou eliminar a adição de conservantes, mantendo a qualidade e trazendo benefícios adicionais além da simples proteção do alimento contra os fatores externos⁵.

A embalagem desempenha um papel essencial na qualidade dos queijos. Devido às

alterações bioquímicas e microbiológicas que ocorrem durante a sua fabricação, maturação e comercialização, o queijo é um produto perecível, sendo a escolha da embalagem adequada uma das formas mais favoráveis para prevenir a deterioração e prolongar a vida útil desse produto^{5,6,7}.

Nos últimos anos o interesse em embalagens ativas cresceu de forma constante, porém, a maioria das pesquisas sobre o desenvolvimento desse tipo de embalagem no setor alimentício é focada principalmente em carnes, aves, frutas e vegetais. Contudo, é notável uma tendência em pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de embalagens ativas para aplicação em queijos, uma vez que ele é um importante produto lácteo e seu mercado vem se expandindo cada vez mais. Diante deste cenário, esta revisão teve como objetivo fornecer uma visão geral sobre os estudos relacionados a embalagens ativas para aplicação em queijos. Entre as embalagens ativas, esta revisão se aprofundará nas antimicrobianas, antioxidantes e inteligentes, que são as mais utilizadas para queijos.

METODOLOGIA

A revisão de literatura foi conduzida por meio do levantamento de artigos científicos, publicados em diferentes bases de indexação: *Science Direct*, *Scielo*, *Wiley Online Library* e *Google Scholar*. Nos campos de busca, os seguintes termos indexadores foram utilizados: “embalagens ativas”, “*active packaging*”, “queijos”, “*cheese*”, “embalagens antioxidantes”, “embalagens antimicrobianas”, “embalagens inteligentes” e “*Smart packaging*”. Foram

selecionados cinquenta e seis artigos de pesquisa e de revisão, publicados em língua inglesa e portuguesa, relacionados ao desenvolvimento e aplicação de embalagens ativas para queijos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Queijos

O queijo é um dos produtos mais conhecidos e consumidos dos derivados do leite, sendo produzidos mundialmente em uma grande variedade de texturas, formas e sabores. De acordo com relatório publicado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO)⁸, a produção mundial de leite está projetada para obter um crescimento de 1,6% ao ano na próxima década, e espera-se que cerca de 30% deste leite seja utilizado na produção de produtos lácteos concentrados, como os queijos. A expectativa é de que até 2030 a produção mundial de queijo cresça 1,2% ao ano e que o consumo global *per capita* aumente 1,4% ao ano, atingindo 6,5 kg por pessoa, e que até 2033 esse consumo continue a aumentar ao longo do período de projeção^{8,9}. No Brasil, o consumo de queijos aumentou em aproximadamente 5% entre 2018 e 2024, com a previsão de que esse consumo aumente de 3,53 para 3,97 kg *per capita* durante o período de 2024-2033. O estado de Minas Gerais lidera o *ranking* de produção de queijo entre os estados brasileiros, com um pouco mais de 35% do total produzido no país em 2017¹⁰.

Conforme o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos (RTIQ), o queijo é o produto fresco ou maturado que se obtém por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado), ou de soros lácteos, coagulados pela ação física do coalho, de enzimas específicas, de bactérias específicas, de ácidos orgânicos, isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos, aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e corantes¹¹.

A classificação dos queijos é feita de acordo com diferentes critérios, como métodos de produção (industrial ou artesanal), textura, teor de umidade,

teor de gordura, fatores diversos de processamento, tempo de maturação e país de origem^{12,13}. A legislação brasileira classifica os queijos em relação ao conteúdo de matéria gorda no extrato seco em: desnatado, magro, semigordo, gordo e extra gordo. Já em relação ao teor de umidade, os queijos são classificados em: baixa, média, alta e muito alta umidade¹¹.

Por ser um alimento rico em muitos nutrientes, como proteína e gordura, e ainda apresentar alto teor de umidade, os queijos possuem maior susceptibilidade ao desenvolvimento bacteriano e de fungos, ocasionando danos sensoriais e redução da vida de prateleira. A qualidade dos queijos depende da qualidade da matéria-prima, dos processos de produção e da adequação da embalagem. Para determinar a embalagem mais adequada para cada variedade de queijo, é necessário considerar várias categorias que podem depender do teor de umidade (duro, semiduro, macio, muito macio), formas (rodas ou queijo meia-roda, fatias de queijo, queijo macio e cremoso, queijo ralado, em cubos e processado) e técnicas de maturação (maturação sob refrigeração, maturação em temperatura ambiente; maturação curta ou longa, maturação com ou sem fungos)^{5,7}.

Uma das alternativas para prolongar a vida útil dos queijos é o uso de embalagens ativas, que atuam reduzindo a deterioração bioquímica e microbiológica, principalmente na superfície, onde é mais propensa à contaminação por microrganismos¹⁴. A indústria de queijos é claramente um dos setores onde os sistemas de embalagens ativas têm uma boa oportunidade de aplicação, como mostrado pelos desenvolvimentos recentes em embalagens ativas para queijo^{5,12,15-19}.

Embalagens Ativas

As embalagens tradicionais são utilizadas para proteger os alimentos, atuando de forma passiva, dessa forma, servem apenas como uma barreira inerte contra impactos físicos, reações químicas e a contaminação por microrganismos. No entanto, com o avanço da tecnologia, surgem as embalagens ativas, que interagem de forma desejável com o produto embalado, contribuindo para prolongar a vida útil e monitorando a qualidade desse

alimento. Os sistemas de embalagens ativas são desenvolvidos através da incorporação de substâncias ativas promovendo interações desejáveis no sistema alimento/embalagem^{2,20}. As principais substâncias ativas incorporadas em embalagens para aplicação em queijos são os compostos antimicrobianos (nisina, natamicina, lisozima e óleos essenciais), compostos antioxidantes artificiais (BHT e BHA) e naturais (extratos de plantas, tocoferóis, ácido ascórbico, compostos fenólicos).

As embalagens ativas proporcionam uma forma mais segura de preservação dos alimentos ao liberarem compostos ativos de maneira controlada. Em vez de serem adicionados diretamente aos alimentos, os aditivos são liberados em quantidades menores e apenas onde são necessários, como por exemplo na superfície dos alimentos, onde a deterioração é mais comum devido à maior suscetibilidade à contaminação microbiana²¹. Portanto, uma das principais vantagens do uso de embalagens ativas consiste na possibilidade de redução do uso de aditivos e conservantes, adicionados diretamente aos alimentos.

A eficiência da embalagem ativa, em muitos casos, está relacionada à migração do composto ativo para o alimento embalado. A migração é o resultado do processo de difusão e equilíbrio, envolvendo a transferência de compostos de baixa massa molecular (aditivos) de uma embalagem plástica, para o alimento. Os migrantes se difundem através da porção amorfa da matriz polimérica em direção à interface, onde são particionados entre os dois meios, até que seus valores de potencial químico no polímero e no alimento alcancem o equilíbrio. A migração é frequentemente descrita pela segunda lei de Fick. A fundamentação teórica do processo de migração é descrita por Crank²².

Os compostos ativos incorporados aos materiais das embalagens ativas podem incluir agentes antimicrobianos, antioxidantes, absorvedores de oxigênio, entre outros. Assim, as embalagens ativas podem ser classificadas em: embalagens antimicrobianas, embalagens antioxidantes e embalagens inteligentes. Muitas pesquisas têm mostrado a eficiência da incorporação de aditivos em materiais de embalagem para manter a qualidade de queijos como Muçarela^{23,15}, Coalho¹,

Ricota²⁴, Prato²⁵, Kashar²⁶, Gorgonzola²¹, Queijo Artesanal da Canastra¹⁸, Queijo tipo Holandês¹⁷, Cheddar¹⁹, Gouda²⁷, e Queijo de ovelha (Zamorano)²⁸.

Embalagens antimicrobianas

Um dos pontos fortes das embalagens ativas é a embalagem antimicrobiana. Essas embalagens são comumente desenvolvidas em diferentes formas, seja como revestimento, filme ou sachê, e são preparadas incorporando os agentes antimicrobianos nos materiais de embalagem. O efeito antimicrobiano dessas pode ser alcançado por contato direto com a superfície do alimento, usando sistemas de difusão não migratórios ou controlados; ou por contato indireto, usando compostos ativos voláteis para criar atmosfera antimicrobiana no espaço livre dos recipientes de embalagem^{29,30}.

Nos queijos, a formação de mofo e a contaminação bacteriana são problemas comuns, que surgem geralmente antes do final da data de validade destes produtos, preocupando o consumidor e o produtor quanto à segurança alimentar e as perdas de alimentos. A razão da incorporação de agentes antimicrobianos no material da embalagem é prevenir o crescimento microbiano na superfície, evitando a adição direta ao produto e focando sua ação na superfície do alimento, onde a contaminação microbiana é mais intensa. Além disso, ela também reduz a necessidade da adição de conservantes aos queijos^{2,5}.

Diversos compostos ativos têm sido propostos para serem incorporados em embalagens antimicrobianas para queijo, incluindo natamicina^{15,31}, nisina^{27,32,33}, lisozima³⁴, bacteriocinas^{35,36} e óleos essenciais^{1,16,23,37}.

Em uma pesquisa conduzida por Sharma *et al.*¹⁹, foram desenvolvidos filmes antimicrobianos de ácido polilático/poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PLA/PBAT) incorporados com dióxido de titânio (TiO₂) e óleo essencial de canela (1, 3 e 7%). Os filmes foram utilizados para armazenar queijo Cheddar por quatro, nove e doze dias. Os autores observaram que o filme com TiO₂ e 7% de óleo essencial de canela foi capaz de inibir totalmente a multiplicação de *Escherichia coli* nos queijos com 12

dias de armazenamento. Em contrapartida, o filme comercial e o filme controle de PLA/PBAT puro, não apresentaram quaisquer propriedades bactericidas durante os 12 dias de armazenamento.

Beigmohammadi *et al.*⁶ desenvolveram uma embalagem de polietileno de baixa densidade (PEBD) incorporada com nanopartículas de prata (Ag) para embalar queijo ultrafiltrado. Os resultados da pesquisa demonstraram que o filme com Ag, proporcionou uma redução de 4,21 log UFC/g do número de bactérias do grupo dos coliformes no queijo, após quatro semanas de armazenamento a 4 °C, enquanto os filmes sem nanopartículas mostraram uma redução de apenas 1,04 log UFC/g. Os autores também relataram, que a migração das nanopartículas de prata para um estimulante alimentar, estava dentro do nível seguro aceito pela *European Food Safety Authority*.

Filmes antimicrobianos a base de acetato de celulose, incorporados com óleo essencial de pimenta rosa (0, 2, 4 e 6%), foram desenvolvidos por Dannenberg *et al.*³⁸ e avaliados para embalar queijo Muçarela fatiado, armazenado por 12 dias a 4 °C. Os filmes com 2, 4 e 6% mostraram-se ativos contra as bactérias patogênicas *Listeria monocytogene* e *Staphylococcus aureus*. Apenas o filme com 6% de óleo essencial mostrou-se ativo também contra os patógenos: *E. coli* e *Salmonella typhimurium*. Os resultados demonstraram que o filme ativo com óleo de pimenta rosa é eficaz para reduzir o crescimento de bactérias Gram-negativas e Gram-positivas em fatias de queijo Muçarela armazenados sob refrigeração.

Seydim *et al.*³⁹ desenvolveram filmes antimicrobianos de isolado proteico de soro de leite (WPI), incorporando a eles diferentes compostos ativos (óleo de orégano, óleo de alho, nisina e natamicina) e avaliaram a eficiência desta embalagem ativa em fatias de queijo Kasar, inoculado com diferentes bactérias patogênicas. No 15º dia, os autores relataram uma redução significativa (5,48 log UFC/cm²) na contagem de *E. coli* O157:H7, para o queijo embalado com o filme contendo óleo de orégano. Para as contagens de *Salmonella Enteritidis* e *L. monocytogenes*, os autores observaram que todos os filmes ativos apresentaram redução significativa desses microrganismos, quando comparados às

amostras controle (embaladas com filme de WPI puro). No primeiro dia de armazenamento, a contagem de *S. aureus* na amostra controle foi de 7,71 log UFC/cm², enquanto nas amostras embaladas com os filmes adicionados de óleo de orégano, óleo de alho e nisina foram de 6,66, 6,87, 6,93 log UFC/cm², respectivamente. Os autores também relataram que os queijos revestidos com os filmes contendo natamicina mostraram uma redução de 1,45 log na contagem total de fungos e leveduras no 7º dia de armazenamento.

Uma fita adesiva à base de goma arábica, capaz de liberar óleo essencial de canela (CEO) na fase vapor, foi desenvolvida por Ali *et al.*⁴⁰ As fitas adesivas contendo CEO nas concentrações de 4%, 8% e 10%, foram fixadas nas tampas das caixas de embalagens plásticas para queijo, de forma que não houvesse o contato com a amostra de queijo. Os resultados da pesquisa mostraram que as contagens de *E. coli* O157:H7 nos tratamentos com óleo de canela diminuíram de 5 log para 3 log após duas semanas de armazenamento e não foram detectadas no final do período de armazenamento de 8 semanas. Diferente do encontrado para o tratamento controle, o qual apresentou uma contagem acima de 4 log, após duas semanas de armazenamento. O vapor de CEO liberado das fitas adesivas para o espaço livre da embalagem reduziu significativamente a contagem total de bactérias mesófilas em comparação com a amostra controle (embalagens sem fitas adesivas). Além disso, a pesquisa mostrou que todas as fitas desenvolvidas foram capazes de reduzir a contagem de bolores e leveduras no queijo. Os autores concluíram que a fita adesiva incorporada com óleo essencial de canela estendeu a vida útil do queijo para oito semanas, em comparação com três semanas da amostra controle.

Azhdari e Moradi¹⁵ avaliaram o efeito de filmes antimicrobianos de carboximetilcelulose (CMC) adicionados de natamicina, na qualidade do queijo Muçarela com alto teor de umidade. Como resultado, o filme ativo promoveu uma redução do ciclo logarítmico de 0,6 e 0,9 na contagem de bolores e leveduras, respectivamente. Foi relatado pelos autores que a contagem mesofílica total da amostra controle atingiu 7 log UFC/g no dia 4, enquanto no queijo revestido com o filme contendo natamicina,

esse limite foi atingido apenas no 8º dia de armazenamento.

Em outra pesquisa, realizada por Panfil-Kuncewicz *et al.*⁴¹ foi avaliada a eficácia do uso de absorvedores de oxigênio para prolongar a vida útil do queijo Gouda fracionado. O estudo comparou quatro sistemas diferentes: I - embalagem ativa (AP) (a atmosfera do ar foi modificada utilizando um sachê absorvedor de oxigênio no interior da embalagem), II - embalagem em atmosfera modificada (MAP) (40% CO₂ e 60% N₂), III - embalagem a vácuo (VP), IV - embalagem em ar ambiente (amostras controle). Os queijos foram armazenados sob refrigeração (6 ± 0,5 °C) por até 90 dias e as contagens de bactérias do grupo dos coliformes, fungos e leveduras foram determinadas. Os autores relataram que os absorvedores de oxigênio foram eficazes em estender a vida útil do queijo Gouda, sendo capaz de modificar a composição da atmosfera interna da embalagem. Porém, a eficácia dos absorvedores de oxigênio em prolongar a vida útil do queijo Gouda fracionado é comparável à da embalagem a vácuo e da embalagem em atmosfera modificada, podendo ser utilizado como opção de substituição a essas tecnologias.

Filmes desenvolvidos a base de resíduos de PET e quitosana, ativados com nanopartículas de prata (AgNPs), foram testados como embalagem ativa para queijo branco fresco em uma pesquisa realizada por Singh *et al.*⁴² Os autores relataram que o filme com 5% de AgNPs foi capaz de tornar o queijo livre de bactérias em sete dias a 40 °C, enquanto para as mesmas condições, no queijo embalado com o filme PET inativo (sem AgNPs) foi observada contagem de 4,67 ± 0,05 log UFC/g de bactérias aeróbicas mesófilas totais. Os autores concluíram que o filme PET ativo com AgNPs foi capaz de estender a vida útil do queijo fresco branco em até 30 dias.

Em estudo realizado por Andrade *et al.*²³ um filme antimicrobiano de poli (butileno adipato tereftalato) (PBAT), ativado com óleo essencial de laranja, foi utilizado para embalar queijo Muçarela. Os autores verificaram que houve uma redução de 65% da multiplicação de *E. coli* na superfície do queijo muçarela embalado com o filme contendo 15% de óleo essencial.

Algumas pesquisas têm utilizado as bactérias ácido lácticas (BAL) como antimicrobianos naturais. Essas bactérias produzem várias substâncias que podem inibir o crescimento de microrganismos patogênicos, ajudando a preservar alimentos e melhorar a segurança alimentar⁴³. Em estudo realizado por Santacruz e Castro⁴⁴, foi avaliado a viabilidade de *Lactobacillus acidophilus* livre e encapsulado, ambos incorporados a filmes comestíveis de amido de mandioca. Neste estudo, o queijo Manaba foi revestido com o filme de amido contendo *L. acidophilus* livre (FFLAB) ou encapsulado (FELAB), transferido para sacos plásticos e armazenado por 30 dias a 4 °C. Após 30 dias de armazenamento, os queijos revestidos com os filmes contendo células livres e células encapsuladas, apresentaram contagem de bactérias aeróbicas mesófilas igual a 6,40 log UFC/g e 3,20 log UFC/g, respectivamente. Já o queijo sem revestimento apresentou contagem de 10,80 log UFC/g.

Dong *et al.*³ incorporaram sobrenadante de células livre (CFS) de *Lacticaseibacillus paracasei* ALAC-4 em filmes de quitosana, usando o método de fundição de solvente. O filme ativo com CFS foi utilizado para a embalagem de queijo Mongol por 15 dias durante o armazenamento a 4 ± 1 °C. Os autores relataram que os filmes ativos exibiram fortes atividades antifúngicas contra fungos e leveduras, especialmente *Candida albicans*. A contagem de fungos e leveduras em queijo embalado em filme de quitosana puro, aumentou acentuadamente de 1,25 para 3,02 log UFC/g em sete dias, mas as amostras embaladas em filme CS-CFS permaneceram abaixo de 1,95 log UFC/g. Durante os 15 dias de armazenamento, o filme de quitosana com CFS inibiu significativamente a multiplicação de fungos e leveduras no queijo Mongol, em comparação com a amostra do filme controle (sem CFS).

Embalagens antioxidantes

A maioria dos queijos é embalado com materiais transparentes e frequentemente expostos à luz durante a maturação e comercialização, aumentando a suscetibilidade à oxidação, com o desenvolvimento de compostos voláteis que causam sabor estranho a estes produtos. Os antioxidantes são compostos muito utilizados em alimentos pois são capazes de bloquear a peroxidação lipídica e

outras reações oxidativas, mantendo assim o frescor e prolongando a vida útil dos produtos alimentícios^{5,45}.

Queijos como Cheddar, Brie, e azul são altamente propensos à oxidação lipídica, devido ao seu alto teor de gordura. A incorporação de antioxidantes no material da embalagem é a melhor opção para reduzir a oxidação dos queijos, pois os antioxidantes são liberados gradualmente na superfície do produto, onde ocorre a maior incidência de luz e conseqüentemente maior produção destes compostos voláteis. Esse papel benéfico da incorporação de antioxidantes no material da embalagem levou a diversas pesquisas sobre o desenvolvimento de embalagens antioxidantes para queijos^{1,25,34,46,47,48}.

Uma embalagem antioxidante foi desenvolvida por Soto-Cantú *et al.*⁴⁷ para embalar queijo Asadero. Os autores adicionaram diferentes concentrações de hidroxitolueno butilado (BHT) (0, 8 e 14 mg/g) em filmes coextrusados de polietileno de baixa densidade (PEBD) e poliamida 6/66. Foi relatado pelos autores que a maior parte do BHT foi difundida da embalagem para o queijo durante os primeiros 20 dias de armazenamento a 5 °C. O filme com 8 mg/g de BHT manteve os níveis de oxidação do 20^o a 100^o dia de armazenamento e a liberação de BHT do filme atendeu ao limite legal estabelecido para produtos alimentícios.

Antioxidantes sintéticos como BHT e hidroxianisol butilado (BHA) são muitos utilizados em embalagem de queijos. Porém, a crescente preocupação com a saúde, relacionada ao uso de antioxidantes sintéticos, está impulsionando o desenvolvimento de embalagens ativas com a incorporação de antioxidantes naturais. No entanto, o maior desafio está relacionado à incorporação de antioxidantes naturais na produção de embalagens plásticas em escala industrial, sendo a estabilidade térmica desses antioxidantes a principal preocupação^{5,12,30,49}.

Em pesquisa realizada por Bonilla e Sobral²⁵, filmes ativos produzidos à base de gelatina e quitosana, adicionados de extrato de boldo como composto ativo, foram utilizados para embalar fatias de queijo Prato por dez dias. Os resultados da

pesquisa indicaram que ao final do período de armazenamento, todos os filmes ativos apresentaram menor valor de peróxido (menor oxidação lipídica) quando comparados aos filmes controle (sem extrato de boldo).

Mushtaq *et al.*⁵⁰ desenvolveram filmes de zeína adicionados com diferentes concentrações (0, 25, 50 e 75 mg/mL de solução formadora de filme) de extrato de casca de romã (PPE) e avaliaram o efeito antioxidante desses filmes em queijo do Himalaia (Kalari). As amostras de queijo embaladas no filme antioxidante foram armazenadas sob refrigeração e analisadas em diferentes intervalos (um, sete, 15, 21 e 30 dias). Os queijos Kalari embalados com os filmes de zeína contendo PPE apresentaram baixos produtos de oxidação lipídica durante todo o período de armazenamento, quando comparado ao filme controle (sem PPE). Também foi relatado pelos autores que os produtos de oxidação diminuíram com o aumento da concentração de PPE nos filmes, em todos os dias de armazenamento. Além disso, a avaliação sensorial do queijo Kalari revelou que os filmes ativos podem ser usados como um novo material de embalagem para o queijo Kalari sem afetar suas características sensoriais.

Embalagens inteligentes

Dentro do universo das embalagens ativas, a embalagem inteligente se destaca, pois, além de interagir com os alimentos, essas emitem respostas aos consumidores, relacionadas ao estado de frescor, maturação, rastreabilidade, entre outras informações importantes sobre a qualidade do produto embalado.

Além do propósito básico de proteção, contenção e comunicação, a embalagem inteligente fornece ao consumidor uma função extra, geralmente uma resposta mecânica, química, elétrica ou eletrônica através de um dispositivo, posicionado interna ou externamente à embalagem, que pode monitorar a condição do produto, embalagem ou ambiente de embalagem. Por meio de mudanças visuais, esse tipo de embalagem é capaz de indicar informações sobre alterações ocorridas no produto embalado, como temperatura e pH. É importante ressaltar que o dispositivo pode fornecer

informações sobre esses aspectos, mas não altera a condição da embalagem ou do produto^{51,52}.

Filmes inteligentes à base de quitosana, extrato de casca de romã (rico em antocianinas) e essências de *Melissa officinalis* (composto antimicrobiano), foram avaliados para detectar a deterioração do *Cream Cheese*. Os filmes foram usados como marcadores de deterioração do *Cream Cheese*, tendo em vista as alterações de pH relacionadas ao processo de deterioração desse queijo. Os autores observaram que os filmes contendo pigmentos de antocianina apresentaram alta sensibilidade às alterações de pH, sendo capaz de detectar as mudanças de pH do queijo embalado. A mudança de cor do filme era visível a olho nu, podendo esse ser usado como embalagem inteligente para estimar a data de validade do *Cream Cheese*. Além disso, os autores relataram que os filmes apresentaram atividade antimicrobiana, principalmente contra *Bacillus cereus*⁵³.

Um sensor de oxigênio contendo corante fluorescente sensível ao oxigênio foi desenvolvido por O'Mahony *et al.*⁵⁴ O sensor foi testado em pequena escala industrial para avaliar, de forma não destrutiva, o queijo Cheddar embalado em atmosfera modificada. A pesquisa monitorou 77 amostras quanto ao teor de oxigênio residual, usando sensores descartáveis "adesivos" incorporados em cada embalagem. As amostras foram mantidas a 4 °C e o oxigênio residual da embalagem, juntamente com a medição da multiplicação microbiana, foram monitorados durante quatro meses. Os autores relataram que o sensor possui sensibilidade na faixa entre 0,02% e 100% de oxigênio, sendo capaz de detectar mudanças na concentração de oxigênio no *headspace* da embalagem de atmosfera modificada, durante todo o período de armazenamento. Também foi relatado que a correlação entre a concentração de oxigênio e o crescimento microbiano, mostrou-se promissora para avaliação da qualidade do queijo Cheddar, usando o sensor de oxigênio colorimétrico.

Filmes inteligentes capazes de indicar variações de temperatura, podem avisar ao consumidor se o produto passou por temperaturas além das condições normais de armazenamento, que são inaceitáveis. Kritchenkov *et al.*⁵⁵ desenvolveram um filme inteligente para avaliar as variações na temperatura de armazenamento do queijo Ricota. Os autores relataram que o filme muda de cor de incolor (a 4 °C) para roxo escuro após 70 minutos de exposição a 8 °C. Isso permite que o filme indique a variação de temperatura do queijo Ricota durante o período de armazenamento. Conforme descrito pelos autores, o queijo Ricota deve ser armazenado em temperatura de refrigeração, que poderá variar entre 0 e 6 °C, portanto, a alteração de cor do filme inteligente, pode sugerir que o queijo foi armazenado em temperatura igual ou superior a 8 °C, estando acima do limite aceitável para esse tipo de queijo.

As embalagens inteligentes têm um grande potencial para impulsionar o setor de queijos. Embalagens capazes de fornecer informações relacionadas ao frescor, sabor, segurança microbiológica, maturação e rastreabilidade dos queijos, são de extremo interesse tanto dos consumidores, como das indústrias de queijo, uma vez que, além de contribuir para o aumento da vida útil desses produtos, reduzindo o desperdício, essas embalagens podem auxiliar os consumidores a fazerem escolha mais assertivas, que atendam às suas expectativas. De acordo com uma pesquisa realizada por O'Callaghan e Kerry⁵¹, para aplicabilidade de embalagens inteligentes para queijo, o futuro é altamente otimista, pois os consumidores estão dispostos a pagar mais por embalagens que forneçam informações sobre a qualidade, rastreabilidade e segurança dos queijos, e que são fornecidas por essas novas tecnologias.

A Tabela 1 apresenta os principais trabalhos dos últimos dez anos, que mostram a eficiência das embalagens ativas com compostos antimicrobianos, antioxidantes ou inteligentes.

Tabela 1. Embalagens ativas para queijos.

Tipo de embalagem	Composto ativo	Tipo de Queijo	Resultados	Referência
Antimicrobiana	Nanopartículas de titânio	Queijo de búfala	O queijo de búfala embalado com o filme ativo (quitosana/PVC/nanopartículas) tiveram as contagens bacterianas totais, mofo e levedura e coliformes, reduzidas com o aumento do período de armazenamento a 7 °C e desapareceram no 30 ^o dia.	Youssef <i>et al.</i> 2015 ⁶
Antimicrobiana	Nanopartícula de prata	Queijo Ultrafiltrado	O uso de uma embalagem de polietileno de baixa densidade incorporada com nanopartícula de prata, proporcionou uma redução de 4,21 log UFC/g na contagem de bactérias coliformes do Queijo Ultrafiltrado, após quatro semanas de armazenamento a 4 °C, enquanto os filmes puros mostraram uma redução de apenas 1,04 log UFC/g.	Beigmohammadi <i>et al.</i> 2016 ⁶
Antimicrobiana	Óleo essencial de pimenta rosa	Queijo Muçarela fatiado	O filme de acetado de celulose com óleo de pimenta rosa, apresentou atividade antimicrobiana contra os patógenos: <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> e <i>S. typhimurium</i> , quando avaliados em queijo muçarela fatiado, armazenado por 12 dias a 4 °C.	Dannenberg <i>et al.</i> 2017 ³⁸
Antimicrobiana	Óleo de orégano	Queijo com baixo teor de gordura	A contagem de <i>S. aureus</i> apresentou redução de 6,0 a 4,6 log UFC/g, após 15 dias de armazenamento, para amostras de queijo revestidas com uma nanoemulsão (alginato de sódio, fibra de tangerina, Tween 80) contendo pelo menos 2,0% de óleo essencial de orégano.	Artiga-Artigas <i>et al.</i> 2017 ³⁷
Antimicrobiana	Bacteriocinas	Queijo Prato fatiado	O filme de amido incorporado com metabólitos antimicrobianos, produzidos por <i>Lactobacillus curvatus</i> P99, apresentou atividade antimicrobiana contra diferentes microorganismos indicadores. O filme ativo foi capaz de controlar a contaminação por <i>L. monocytogenes</i> do queijo Prato fatiado, armazenado por dez dias sob refrigeração.	Marques <i>et al.</i> 2017 ³⁵
Antioxidante	Extrato de casca de romã	Queijo do Himalaia (Kalari)	O filme de zeína incorporado com extrato de casca de romã, foi capaz de retardar as reações de oxidação e deterioração microbiana do queijo Kalari, durante 12 dias de armazenamento. Além disso, o filme ativo não afetou a multiplicação de bactérias do ácido lático e não alterou significativamente os atributos sensoriais do queijo Kalari.	Mushtaq <i>et al.</i> 2018 ⁵⁰
Antimicrobiana	Nanopartícula de prata	Queijo Branco Fresco	O filme de tereftalato de polietileno (PET) com nanopartículas de prata foi utilizado para embalar queijo branco fresco armazenado por até 30 dias. As amostras de queijo armazenadas com o filme de PET ativo não apresentaram multiplicação de bactérias aeróbicas mesófilas totais, enquanto as amostras sem o filme apresentaram um crescimento progressivo.	Singh <i>et al.</i> 2018 ⁴²
Antimicrobiana	<i>Lactobacillus acidophilus</i> (livre e encapsulado)	Queijo Manabá	O queijo Manabá revestido com o filme comestível contendo células livres de <i>Lactobacillus acidophilus</i> (livre e encapsulado) e armazenado a 4°C, apresentou menor contagem de bactérias aeróbicas mesófilas quando comparado ao queijo não revestido. Além disso, o filme comestível contendo <i>L. acidophilus</i> encapsulado foi mais eficaz em relação ao filme com <i>L. acidophilus</i> não encapsulado.	Santacruz e Castro, 2018 ⁴⁴
Antimicrobiana	Natamicina e nisina	Gouda	Um revestimento elaborado com amido, natamicina e nisina, foi utilizado para embalar queijo Gouda e comparado com o método utilizado na indústria de queijo, ou seja, queijo coberto com uma suspensão aquosa contendo os mesmos antimicrobianos. A aplicação do revestimento ativo resultou em maior eficiência contra <i>S. cerevisiae</i> e <i>L. Innocua</i> , quando comparado à aplicação direta dos antimicrobianos no queijo Gouda.	Berti <i>et al.</i> 2019 ²⁷
Antimicrobiana/	Extrato de boldo	Queijo Prato	A incorporação do extrato de Boldo nos filmes de gelatina/ quitosana possibilitou proteção significativa contra	Bonilla e Sobral, 2019 ²⁵

antioxidante a oxidação lipídica e inibição da multiplicação de bactérias psicotróficas no queijo Prato fatiado, armazenado a 4°C por dez dias.

Tabela 1. Embalagens ativas para queijos. **Continuação.**

Tipo de embalagem	Composto ativo	Tipo de Queijo	Resultados	Referência
Antimicrobiana	Nanopartículas de óxido de zinco	Queijo branco	A contagem bacteriana total dos queijos embalados com o filme à base de gelatina contendo nanofibra de quitosana e nanopartículas de ZnO, foi significativamente reduzida durante o armazenamento. O queijo envolvido no filme ativo apresentou menores contagens de <i>P. aeruginosa</i> e <i>E. coli</i> , quando comparadas com as amostras embaladas com o filme de gelatina puro, após 12 dias de armazenamento.	Amjadi <i>et al.</i> 2019 ⁵⁷
Antimicrobiana	Óleo de orégano, óleo de alho, nisina e natamicina	Queijo Kasar fatiado	Filmes de isolado de proteína de soro de leite incorporados com óleos essenciais (orégano e alho), nisina e natamicina, foram usados como camadas em fatias de queijo Kasar. O filme incorporado com óleo de orégano apresentou maior atividade antimicrobiana do que o filme com óleo de alho. O filme com nisina foi o mais eficiente contra <i>L. monocytogenes</i> e o filme com natamicina foi o que apresentou maior inibição do <i>Penicillium spp.</i>	Seydim <i>et al.</i> 2020 ³⁹
Antimicrobiana	Isotiocianato de Alila	Queijo fresco	A utilização de uma etiqueta adesiva contendo Isotiocianato de Alila, aplicada no espaço livre da embalagem de queijo fresco, reduziu o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes nas amostras de queijo e estendeu a sua vida útil de quatro semanas para oito semanas.	Al-Moghazy <i>et al.</i> 2020 ²⁹
Inteligente	Extrato de casca de romã	Cream Cheese	O filme de quitosana e extrato de casca de romã foi capaz de detectar mudanças de pH, através de alterações de cor, visível a olho nu, podendo ser usado como embalagem inteligente para estimar a vida útil do <i>Cream Cheese</i> .	Pirsa <i>et al.</i> 2020 ⁵³
Antioxidante/ Antimicrobiana	Extratos orgânicos de sementes de <i>Lepidium sativum</i>	Ricota	O filme à base de gelatina enriquecido com <i>Lepidium sativum</i> reduziu, a peroxidação lipídica e a contagem total de bactérias da Ricota armazenada a 4 °C por seis dias.	Salem <i>et al.</i> 2021 ⁴⁶
Antimicrobiana	Óleo essencial de canela	Queijo fresco	Uma fita adesiva a base de goma arábica foi desenvolvida para liberar óleo essencial de canela (CEO) em fase de vapor. O vapor de CEO liberado das fitas para o espaço livre da embalagem reduziu a contagem total de bactérias mesófilas e suprimiu o aumento da contagem de leveduras e bolores no queijo. A vida útil do queijo, embalado, mas não em contato com a fita autoadesiva, estendeu-se para 8 semanas, sem crescimento microbiano visível, em comparação com 3 semanas do queijo embalado sem a fita adesiva.	Ali <i>et al.</i> , 2021 ⁴⁰
Antimicrobiana	Natamicina	Muçarela com alto teor de umidade	O revestimento de carboximetilcelulose com natamicina dobrou a vida útil do queijo Muçarela. A contagem total de mesófilos das amostras sem revestimento atingiu 7 log UFC/g no dia 4, enquanto nos queijos revestidos sem natamicina esse limite foi alcançado apenas no 8º dia de armazenamento.	Azhdari e Moradi, 2022 ¹⁵
Antimicrobiana	Óleo essencial de canela + óxido de titânio (TiO ₂)	Queijo Cheddar	Um filme plástico (PLA/PBAT/TiO ₂) com 7% de óleo essencial de canela foi capaz de inibir totalmente a multiplicação de <i>E. coli</i> no queijo Cheddar com 12 dias de armazenamento. Em comparação, o filme controle (PLA-PBT) não apresentou propriedades bactericida.	Sharma <i>et al.</i> 2023 ¹⁹
Antimicrobiana	Sobrenadante de células livre de <i>Lactocaseibacillus paracasei</i>	Queijo Mongol	O filme de quitosana incorporado com sobrenadante de células livre de <i>Lactocaseibacillus paracasei</i> apresentou um forte efeito antifúngico contra bolores e leveduras na superfície do queijo Mongol, especialmente contra <i>Candida albicans</i> , durante o período de armazenamento de 15 dias.	Dong <i>et al.</i> 2023 ³
Antimicrobiana/ antioxidante	Óleo de buriti	Queijo coalho artesanal brasileiro	O filme a base contendo óleo de buriti apresentou atividades antioxidante e antimicrobiana, causando a diminuição significativa na multiplicação de <i>Salmonella</i> spp., <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i> e coliformes, no queijo coalho armazenado a 5 °C por 14 dias.	Anjos <i>et al.</i> 2023 ¹

Tabela 1. Embalagens ativas para queijos. **Continuação.**

Tipo de embalagem	Composto ativo	Tipo de Queijo	Resultados	Referência
Antimicrobiana	Óleo essencial de laranja	Queijo Muçarela	O filme antimicrobiano de PBAT com 15% de óleo essencial de laranja reduziu 65% da multiplicação de <i>E. coli</i> na superfície do queijo muçarela, nos primeiros seis dias de armazenamento.	Andrade <i>et al.</i> 2023 ²³
Antimicrobiana	Ethyl Lauroyl Arginate	Queijo de ovelha curado (Zamorano)	A embalagem ativa de PET revestida com concentrações \geq 6% de Ethyl Lauroyl Arginate é capaz de reduzir a contagem de <i>E. coli</i> O157:H7 do queijo Zamorano, armazenado a 3 °C por sete dias.	Otero <i>et al.</i> 2024 ²⁸
Antimicrobiana	Peptídeo antimicrobiano α -s2-caseína ₁₅₁₋₁₈₁	Queijo macio feito de leite bovino e fermentado por <i>Streptococcus thermophilus</i> .	Os filmes comestíveis à base de proteína de soro de leite incorporados com peptídeos antimicrobianos derivados do leite (α s2-caseína ₁₅₁₋₁₈₁) inibiram o crescimento de <i>E. coli</i> e <i>B. subtilis</i> presentes na superfície do queijo refrigerado. Os resultados demonstraram que o peptídeo antimicrobiano foi um excelente substituto da nisina para controlar a contaminação na superfície do queijo durante armazenamento refrigerado por 28 dias.	Zhang <i>et al.</i> 2024 ⁵⁸

Fonte: Os autores.

CONCLUSÃO

Conforme abordado extensivamente nesta revisão, muitas pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento de embalagens ativas para queijos, e essas revelam grandes avanços na preservação e segurança desses produtos. As embalagens ativas vão além da proteção passiva, interagindo com os alimentos para controlar a sua deterioração. Assim, essas embalagens são eficazes para prolongar a vida útil e a segurança desse produto.

Pode-se esperar que com os avanços contínuos em pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de embalagens ativas e com o aumento do consumo de queijos, a demanda por esse tipo de sistema de embalagem aumente. Vale ressaltar que a utilização de embalagens ativas deve atender aos requisitos de segurança dos alimentos, além de não interferir em suas características sensoriais. Outro ponto relevante atual a se considerar é a busca dos consumidores por produtos mais naturais e com menor adição de conservantes, que também estimula o desenvolvimento de embalagens ativas capazes de prolongar a vida útil dos produtos. Sendo assim, pesquisas tanto para desenvolvimento quanto para a aplicabilidade das

embalagens ativas são imprescindíveis para atender às novas demandas do mercado.

FINANCIAMENTO

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

FUNÇÕES DOS AUTORES

Taline Amorim Santos: realizou a busca na base de dados, a escrita e a revisão do artigo.

Marissa Justi Cancellata: contribuiu com a escrita e revisão do artigo.

Déborah Tavares Alves: contribuiu com a escrita e revisão do artigo.

Gisela de Magalhães Machado Moreira: revisão e validação da versão final.

Elisângela Michele Miguel: revisão e validação da versão final.

Isis Rodrigues Toledo Renhe: revisão e validação da versão final.

REFERÊNCIAS

- 1- Anjos HA, Castro DAM, dos Santos-Neto AG, da Luz JRD, das Graças Almeida M, Leite Neta MTS, et al. Gelatin-based films incorporated with buriti oil (*Mauritia flexuosa* L.) as active packaging for artisanal cheese conservation. *Bioresour Technol* [Internet]. 2023;23:101526. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X23001974?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101526>.
- 2- Azeredo HMC de, Faria J de AF, Azeredo AMC de. Embalagens ativas para alimentos. *Food Sci Technol*. 2000;20(3):337–341. Available from: <https://www.scielo.br/j/cta/a/cLhXQCmVKbkjmdHGDDXhcsf/?lang=pt> DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-2061200000300010>.
- 3- Dong J, Wang S, Li M, Liu J, Sun Z, Mandlaa, et al. Application of a Chitosan-based Active Packaging Film Prepared with Cell-free Supernatant of *Lactocaseibacillus paracasei* ALAC-4 in Mongolian Cheese Preservation. *J Food Prot* [Internet]. 2023;86(12):100158. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X23068424?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100158>.
- 4- Gupta P. Role of oxygen absorbers in food as packaging material, their characterization and applications. *J Food Sci Technol* [Internet]. 2023;61(2):242–252. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-023-05681-8> DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05681-8>.
- 5- Kr Deshwal G, Raju Panjagari N. Active and Intelligent Packaging of Cheese: Developments and Future Scope. In: *Natural Food Additives*. Rijek: IntechOpen; 2021.
- 6- Beigmohammadi F, Peighambardoust SH, Hesari J, Azadmard-Damirchi S, Peighambardoust SJ, Khosrowshahi NK. Antibacterial properties of LDPE nanocomposite films in packaging of UF cheese. *LWT* [Internet]. 2016;65:106–111. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643815300761?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.059>.
- 7- Perry KSP. Queijos: aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos. *Quím Nova* [Internet]. 2004;27(2):293–300. Available from: <https://www.scielo.br/j/qn/a/nmhRjf7kXfPXszfrXmRh9m/?lang=pt> DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000200020>.
- 8- OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030 [Internet]. OECD; 2021. (OECD-FAO Agricultural Outlook). Available from: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2021-2030_19428846-en.
- 9- OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033. OECD; 2024. Available from: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-fao-agricultural-outlook-2024-2033_4c5d2cfb-en.html.
- 10- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Available from: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6960>.
- 11- Brasil. Portaria nº 146, de 07 de março de 1996. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Queijos. [Internet]. 1996. Available from: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/ind.ex.jsp?data=11/03/1996&jornal=1&pagina=22&totalArquivos=101>.
- 12- Moula Ali AM, Sant’Ana AS, Bavisetty SCB. Sustainable preservation of cheese: Advanced technologies, physicochemical properties and sensory attributes. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2022;129:306–326. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224422004095?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.006>.
- 13- Tomar O, Akarca G, GÖK V, Çağlar MY. The effects of packaging materials on the fatty acid composition, organic acid content, and texture profiles of Tulum cheese. *J Food Sci* [Internet]. 2020;85(10):3134–40. Available from: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.15404> DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15404>.
- 14- Jafarzadeh S, Salehabadi A, Mohammadi Nafchi A, Oladzadabbasabadi N, Jafari SM. Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2021;116:218–31. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421004593?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.021>.

- 15- Azhdari S, Moradi M. Application of antimicrobial coating based on carboxymethyl cellulose and natamycin in active packaging of cheese. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2022;209:2042–49. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813022008996?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.185>
- 16- Erceg T, Aćimović M, Šovljanski O, Lončar B, Tomić A, Pavlović M, et al. Preparation and characterization of carboxymethylated pullulan/butyric acid-modified chitosan active sustainable bi-layer coatings intended for packaging of cheese slices. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2024;277:134053. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014181302404858X> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134053>
- 17- Płoska J, Garbowska M, Rybak K, Berthold-Pluta A, Stasiak-Róžańska L. Study on application of biocellulose-based material for cheese packaging. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2024;264:130433. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024012364?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130433>
- 18- Ramos GLPA, Bovo F, Baptista RC, Kamimura BA, Magnani M, Sant’Ana AS. Impact of silver nanoparticles active packaging on the behavior of *Listeria monocytogenes* and other microbial groups during ripening and storage of Canastra cheeses. *Food Control* [Internet]. 2024;166:110742. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713524004596?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110742>
- 19- Sharma S, Byrne M, Perera KY, Duffy B, Jaiswal AK, Jaiswal S. Active film packaging based on bio-nanocomposite TiO₂ and cinnamon essential oil for enhanced preservation of cheese quality. *Food Chem* [Internet]. 2023;405:134798. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814622027601?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134798>
- 20- Suppakul P, Miltz J, Sonneveld K, Bigger SW. Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications. *J Food Sci* [Internet]. 2006;68(2):408–20. Available from: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05687.x> DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05687.x>
- 21- De Oliveira TM, de Fátima Ferreira Soares N, Pereira RM, de Freitas Fraga K. Development and evaluation of antimicrobial natamycin-incorporated film in gorgonzola cheese conservation. *Packag Tech Sci* [Internet];20(2):147–53. 2007. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.756> DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.756>
- 22- Crank J. *The Mathematics of Diffusion*. 2nd ed. Oxford University Press; 1975.
- 23- Andrade MF de, Silva ID de L, Caetano VF, Silva GA da, Moraes Filho LEPT de, Almeida YMB de, et al. Active antimicrobial extruded films for mozzarella cheese from poly (butylene adipate co-terephthalate) (PBAT) and orange oil. *Polímeros* [Internet]. 2023;33(2):e20230017. Available from: <https://www.scielo.br/j/po/a/c5Y3cK7kVC9SwVRpLLPybwN/?lang=en> DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.20220112>
- 24- Bento LM, Silva MCP da, Chaves K da S, Stefani R. Development and Evaluation of a Smart Packaging for the Monitoring of Ricotta Cheese Spoilage. *MOJ food process technol* [Internet]. 2015;1(1):9–11. Available from: <https://medcraveonline.com/MOJFPT/development-and-evaluation-of-a-smart-packaging-for-the-monitoring-of-ricotta-cheese-spoilage.html> DOI: <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2015.01.00004>
- 25- Bonilla J, Sobral PJA. Gelatin-chitosan edible film activated with Boldo extract for improving microbiological and antioxidant stability of sliced Prato cheese. *Int J Food Sci* [Internet]. 2019; 54(5):1617–24. Available from: <https://academic.oup.com/ijfst/article/54/5/1617/7805438> DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfst.14032>
- 26- Doğan N, Doğan C, Eticha AK, Gungor M, Akgul Y. Centrifugally spun micro-nanofibers based on lemon peel oil/gelatin as novel edible active food packaging: Fabrication, characterization, and application to prevent foodborne pathogens *E. coli* and *S. aureus* in cheese. *Food Control* [Internet]. 2022;139:109081. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713522002742> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109081>
- 27- Berti S, Ollé Resa CP, Basanta F, Gerschenson LN, Jagus RJ. Edible coatings on Gouda cheese as a barrier against external contamination during ripening. *Food Biosci* [Internet]. 2019;31:100447. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429218302025?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100447>
- 28- Otero V, Beceril R, Santos JA, Rodríguez-Calleja JM, Nerín C, García-López ML. Evaluation of two antimicrobial packaging films against *Escherichia coli* O157:H7 strains in vitro and during storage of a Spanish ripened sheep cheese (Zamorano). *Food Control* [Internet]. 2014;42:296–302. Available from:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713514000917?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.02.022>
- 29- Al-Moghazy M, Mahmoud M, Nada AA. Fabrication of cellulose-based adhesive composite as an active packaging material to extend the shelf life of cheese. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2020;160:264-75. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813020333730?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.217>.
 - 30- Costa MJ, Maciel LC, Teixeira JA, Vicente AA, Cerqueira MA. Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. *Food Res Int* [Internet]. 2018;107:84-92. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918301066?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.013>.
 - 31- Romero V, Borneo R, Passalacqua N, Aguirre A. Biodegradable films obtained from triticale (x Triticosecalle Wittmack) flour activated with natamycin for cheese packaging. *Food Packag Shelf Life* [Internet]. 2016;10:54-59. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289416301119?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.09.003>.
 - 32- Ollé Resa CP, Gerschenson LN, Jagus RJ. Starch edible film supporting natamycin and nisin for improving microbiological stability of refrigerated argentinian Port Salut cheese. *Food Control* [Internet]. 2016;59: 737-42. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713515300840?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.056>.
 - 33- Pires AC dos S, Soares N de FF, Andrade NJ de, Silva LHM da, Camilloto GP, Bernardes PC. Development and evaluation of active packaging for sliced mozzarella preservation. *Packag Tech Sci* [Internet]. 2008;21(7):375-383. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.815> DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.815>.
 - 34- Ünalın İU, Arcan I, Korel F, Yemenicioğlu A. Application of active zein-based films with controlled release properties to control *Listeria monocytogenes* growth and lipid oxidation in fresh Kashar cheese. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 2013;20:208-214. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856413001306?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.004>.
 - 35- Marques J de L, Funck GD, Dannenberg G da S, Cruxen CE dos S, Halal SLM El, Dias ARG, et al. Bacteriocin-like substances of *Lactobacillus curvatus* P99: characterization and application in biodegradable films for control of *Listeria monocytogenes* in cheese. *Food Microbiol* [Internet]. 2017;63:159-63. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.11.008>
 - 36- Silva SPM, Teixeira JA, Silva CCG. Application of enterocin-whey films to reduce *Listeria monocytogenes* contamination on ripened cheese. *Food Microbiol* [Internet]. 2023;109:104134. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002022001587?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104134>.
 - 37- Artiga-Artigas M, Acevedo-Fani A, Martín-Belloso O. Improving the shelf life of low-fat cut cheese using nanoemulsion-based edible coatings containing oregano essential oil and mandarin fiber. *Food Control* [Internet]. 2017;76:1-12. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713517300014?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.001>.
 - 38- Dannenberg G da S, Funck GD, Cruxen CE dos S, Marques J de L, Silva WP da, Fiorentini ÂM. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. *LWT – Food Sci Technol* [Internet]. 2017;81:314-18. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817302219?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.002>.
 - 39- Seydim AC, Sarikus-Tutal G, Sogut E. Effect of whey protein edible films containing plant essential oils on microbial inactivation of sliced Kasar cheese. *Food Packag Shelf Life* [Internet]. 2020;26:100567. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289420305858?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100567>.
 - 40- Ali EA, Nada AA, Al-Moghazy M. Self-stick membrane based on grafted gum Arabic as active food packaging for cheese using cinnamon extract. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2021;189:114-23. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014181302101730X> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.071>.
 - 41- Panfil-Kuncewicz H, Lis A, Majewska M. The use of oxygen absorbers for packaging ripened cheese. *Pol J Nat Sci* [Internet]. 2015;30(3):285-95. Available from: <https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-b4d24a0a-2711-46aa-9528-e71a6e946270>.
 - 42- Singh A, Khamrai M, Samanta S, Kumari K, Kundu PP. Microbial, Physicochemical, and Sensory Analyses-Based Shelf-Life Appraisal of White Fresh Cheese

- Packaged into PET Waste-Based Active Packaging Film. *J Packag Technol Res* [Internet]. 2018;2:125–47. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41783-018-0034-5> DOI: <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0034-5>.
- 43- Freire TT, Silva ALT e, Ferreira BKO, Santos TM dos. Bactérias ácido lácticas suas características e importância: revisão. *Res, Soc Dev* [Internet]. 2021;10(11):e513101119964. Available from: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19964> DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19964>.
- 44- Santacruz S, Castro M. Viability of free and encapsulated *Lactobacillus acidophilus* incorporated to cassava starch edible films and its application to Manaba fresh white cheese. *LWT – Food Sci Technol* [Internet]. 2018;93:570–72. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818303220?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.016>.
- 45- Yang CS, Ho CT, Zhang J, Wan X, Zhang K, Lim J. Antioxidants: Differing Meanings in Food Science and Health Science. *J Agric Food Chem* [Internet]. 2018;66(12):3063–8. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.7b05830> DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05830>.
- 46- Salem A, Jridi M, Abdelhedi O, Fakhfakh N, Nasri M, Debeaufort F, et al. Development and characterization of fish gelatin-based biodegradable film enriched with *Lepidium sativum* extract as active packaging for cheese preservation. *Heliyon* [Internet]. 2021;10(7):e08099. Available from: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)02202-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021022027%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)02202-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021022027%3Fshowall%3Dtrue) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08099>.
- 47- Soto-Cantú CD, Graciano-Verdugo AZ, Peralta E, Islas-Rubio AR, González-Córdova A, González-León A, et al. Release of Butylated Hydroxytoluene from an Active Film Packaging to Asadero Cheese and Its Effect on Oxidation and Odor Stability. *J dairy sci* [Internet]. 2008;91(1):11–19. Available from: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(08\)71432-2/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(08)71432-2/fulltext) DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0464>.
- 48- Wang Q, Yu H, Tian B, Jiang B, Xu J, Li D, et al. Novel Edible Coating with Antioxidant and Antimicrobial Activities Based on Whey Protein Isolate Nanofibrils and Carvacrol and Its Application on Fresh-Cut Cheese. *Coatings* [Internet]. 2019;9(9):583. Available from: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(08\)71432-2/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(08)71432-2/fulltext) DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings9090583>.
- 49- Oliveira AC de, Valentim IB, Goulart MOF, Silva CA, Bechara EJH, Trevisan MTS. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. *Quím Nova* [Internet]. 2009;32(3):689–702. Available from: <https://www.scielo.br/j/qn/a/D7W5ZmntbhMyt5G9FNwvpLr/?lang=pt> DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300013>.
- 50- Mushtaq M, Gani A, Gani A, Punoo HA, Masoodi FA. Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 2018;48:25–32. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856417300188?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.020>.
- 51- O' Callaghan KAM, Kerry JP. Consumer attitudes towards the application of smart packaging technologies to cheese products. *Food Packag Shelf Life* [Internet]. 2016;9:1–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289416300333?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.05.001>.
- 52- Wang C, Yusufu D, Mills A. A smart adhesive “consume within” (CW) indicator for food packaging. *Food Packag Shelf Life* [Internet]. 2019;9:100395. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289419304326?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100395>.
- 53- Pirsá S, Karimi Sani I, Pirouzifard MK, Erfani A. Smart film based on chitosan/Melissa officinalis essences/pomegranate peel extract to detect cream cheeses spoilage. *Food Addit Contam* [Internet]. 2020;37(4):634–48. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19440049.2020.1716079> DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1716079>.
- 54- O'Mahony FC, O'Riordan TC, Papkovskaia N, Kerry JP, Papkovsky DB. Non-destructive assessment of oxygen levels in industrial modified atmosphere packaged cheddar cheese. *Food Control* [Internet]. 2006;17(4):286–92. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713504002464?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.10.013>.
- 55- Kritchenkov AS, Egorov AR, Yagafarov NZ, Volkova O V., Zabodalova LA, Suchkova EP, et al. Efficient reinforcement of chitosan-based coatings for Ricotta cheese with non-toxic, active, and smart nanoparticles.

Prog Org Coat [Internet]. 2020;145:105707. Available from:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944020301545?via%3Dihub> DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105707>.

- 56- Youssef AM, El-Sayed SM, Salama HH, El-Sayed HS, Dufresne A. Evaluation of bionanocomposites as packaging material on properties of soft white cheese during storage period. Carbohydr Polym [Internet]. 2015;132:274–85. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861715005846?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.075>.
- 57- Amjadi S, Emaminia S, Nazari M, Davudian SH, Roufegarinejad L, Hamishehkar H. Application of Reinforced ZnO Nanoparticle-Incorporated Gelatin Bionanocomposite Film with Chitosan Nanofiber for Packaging of Chicken Fillet and Cheese as Food Models. Food Bioproc Tech [Internet]. 2019;7:1205–19. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-019-02286-y> DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02286-y>.
- 58- Zhang R, Wang B, Zhang F, Zheng K, Liu Y. Milk-derived antimicrobial peptides incorporated whey protein film as active coating to improve microbial stability of refrigerated soft cheese. Int J Food Microbiol [Internet]. 2024;419:110751. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160524001958?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110751>.