

## DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS BIOATIVAS PARA PROLONGAR A VIDA ÚTIL DE CARNES: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Ana Caroline Romão da Silva<sup>1</sup>, Júlia de Fátima Romão Silva<sup>2</sup>, Marieli de Lima<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO, Brasil

<sup>2</sup>Pós-graduanda em Controle de Qualidade de Alimentos, UNIUBE, Patos de Minas – MG, Brasil

<sup>3</sup>Docente do curso de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas – MG, Brasil  
(marieli@ufu.br)

**Resumo:** Realizou-se uma revisão bibliométrica sobre o uso de embalagens bioativas para prolongar a vida útil de carnes nos últimos 5 anos. Nos 41 estudos encontrados, observou-se predominância de biomateriais vegetais e incorporação de óleos essenciais, cujas atividades antioxidantes e antimicrobianas, são alternativas às embalagens à base de petróleo. Ademais, a redução do impacto ambiental, o aumento da vida útil da carne e a manutenção de suas características incentivam a ampliação desta tecnologia.

**Palavras-chave:** antioxidante; atividade antimicrobiana; biopolímeros; quitosana

### INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, a produção de carne triplicou em todo o mundo. Impulsionada pela economia mundial, a demanda de carne continua a crescer atualmente, com os países economicamente desenvolvidos consumindo grande quantidade desse alimento. Essa tendência alimentar tem gerado preocupações quanto aos possíveis impactos ambientais. A pecuária industrial tem um profundo impacto sustentável, com 80 bilhões de animais abatidos a cada ano para alimentação (Ritchie, Rosado e Roser, 2019).

De acordo com Karwowska, Łaba e Szczepáński (2021), as perdas e desperdícios de alimentos são um dos problemas mais graves do mundo moderno. No setor da carne, parece ser de particular importância em termos de aspectos econômicos e ambientais. Os resultados abrangentes mais recentes referem-se a perdas em 2011 e indicam que 23% da produção no setor de carnes é perdida e desperdiçada. Dessa porcentagem, a maior parte é gerada a nível de consumo (64%), seguida pela manufatura (20%), distribuição (12%) e produção primária (3,5%).

Nesse contexto, com enormes quantidades de recursos alimentares sendo desperdiçadas anualmente devido à contaminação microbiana e oxidação, destaca-se o papel crucial de embalagens de alimentos eficazes na prevenção dessas perdas. Essas embalagens possuem diversas vantagens além da atividade antimicrobiana e antioxidante, como a boa resistência mecânica e à fadiga e alta retenção de água, diferente do observado

em embalagens tradicionais de alimentos (Xie et al., 2023; Yu et al., 2024).

Dessa forma, materiais bioativos incorporados na fabricação de embalagens a base de biopolímeros são alternativas promissoras para a conservação de carne (Shi et al., 2024). Dentre os compostos utilizados no desenvolvimento de embalagens bioativas para a conservação de carnes, tem-se a *Ginkgo biloba* (Ma et al., 2025), *Moringa oleifera* (Moudache et al., 2025), *Lycium barbarum* (Xie et al., 2023) e diversos óleos essenciais (Kulawik et al., 2025; Mouhoub et al., 2024; Shen et al., 2022).

Os compostos bioativos apresentam diversas propriedades de interesse, como atividade antioxidante, antimicrobiana e a resistência a temperaturas e adversidades, o que têm corroborado no aumento de pesquisas desenvolvidas sobre sua aplicação nos materiais de embalagens para alimentos. As vantagens dessa tecnologia, aliada à necessidade de redução a impactos ambientais provocados pela indústria cárnea tornam embalagens bioativas uma estratégia interessante para garantir a sustentabilidade do setor, visto que a incorporação de compostos bioativos em embalagens biodegradáveis tem sido explorada nos últimos anos (Eshaghi et al., 2024; Kulawik et al., 2025; Moudache et al., 2025).

O presente estudo foi realizado com o objetivo de apresentar uma revisão bibliométrica da literatura dos últimos cinco anos sobre o desenvolvimento e a

utilização de tecnologias de embalagens bioativas na vida útil de carnes.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo trata-se de uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa e exploratória. Foi realizada uma revisão integrativa de literatura guiada pela seguinte questão norteadora: “Quais os impactos da utilização de tecnologias de embalagens bioativas na vida útil de carnes?”. O levantamento de dados foi realizado no período de abril a junho de 2025.

Para tanto, uma pesquisa na base de dados *Web of Science* foi realizada utilizando as palavras-chave: “*bioactive packaging*” e “*meat*”, combinadas ao operador booleano “AND” para otimizar a busca.

Os critérios de inclusão foram: artigos científicos completos publicados nos últimos cinco anos (2021-2025) e disponíveis em inglês. Os artigos considerados elegíveis foram avaliados quanto ao tema principal, título, resumo e palavras-chave. Foram excluídos artigos de revisão. Por fim, os artigos experimentais selecionados foram avaliados na íntegra.

As etapas de busca para realização da revisão bibliométrica estão expostas na Figura 1.

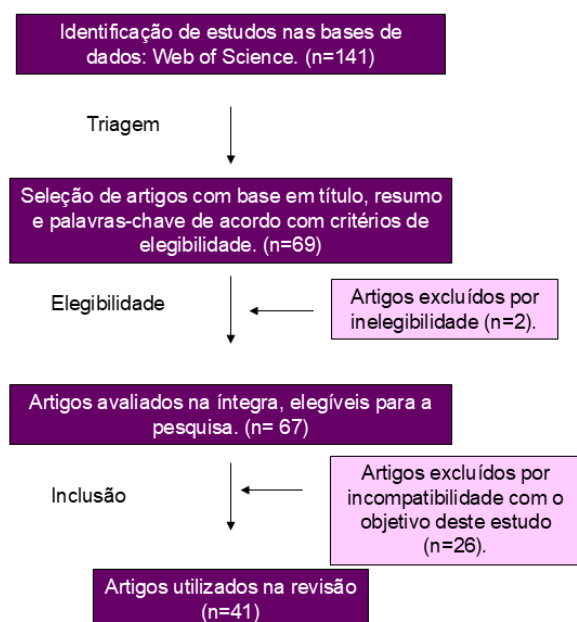


Figura 1 - Fluxograma das etapas de pesquisa para a revisão de literatura.

O mapa de co-ocorrência foi construído a partir do software VOSviewer (versão 1.6.20). Nessa etapa, foram utilizadas as 30 palavras-chaves que mais apareceram na pesquisa. É importante salientar que os termos aparecem no mapa em tamanhos diferentes, de acordo com a quantidade de vezes em que apareceu nos estudos científicos e a proximidade entre os itens mostra seu grau de relação.

## ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Dentre as palavras-chaves mais buscadas acerca da utilização de tecnologias de embalagens bioativas na vida útil de carnes, o mapa de co-ocorrência (Figura 2) mostra que o termo mais relatado durante o período estudado foi “antioxidante”, em segundo lugar, a palavra-chave “quitosana” e em terceiro tem-se o termo “qualidade”. Destaca-se ainda a relevância dos termos “óleo essencial”, “carne”, “compostos bioativos” e “vida útil”.

O termo “antioxidante” foi a palavra-chave mais utilizada nos trabalhos encontrados, com 37 ocorrências. De acordo com Nayak et al. (2025), o uso de compostos antioxidantes e antibacterianos nesses filmes oferece uma alternativa sustentável e eficaz aos materiais de embalagem sintéticos tradicionais. Além disso, segundo Arora et al. (2025), a composição das embalagens bioativas proporciona atividade antioxidante contínua durante o armazenamento, mantendo os atributos sensoriais, o valor nutricional e a segurança dos bolinhos de frango, aumentando assim sua vida útil.

Embalagens a base de quitosana têm ganhado destaque em diversos estudos nos últimos anos (Chen et al., 2024; Ghaderi et al., 2024; Giannakas et al., 2021; Kulawik et al., 2025; Rincón et al., 2023; Xavier et al., 2021). Além disso, esse composto tem sido estudado em combinação com óleos essenciais, como o orégano (Kulawik et al., 2025; Shen et al., 2022), a canela (Chen et al., 2024), o manjerico (Giannakas et al., 2021), argemônio e cravo (Stoleru et al., 2021) e a pimenta (Xavier et al., 2021). Ainda, um experimento de Mouhoub et al. (2024) revelou que o filme de quitosana adicionado de uma mistura de óleos essenciais poderia ser utilizado como revestimento de superfície ou embalagem bioativa na indústria alimentícia.

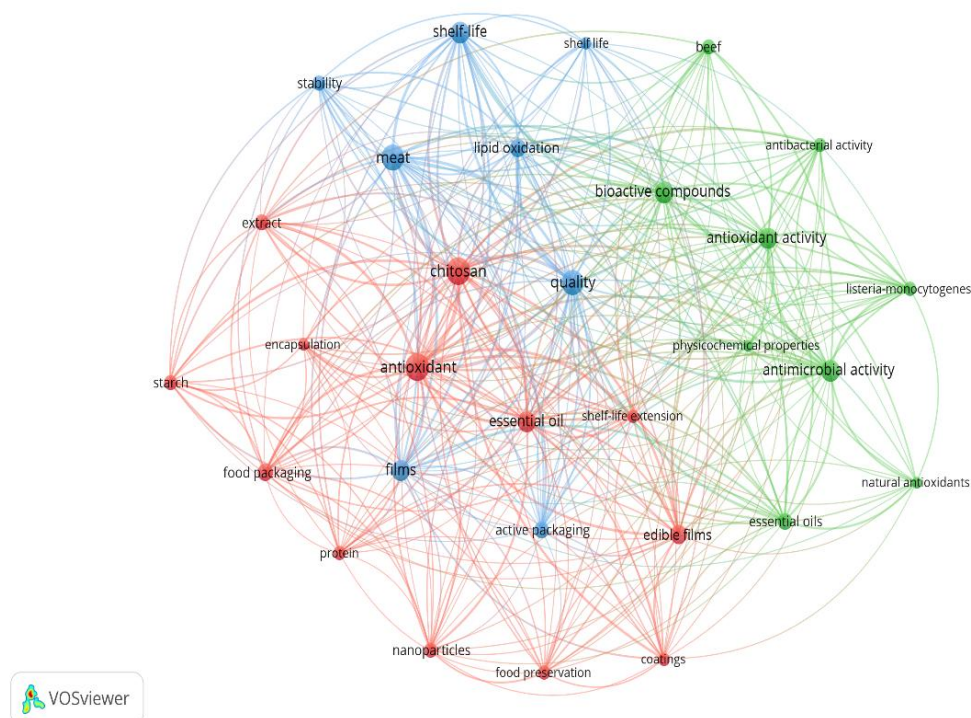


Figura 2 - Mapa de co-ocorrência de palavras-chave gerado pelo software VOSviewer.

Considerando-se a área de conhecimento (Figura 3) das publicações encontradas durante a busca na base de dados, observou-se que uma maioria expressiva das pesquisas está compreendida nas áreas de Ciência e tecnologia de alimentos (42,15%), Química (22,55%) e Bioquímica e biologia molecular (14,21%). Esse dado mostra uma tendência na busca para descobrir novos compostos bioativos que possam ser aplicados de maneira eficiente como revestimentos para carnes, suas características químicas e biológicas.

Após aplicados os critérios de busca descritos na metodologia, observou-se um total de 21 periódicos científicos de relevância quanto ao tema pesquisado. Desses, destaca-se o *International Journal of Biological Macromolecules* (Figura 4), responsável pela publicação de 34,14% dos estudos utilizados na presente revisão.

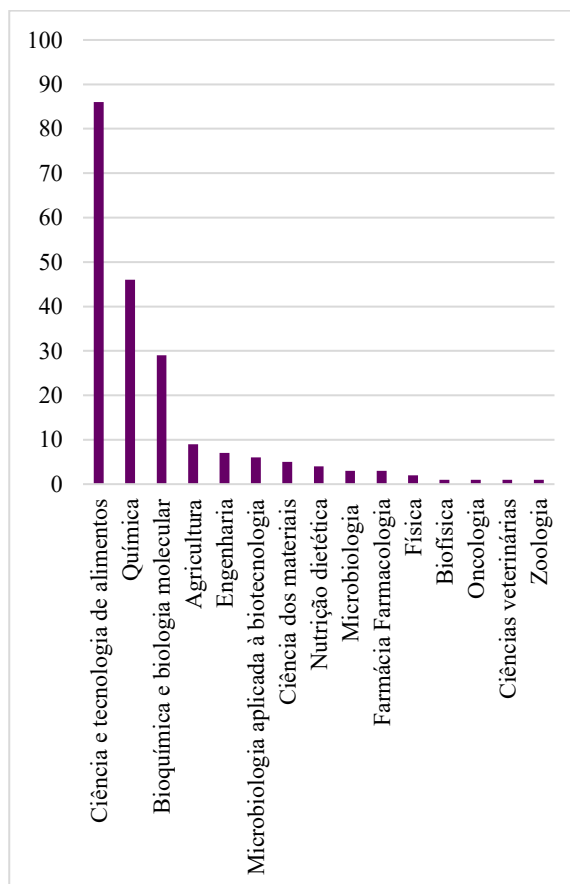


Figura 3 – Gráfico do número de publicações sobre a utilização de embalagens bioativas em carnes de acordo com a área de conhecimento.

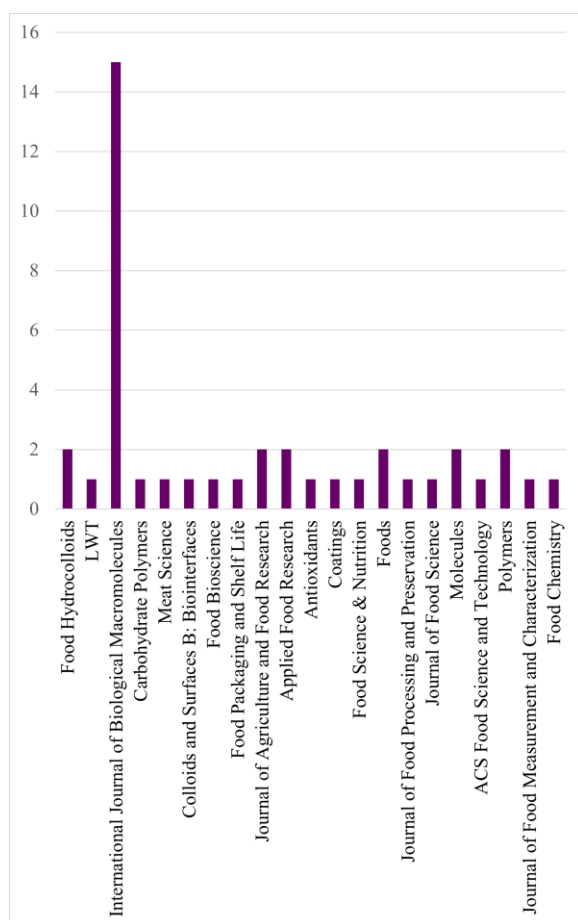


Figura 4 – Gráfico da quantidade de publicações sobre a utilização de embalagens bioativas em carnes de acordo por revista.

Considerando o ano de publicação dos artigos científicos avaliados, observou-se que nos últimos anos (2024 e 2025) há um interesse crescente acerca do tema (Figura 5). Além disso, as publicações realizadas até junho de 2025 já se equiparam ao total de publicações feitas em 2024. Isso demonstra um interesse no potencial antimicrobiano e antioxidante das embalagens bioativas para a conservação de carnes.

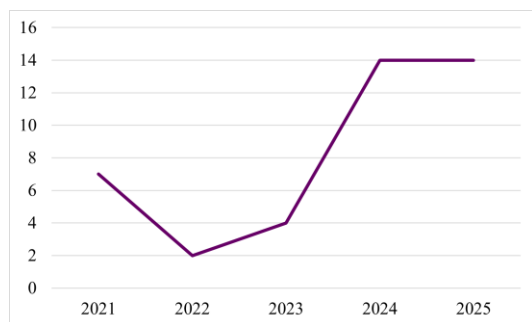


Figura 5 – Número de trabalhos publicados no período de 2021 a 2025.

## DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE EMBALAGENS BIOATIVAS EM CARNES

Estudos recentes têm desenvolvido embalagens bioativas com potentes propriedades antibacterianas, biodegradabilidade, hidrofobicidade e estabilidade térmica (Shi et al., 2024). Resultados promissores quanto à inibição da deterioração da cor e do crescimento microbiano, retardando a oxidação de gordura e proteína, têm sido observados (Lawal et al., 2025; Ma et al., 2025; Sganzerla et al., 2021; Xavier et al., 2021). Esses resultados impactam diretamente no aumento da vida útil das carnes, melhorando a qualidade e a economia do setor (Kulawik et al., 2025; Ma et al., 2025; Moudache et al., 2025).

Irimia et al. (2021) aplicaram óleos vegetais no desenvolvimento de materiais bioativos à base de papel para embalagens de alimentos. Em testes com carne bovina observaram que o óleo essencial de cravo apresentou maior atividade antioxidante (devido ao alto teor de eugenol e compostos fenólicos de acetato de eugenol) e foi mais eficiente na redução do crescimento bacteriano. Enquanto o óleo de semente de rosa mosqueta prensado a frio atuou como um agente antibacteriano ligeiramente superior contra as cepas bacterianas *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* e *E. coli*. Com esses resultados, o papel bioativo desenvolvido mostrou ser eficaz como material de embalagem.

Boeira et al. (2021) desenvolveram um filme ativo inovador contendo extrato de resíduo de estigma de milho, gelatina, glicerol e amido de milho para conservação de carne refrigerada. Nesse estudo, a aplicação do extrato de resíduo de estigma de milho melhorou as propriedades bioativas e antioxidantes do revestimento, além de reduzir a oxidação lipídica. O filme ativo também mostrou atividade antimicrobiana contra mesófilos e psicrotróficos, contribuindo para a redução desses microrganismos após 3 dias de armazenamento.

A zeína, uma proteína vegetal encontrada principalmente no endosperma do milho, tem sido utilizada para a confecção de embalagens bioativas. Um estudo realizado por Ali et al. (2023) mostrou o desenvolvimento de bio-nanocompósitos ativos de gelatina de peixe/carragenina/zeína incorporados com óleo essencial de cúrcuma com o objetivo de preservar a qualidade de carne de frango. O produto foi capaz de reduzir a contagem microbiana de *Salmonella enterica* em 3,85 log UFC/g após 14 dias de incubação.

Xavier et al. (2021) propuseram uma embalagem de quitosana funcionalizada com zeína carregada com óleo essencial de pimenteira (*Cinnamodendron dinisii*) para a conservação de carne. O filme obtido mostrou capacidades antioxidante e antimicrobiana interessantes, sendo eficiente na conservação de carne bovina moída refrigerada, estabilizando as reações de





deterioração e preservando a cor. Ademais, os filmes inibiram o crescimento de *Salmonella typhimurium* e *Shigella flexneri*, importantes no contexto da saúde pública.

Ação antimicrobiana semelhante foi observada por Lawal et al. (2025) que desenvolveram uma embalagem com nanocristais de celulose e polifenóis extraídos de sementes de tâmara, obtidos a partir de extratos verdes e observaram atividade antimicrobiana em diversos microrganismos (*Staphylococcus aureus*, *E. coli*, *Salmonella typhimurium* e *Listeria monocytogenes*). Além disso, em comparação com embalagens plásticas convencionais, o filme bioativo manteve a qualidade da carne, preservando o pH, a cor e a estabilidade lipídica, além de retardar a deterioração microbiana.

A tâmara também foi utilizada em estudo de Elhadeh et al. (2024). Os autores propuseram um filme de embalagem de gelatina-alginato de sódio com extrato de caroços de tâmara com concentrações que variaram entre 0,37% e 1,5% para a conservação de carne moída fresca, mostrando que os extratos vegetais estão entre as fontes biosseguras que preservam a qualidade dos alimentos.

Outras fontes vegetais, como a goiaba (Velarde et al., 2025) e a chia (Eskandari et al., 2025), também foram estudadas na fabricação de embalagens bioativas. Durante o armazenamento, o biofilme contendo extrato de folha de goiaba demonstrou redução no crescimento microbiano, o que melhorou a estabilidade da cor da carne bovina (Velarde et al., 2025). A atividade antimicrobiana também foi observada quando a semente de chia foi associada a nanoemulsões de *Cinnamomum zeylanicum* e *Satureja khuzestanica* para obtenção de embalagens para peito de frango (Eskandari et al., 2025).

O extrato de casca de beterraba foi estudado nas concentrações de 0,25%, 0,5% e 1,0% e incorporado em uma matriz de alginato de sódio por Chaari et al. (2022). Nesse estudo, observou-se que durante 14 dias de armazenamento a 4 °C o revestimento bioativo limitou a deterioração microbiana, realçou a cor instrumental, retardou a oxidação química e melhorou as características sensoriais. Efeito este que aumentou progressivamente com o aumento da concentração de casca de beterraba utilizada. Esses efeitos são causados principalmente pelos antioxidantes e compostos antimicrobianos presentes no filme de extrato da casca da beterraba.

Em outra pesquisa, Khalid et al. (2024) utilizaram carboximetilcelulose incorporando extrato de romã nanoformulado para embalagem de carne bovina e de frango. A vida útil das carnes avaliadas se estendeu por 12 dias, em condições refrigeradas (4 °C). Foi observada uma importante atividade antimicrobiana no estudo, onde na concentração de 0,625 mg/mL, o

revestimento inibiu o crescimento de *S. typhimurium* e *C. jejuni* em 86%. Vale ressaltar que os resultados encontrados foram corroborados por avaliações microbiológicas, físico-químicas e sensoriais. Portanto, de acordo com os autores, o filme produzido pode ser utilizado em escala industrial como um novo método para melhorar a qualidade da carne bovina e de aves fresca, prevenindo a deterioração microbiana, bem como a oxidação, durante o armazenamento refrigerado.

Em contrapartida, Cabeza de Vaca et al. (2024) aplicaram filmes antioxidantes de ácido polilático/poli-hidroxibutirato (PLA/PHB) contendo extrato de farelo de arroz para a preservação de carne suína fresca e observaram que as embalagens desenvolvidas com diferentes níveis de extratos de farelo de arroz apresentaram atividade antioxidante *in vitro*, mas não apresentaram efeito antimicrobiano contra o desenvolvimento de alguns patógenos (*E. coli* e *Listeria monocytogenes*). Os efeitos antioxidantes dos biofilmes em carne suína fresca foram ineficazes, e, de acordo com os autores, altas doses de extrato podem ser prejudiciais ao controle microbiano.

É importante reiterar que uma propriedade de grande importância no desenvolvimento de embalagens bioativas é a capacidade de estender a vida útil da carne. Arora et al. (2025) desenvolveram um filme de álcool polivinílico reforçado com casca de ervilha para embalagem ativa de almôndegas de frango capaz de estender a vida útil para 15 dias, mantendo uma qualidade aceitável para consumo. Semelhante ao observado por Elhadeh et al. (2024), que conseguiram estender a vida útil de carne bovina refrigerada por 14 dias utilizando embalagem a base de gelatina-alginato de sódio com extrato de caroços de tâmara.

Para além, Sganzerla et al. (2021) aplicaram filmes biodegradáveis produzidos com amido, pectina cítrica e funcionalizados com extratos de goiaba (*Acca sellowiana* (Berg) Burret) em carne bovina moída e observaram que os filmes forma capazes de reduzir a oxidação lipídica durante o armazenamento (-18 °C) por seis meses. Nesse sentido, verificou-se que os compostos bioativos podem ser liberados dos filmes, prevenindo reações de oxidação lipídica e estabilizando radicais livres, aumentando a vida útil da carne.

Um estudo com o objetivo de produzir um filme de amido de *Dioscorea zingiberensis* carregado com óleo essencial de orégano com atividade antioxidante e antibacteriana para conservação de frango mostrou forte atividade antimicrobiana para *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* quando o óleo essencial de orégano foi utilizado na concentração de 3%. Além disso, foi capaz de reduzir a contagem total viável de frango fresco em condições de conservação a 4 °C. Assim, os resultados obtidos



nesse estudo aliados à facilidade de obtenção do orégano, tornam essa tecnologia promissora.

Chen et al. (2024) desenvolveram esteiras de esponja bioativas compostas por celulose bacteriana oxidada e microcápsulas de quitosana e goma arábica, carregados com óleo essencial de canela para melhorar a conservação da carne suína resfriada. O produto obtido apresentou altas propriedades antioxidantes (atingindo até 90%) e antibacterianas, particularmente na fase gasosa (até 65%). Além disso, a aplicação da esponja preparada para a preservação da carne foi capaz de manter o frescor e estender a vida útil da carne de 4 dias para cerca de 10 dias sob 4 °C, o que é significativamente melhor quando comparado a produtos semelhantes disponíveis comercialmente.

Estudo de Nayak et al. (2024) avaliou o potencial combinatório de mangiferina e sementes de jujuba como uma embalagem sustentável na preservação de carne de aves. As capacidades antioxidantes do filme em termos de atividade de sequestro de radicais DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) e atividade de sequestro de nitrito foram de 95,93 e 56,70%, respectivamente. O filme fabricado apresentou atividade antimicrobiana contra organismos deteriorantes de carne, como *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus subtilis*. Além disso, protegeu a carne contra a peroxidação lipídica, oxidação de proteínas e oxidação da mioglobina quando mantido por um período de 6 dias a 4 °C.

Kulawik et al. (2025) avaliaram os efeitos de mini/nano emulsões de quitosana/furcelarana de tripla camada com óleo essencial de orégano e peptídeo bioativo LL37 na vida útil de lombo suíno através da técnica de eletropulverização. A carne estudada foi armazenada em condições de refrigeração (4 °C) e congelamento (-20 °C) por 18 dias e 6 meses, respectivamente. Dessa forma, os autores observaram que os revestimentos foram capazes de inibir leveduras e fungos, bactérias aeróbias totais e *Pseudomonas* spp. em até 3,46, 4,40 e 5,16 log UFC/g, respectivamente, em comparação com o controle a 4 °C.

Os achados de Kulawik et al. (2025) mostram-se relevantes, pois as mini/nano emulsões multicamadas inibiram significativamente o crescimento de microrganismos de importância na indústria cárnea e melhoraram a qualidade sensorial durante o armazenamento. Nesse sentido, constatou-se que esses revestimentos podem ser efetivamente usados para a preservação de carnes e produtos cárneos, prolongando a segurança e a qualidade desses alimentos e estendendo sua vida útil.

Karabulut e Goksen (2025) desenvolveram filmes biopoliméricos de pectina-gelatina com extratos de *Chlorella vulgaris* para aplicações em embalagens alimentícias. Testes realizados em amostras de peito

de frango mostraram que as embalagens apresentaram importante atividade antimicrobiana e retardaram o aumento do pH, proporcionando melhor estabilidade e evitando a deterioração da carne. Além disso, os filmes produzidos reduziram a oxidação lipídica em até 41,42%, refletindo os efeitos antioxidantes dos fenólicos de *C. vulgaris*.

Um estudo de Moudache et al. (2025) buscou aprimorar a atividade antioxidante e a estabilidade de bioembalagens de alimentos enriquecidas com extrato de *Moringa oleifera* para aumentar a vida útil da carne moída. Nesse experimento, os autores observaram que o extrato de folhas de *M. oleifera* possui boa atividade antioxidante e antimicrobiana. Sua incorporação em filmes de amido melhora sua atividade antioxidante e estabilidade, prolongando a vida útil da carne embalada e sugerindo uma maneira promissora de aprimorar a preservação de alimentos.

Bactérias com propriedades bioativas vem sendo testadas na fabricação de embalagens. Utilizando celulose bacteriana e metabólitos bioativos derivados de *Lactobacillus sakei*, Rasouli et al. (2021) buscaram desenvolver uma embalagem de filme anti-*Listeria*. Através de experimentos realizados em hambúrguer de búfalo, os autores observaram que ao associar a tecnologia ao ultrassom (40 kHz) ocorreu uma redução de 2,3 log UFC/g na contagem bacteriana durante o armazenamento (9 dias a 8 °C). Semelhante ao observado por Nemati et al. (2025) que desenvolveram um revestimento da goma persa (goma zedo) contendo *Lactobacillus sakei* capaz de prolongar a vida útil de carne bovina refrigerada em oito dias.

De acordo com Nemati et al. (2025), no estudo supracitado, os resultados da análise microbiana revelaram que a qualidade da carne melhorou significativamente na presença de revestimentos de *L. sakei*. Além disso, os revestimentos contendo *L. sakei* reduziram significativamente as contagens microbianas de bactérias mesófilas, psicrófilas e Enterobacteriaceae. Os autores ainda ressaltaram que a aceitabilidade geral, a textura, o odor e a cor foram significativamente maiores nos grupos revestidos com *L. sakei* do que nos demais grupos, indicando que a qualidade e a segurança da carne foram aprimoradas.

Barzegar et al. (2025) relataram o desenvolvimento de revestimento ativo para embalagens com mucilagem de *Lallemantia iberica* e pós-bióticos *Lactocaseibacillus rhamnosus* SMHA30 para preservação de carne bovina. Os revestimentos prolongaram significativamente a vida útil da carne, reduzindo as contagens de bactérias totais e psicrotóxicas, além de minimizar efetivamente a oxidação lipídica.

Abbasi et al. (2023) desenvolveram uma embalagem comestível para a preservação de carne de cordeiro



utilizando mucilagem de polissacarídeo de semente de *Malva sylvestris* e pós-biótico de levedura *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* e observaram que o revestimento foi capaz de manter as qualidades nutricionais e sensoriais da carne durante o armazenamento, além de apresentar forte atividade antimicrobiana contra microrganismos importantes (*Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* e *Listeria innocua*).

Outro estudo buscou desenvolver uma embalagem bioativa para carne de carneiro. Nesse trabalho, os autores avaliaram flavonoides microencapsulados de folhas de *Lycium barbarum* e nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e observaram que esses compostos aumentaram efetivamente a resistência mecânica, a barreira UV, a liberação controlada, a estabilidade térmica, as propriedades antimicrobianas e antioxidantes do filme produzido. Adicionalmente, foi capaz de inibir significativamente o crescimento de microrganismos e a deterioração química da carne avaliada, mostrando potencial como embalagem bioativa (Xie et al., 2023).

Khan et al. (2024) desenvolveram uma embalagem biodegradável utilizando extrato de raiz de valeriana estabilizado com nanocelulose bacteriana e goma Karaya para a preservação da carne de cordeiro. Os filmes produzidos apresentaram um efeito conservante significativo, reduzindo o pH, o nitrogênio básico volátil total, as substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e o valor da contagem viável total da carne, mantendo sua textura e cor durante o período de armazenamento de 9 dias a 4 °C.

Por outro lado, Şengül e Şen (2025) elaboraram filmes comestíveis à base de κ-carragenina enriquecidos com resveratrol ou quercetina para prolongamento da vida útil de hambúrgueres de carne de cabra. Apesar da capacidade antioxidante observada e do retardamento na oxidação lipídica, não foram observadas zonas de inibição contra *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ou *Salmonella Typhimurium* quando se utilizou o resveratrol. No entanto, os hambúrgueres revestidos com os filmes de quercetina mantiveram melhor a cor inicial, provocaram um retardamento efetivo da oxidação lipídica, além de inibir o crescimento microbiano, mantendo as contagens total de bactérias aeróbias mesófilas abaixo de 10 UFC/g no 14º dia.

Lang et al. (2025) produziram filmes bioativos de extrato de casca de maçã silvestre (*Mulus asiatica Nakai*) enriquecidos com amido de batata/κ-carragenina para a preservação de carnes, que exibiram uma forte atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Além disso, o nível de oxidação lipídica da carne suína embalada foi reduzido, sugerindo pode ser utilizado

para a conservação de carne suína e prolonga sua vida útil.

Estudos tem relatado também a fabricação de sistema de embalagem termoplásticas para alimentos com infusão de nanopartículas de camada dupla, para preservação de carne de carneiro. Chandrasekar et al. (2024) utilizaram nanopartículas de FeO e ZnO como potenciais ingredientes na produção de embalagens bioativas. Esses compostos foram examinados quanto às suas altas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Assim, os filmes biotermoplásticos infundidos com nanopartículas de FeO apresentaram alta atividade de sequestro de oxigênio com baixo nível de transferência de oxigênio. Enquanto os filmes biotermoplásticos infundidos com nanopartículas de ZnO apresentaram alta atividade antimicrobiana. Nesse contexto, foram combinados para formar um sistema de embalagem nanobiotermoplástico de dupla camada para preservação de alimentos capaz de estender a vida útil de carnes.

Para carne fresca de peixe, Eshaghi et al. (2024) desenvolveram uma embalagem à base de carboximetilcelulose, goma de mirra, nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e óleo essencial de endro. O produto obtido aumentou significativamente a vida útil de amostras de filés de peixe refrigeradas por 12 dias, inibindo o crescimento microbiano e reduzindo a taxa de oxidação em comparação com a amostra de controle. Além disso, os autores enfatizam a importância da substituição de polímeros sintéticos por biopolímeros, crucial para a proteção do meio ambiente.

A tecnologia de embalagens bioativas tem sido aplicada também a carnes exóticas. Faradonbeh et al. (2024) desenvolveram um revestimento ativo para embalagens à base de mucilagem de semente de *Ocimum basilicum* e extrato de *Hypericum perforatum* para conservação de carne de avestruz. Reduções significativas na contagem viável total, psicrotróficos, coliformes e fungos foram observadas. Adicionalmente, as amostras revestidas apresentaram menor diferença total de cor e maior teor de umidade, dureza e aceitação geral durante o armazenamento. Assim, mostrando ser altamente eficaz na melhoria da vida útil da carne de avestruz.

Estudo de Ghaderi et al. (2024) também compreendeu o desenvolvimento de uma embalagem sustentável para a conservação de carne de avestruz. Nesse experimento, foram fabricados filmes nanocompósitos de gelatina/quitosana carregados com nanoemulsões de *L. nobilis*. O filme inibiu o crescimento dos microrganismos testados (contagem total viável, psicrotróficos, coliformes, *Salmonella*, *E. coli*, *S. aureus*) e reduziu a oxidação da amostra. Além disso, apresentou efeito conservante durante um período de armazenamento de 28 dias.



Quanto à produção de hidrogel como embalagem bioativa, Yu et al. (2024) produziram uma estrutura de rede interpenetrante completa de um hidrogel de nanocelulose, com excelentes propriedades de tração, capacidade de autorreparação, alta retenção de água e resistência à fadiga. O produto foi capaz de estender a vida útil do frango refrigerado para 10 dias quando associado a um composto bioativo (ácido tânico), conferindo-lhe atividade antimicrobiana.

Um estudo foi guiado com embalagens em atmosfera modificada. Nesse contexto, Mahmud et al. (2024) desenvolveram uma película de gelatina reticulada com riboflavina ativada por UV-C com nanoemulsão bioativa para melhor preservação de carne bovina fresca. O material obtido foi capaz de estender a vida útil da carne em 20 dias, devido ao seu forte efeito antimicrobiano. Além disso, as embalagens preservaram a vermelhidão da carne e retardaram a oxidação lipídica.

A combinação dessa tecnologia com ultrassom foi testada por Huda et al. (2025), que desenvolveram uma embalagem biodegradável à base de gelatina assistida por ultrassom, incorporado com extrato de cúrcuma para prolongar a vida útil de carne moída de frango. Os autores observaram que os filmes tratados exibiram fortes propriedades físicas e mecânicas, com robusta resistência a UV e vapor d'água, indicando que a sonicação tem potencial para desenvolver a estrutura robusta dos filmes. Nesse contexto, o filme de embalagem à base de cúrcuma pode ser usado como uma alternativa adequada ao material de embalagem tradicional à base de petróleo e como uma forma sustentável de preservação de carne em um contexto de economia circular.

Em adição, Nayak et al. (2025) produziram uma embalagem composta de filme de amido com trietanolamina e derivados de chalcona e, de acordo com os autores, o produto foi capaz de manter as qualidades sensoriais da carne, que corresponderam às preferências do consumidor. Além disso, devido às suas propriedades bioativas e comestíveis oferece uma alternativa sustentável às embalagens plásticas, com uma pegada de carbono menor do que os materiais à base de petróleo.

Um ponto crucial dentre os diversos experimentos avaliados é a necessidade de se implementar processos e materiais considerados ecologicamente corretos. Nesse sentido, Moudache et al. (2025) destacam que o desenvolvimento e utilização de embalagens bioativas pode contribuir para a solução dos problemas de poluição ambiental causados por embalagens de alimentos não biodegradáveis à base de petróleo. Ideia corroborada por Kulawik et al. (2025) que enfatizaram a importância da redução do desperdício de alimentos através do uso dessas tecnologias de embalagens.

Avaliando-se os resultados dos estudos selecionados para a presente revisão, observa-se que as embalagens bioativas têm mostrado capacidade de estender a vida útil de carnes por até 28 dias. Além disso, parece não comprometer as características sensoriais do produto, conservando o sabor, odor e cor desejáveis pelo consumidor. Esses fatores podem contribuir significativamente para a aceitação dessas embalagens pelos consumidores, visto que, de acordo com Eshaghi et al. (2024), atualmente existe uma maior conscientização pública sobre a degradação ambiental e a mudança de atitudes em relação aos padrões de vida.

Abbasi et al. (2023) sugerem que estudos futuros foquem na utilização de vários compostos compatíveis (de diferentes fontes seguras) com efeitos biológicos significativos para a produção dos revestimentos, incluindo atividade antimicrobiana e antioxidante, a fim de demonstrar ação sinérgica e prevenir ou retardar o surgimento de resistência antimicrobiana na deterioração de alimentos. Enquanto Boeira et al. (2021) e Lang et al. (2025) enxergam um futuro promissor para a utilização dessas embalagens, sugerindo que próximos estudos explorem a escalabilidade para seu uso comercial. Além disso, Chaari et al. (2021) consideram essa tecnologia econômica comparada aos plásticos atualmente utilizados pela indústria.

Şengül e Şen (2025) entendem que a viabilidade de ampliar o uso de filmes comestíveis na produção de carne em larga escala permanece incerta. Os autores ressaltam que a variabilidade nas fontes de carne, como diferentes raças de animais ou condições de produção, pode afetar a generalização dos resultados. Nesse sentido, preconizam que trabalhos futuros investiguem as condições reais de embalagem, como tempo de armazenamento, temperatura e umidade e seu impacto no desempenho do filme.

## CONCLUSÃO

A revisão bibliométrica mostrou que há um interesse crescente em pesquisas sobre a elaboração e utilização de embalagens bioativas com potencial para melhorar a conservação de carnes. Com destaque para a utilização de óleos essenciais como forma de estender a vida útil de carnes, principalmente por suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes. Porém, poucos artigos foram publicados no período estudado e a literatura ainda é escassa quanto às características e potencialidades dessa tecnologia.

Para mais, nos últimos cinco anos, estudos têm trazido informações relevantes sobre o uso de embalagens bioativas e, aliado à necessidade de implementação de tecnologias sustentáveis na indústria, a fabricação dessas embalagens tem potencial para tornar o setor





mais sustentável, impactar positivamente a economia e diminuir a geração de resíduos.

Estudos futuros devem focar na caracterização dos biomateriais utilizados na fabricação de embalagens, seu tempo de biodegradabilidade, propriedades mecânicas, propriedades de barreira ao vapor de água e aos gases, de forma a garantir que o desempenho seja semelhante ou superior às embalagens tradicionais. Além disso, a viabilidade econômica deve ser avaliada com maior clareza. Assim, possibilitando sua aplicação a nível industrial.

### REFERÊNCIAS

- Abbasi, A.; Sabahi, S.; Bazzaz, S.; Tajani, A. G.; Lahouty, M.; Aslani, R.; Hosseini, H. An edible coating utilizing *Malva sylvestris* seed polysaccharide mucilage and postbiotic from *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* for the preservation of lamb meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 246, 125660, 2023.
- Ali, M. S.; Haq, M.; Roy, V. C.; Ho, T. C.; Park, J.-S.; Han, J. M.; Chun, B.-S. Development of fish gelatin/carrageenan/zein bio-nanocomposite active-films incorporated with turmeric essential oil and their application in chicken meat preservation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 226, 2023.
- Arora, R.; Haleem, R.; Agarwal, A.; Shukla, S. K. Development and characterization of pea hull reinforced polyvinyl alcohol film for active packaging of chicken meatballs. *Food Chemistry*, v. 484, 2025.
- Barzegar, H.; Behbahani, B. A.; Taki, M. Development of active packaging coating with *Lallemantia iberica* mucilage and *Lactocaseibacillus rhamnosus* SMHA30 postbiotics: Preparation, characterization, application in the preservation of beef slices, and modelling. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 21, 2025.
- Boeira, C. P.; Alves, J. S.; Flores, D. C. B.; Moura, M. R.; Melo, P. T. S.; Rosa, C. S. Antioxidant and antimicrobial effect of an innovative active film containing corn stigma residue extract for refrigerated meat conservation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 00, 2021.
- Cabeza de Vaca, M.; Ramírez-Bernabé, M. R.; Barrado, D. T.; Pimienta, J. R.; Delgado-Adámez, J. Application of Antioxidant Poly-Lactic Acid/Polyhydroxybutyrate (PLA/PHB) Films with Rice Bran Extract for the Preservation of Fresh Pork Meat. *Foods*, v. 13, 2024.
- Chaari, M.; Elhadeif, K.; Akermi, S.; Akacha, B. B.; Fourati, M.; Mtibaa, A. C.; Ennouri, M.; Sarkar, T.; Shariati, M. A.; Rebezov, M.; Abdelkafi, S.; Mellouli, L.; Smaoui, S. Novel Active Food Packaging Films Based on Gelatin-Sodium Alginate Containing Beetroot Peel Extract. *Antioxidants*, v. 11, 2022.
- Chandrasekar, C. M.; Nespoli, L.; Bellesia, T.; Ghaani, M.; Farris, S.; Romano, D. Fabrication of double layer nanoparticle infused starch-based thermoplastic food packaging system for meat preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 254, 2024.
- Chen, C.; Deng, S.; Tian, H.; Kou, X.; Yu, H.; Huang, J.; Lou, X.; Yuan, H. Novel bioactive sponge mats composed of oxidized bacterial cellulose and chitosan-gum Arabic microcapsules loaded with cinnamon essential oil for enhancing meat preservation. *Food Hydrocolloids*, v. 148, 109496, 2024.
- Elhadeif, K.; Chaari, M.; Akermi, S.; Ennouri, K.; Hlima, H. B.; Fourati, M.; Mtibaa, A. C.; Ennouri, M.; Sarkar, T.; Shariati, M. A.; Goksen, G.; Pateiro, M.; Mellouli, L.; Lorenzo, J. M.; Smaoui, S. Gelatin-sodium alginate packaging film with date pits extract: An eco-friendly packaging for extending raw minced beef shelf life. *Meat Science*, v. 207, 2024.
- Eshaghi, R.; Mohsenzadeh, M.; Ayala-Zavala, J. F. Bio-nanocomposite active packaging films based on carboxymethyl cellulose, myrrh gum, TiO<sub>2</sub> nanoparticles and dill essential oil for preserving fresh-fish (*Cyprinus carpio*) meat quality. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 263, 2024.
- Eskandari, Z.; Osanloo, M.; Mazloomi, S. M.; Zarenezhad, E.; Mollakhali-Meybodi, N.; Nematollahi, A. Bioactive edible films for chicken breast packaging: Integration of chia seed mucilage with nanoemulsions of *Cinnamomum zeylanicum* and *Satureja khuzestanica*. *Applied Food Research*, v. 5, 2025.
- Faradonbeh, M. Z.; Barzegar, H.; Hojjati, M.; Behbahani, B. A.; Taki, M. Active packaging coating based on *Ocimum basilicum* seed mucilage and *Hypericum perforatum* extract: Preparation, characterization, application and modeling the preservation of ostrich meat. *Applied Food Research*, v. 4, 2024.
- Ghaderi, F.; Shakerian, A.; Mashak, Z.; Rahimi, E.; Jafari, S. M. Potential of gelatin/chitosan nanocomposite films loaded with *L. nobilis* nanoemulsions for preservation of refrigerated ostrich meat-based hamburgers. *Journal of Food*



- Measurement and Characterization, v. 18, p. 3474-3491, 2024.
- Giannakas, A. E.; Salmas, C. E.; Leontiou, A.; Baikousi, M.; Moschovas, D.; Asimakopoulos, G.; Zafeiropoulos, N. E.; Avgeropoulos, A. Synthesis of a Novel Chitosan/Basil Oil Blend and Development of Novel Low Density Polyethylene/Chitosan/Basil Oil Active Packaging Films Following a Melt-Extrusion Process for Enhancing Chicken Breast Fillets Shelf-Life. *Molecules*, v. 26, 2021.
- Huda, K. U.; Ahmad, A.; Mushtaq, Z.; Raza, M. A.; Moreno, A.; Saeed, F.; Afzaal, M. Development of ultrasonic-assisted gelatin-based biodegradable packaging film incorporated with turmeric extract for the shelf-life extension of chicken minced meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 306, 2025.
- Irimia, A.; Stoleru, E.; Vasile, C.; Bele, A.; Brebu, M. Application of Vegetal Oils in Developing Bioactive Paper-Based Materials for Food Packaging. *Coatings*, v. 11, 2021.
- Karabulut, G.; Goksen, G. Development of pectin-gelatin biopolymer films with DES based *Chlorella vulgaris* extracts as plasticizers for enhanced UV-blocking, antioxidant, and antimicrobial food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 49, 2025.
- Karwowska, M.; Łaba, S.; Szczepáński, K. Food Loss and Waste in Meat Sector—Why the Consumption Stage Generates the Most Losses? *Sustainability*, v. 13, 6227, 2021.
- Khalid, S. A.; Ghanem, A. F.; Abd-El-Malek, A.; Ammar, M. A.; El-Khateib, T.; El-Sherbiny, I. M. Free-standing carboxymethyl cellulose film incorporating nanoformulated pomegranate extract for meat packaging. *Carbohydrate Polymers*, v. 332, 2024.
- Khan, S.; Li, M.; Cheng, M.; Shu, Y.; Ling, T.; Shah, H.; Zhu, H.; Khan, S.; Zhang, Z. Fabrication and characterization of Karaya gum-based films reinforced with bacterial nanocellulose stabilized valerian root extract Pickering emulsion for lamb meat preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 276, 2024.
- Kulawik, P.; Tadesse, E. E.; Guzik, P.; Tkaczewska, J.; Zajac, M.; Janik, M.; Tadele, W.; Grzebieniarsz, W.; Nowak, N.; Szymkowiak, A.; Jamróz, E. Effects of triple-layer chitosan/furcellaran mini-/nanoemulsions with oregano essential oil and LL37 bioactive peptide on shelf-life of cold/frozen stored pork loin. *Food Hydrocolloids*, v. 159, 110713, 2025.
- Lang, X.; Wang, N.; An, X.; Wang, C. Crab-Apple (*Malus asiatica Nakai*) Peel Extract-Enhanced Potato Starch/ $\kappa$ -Carrageenan Bioactive Films: Structural Characterization, Antioxidant-Antimicrobial Efficacy, and Application in Meat Preservation. *Polymers*, v. 17, 2025.
- Lawal, K. G.; Nazir, A.; Sundarakani, B.; Stathopoulos, C.; Maqsood, S. Bioactive biopolymer films reinforced with cellulose nanocrystals and green-extracted polyphenols from date seeds for veal meat preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 310, 2025.
- Ma, Y.; Chen, J.; Song, Z.; Wang, W.; Cao, Y.; Yu, Q. Preparation and characterization of chitosan/polyvinyl alcohol/Ginkgo biloba leaf extract composite film and its effect on chilled beef preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 305, 2025.
- Mahmud, J.; Muranyi, P.; Salmieri, S.; Shankar, S.; Lacroix, M. UV-C-Activated Riboflavin Crosslinked Gelatin Film with Bioactive Nanoemulsion for Enhanced Preservation of Fresh Beef in Modified Atmosphere Packaging. *Foods*, v. 13, 2024.
- Moudache, M.; Yalaoui-Guellal, D.; Boukandoul, S.; Moulahcene, L.; Dahi, H.; Hamri, T.; Skiba, M. Improving the antioxidant activity and stability of food biopackaging enriched by *Moringa oleifera* extract to enhance the shelf life of minced meat. *LWT*, v. 224, 117867, 2025.
- Mouhoub, A.; Guendouz, A.; Alaoui-Talibi, Z. E.; Koraichi, S. I.; Raouan, S. E.; Delattre, C.; Modafar, C. E. Preparation of bioactive film based on chitosan and essential oils mixture for enhanced preservation of food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 259, 129396, 2024.
- Nayak, A.; Samadarsi, R.; Dutta, D. Exploiting the Combinatorial Potential of Mangiferin and Jujube Seeds in Poultry Meat Preservation: A Sustainable Packaging Solution to Improve Food Quality. *ACS Food Science and Technology*, v. 4, p. 2090-2105, 2024.
- Nayak, S. P. R. R.; Pohokar, P.; Dhivya, L. S.; Herold, A.; Chitra, V.; Gatashah, M. K.; Arokiyaraj, S.; Kumaradoss, K. M.; Arockiaraj, J. Starch films with triethanolamine and chalcone derivative for improved durability and antimicrobial properties in poultry packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 316, 2025.
- Nemati, M. H.; Samakkhah, S. A.; Partovi, R.; Isvand, A. The Coating Effect of Persian Gum (Zedo Gum) Containing *Lactobacillus sakei* on the Beef



- Quality Parameters During Storage at Refrigerator Temperature. Food Science & Nutrition, v. 13, 2025.
- Rasouli, Y.; Moradi, M.; Tajik, H.; Molaei, R. Fabrication of anti-Listeria film based on bacterial cellulose and Lactobacillus sakei-derived bioactive metabolites; application in meat packaging. Food Bioscience, v. 42, 2021.
- Rincón, E.; Espinosa, E.; Pinillos, M.; Serrano, L. Bioactive Absorbent Chitosan Aerogels Reinforced with Bay Tree Pruning Waste Nanocellulose with Antioxidant Properties for Burger Meat Preservation. Polymers, v. 15, 2023.
- Ritchie, H.; Rosado, P.; Roser, M. "Meat and Dairy Production". 2019. Published online at OurWorldinData.org. Obtido de: 'https://ourworldindata.org/meat-production' [Recurso online]
- Şengül, E.; Şen, D. B. Development and Characterization of  $\kappa$ -Carrageenan-Based Edible Films Enriched With Resveratrol or Quercetin for Shelf-Life Extension of Goat Meat Burger Patties. Journal of Food Science, v. 90, 2025.
- Sganzerla, W. G.; Rosa, C. G.; Silva, A. P. G.; Ferrareze, J. P.; Azevedo, M. S.; Forster-Carneiro, T.; Nunes, M. R.; Veeck, A. P. L. Application *in situ* of biodegradable films produced with starch, citric pectin and functionalized with feijoa (*Acca sellowiana* (Berg) Burret) extracts: An effective proposal for food conservation. International Journal of Biological Macromolecules, v. 189, p. 544-553, 2021.
- Shen, Y.; Zhou, J.; Yang, C.; Chen, Y.; Yang, Y.; Zhou, C.; Wang, L.; Xia, G.; Yu, X.; Yang, H. Preparation and characterization of oregano essential oil-loaded *Dioscorea zingiberensis* starch film with antioxidant and antibacterial activity and its application in chicken preservation. International Journal of Biological Macromolecules, v. 212, p. 20-30, 2022.
- Shi, C.; Jia, L.; Tao, H.; Hu, W.; Li, C.; Aziz, T.; Al-Asmari, F.; Sameeh, M. Y.; Cui, H.; Lin, L. Fortification of cassava starch edible films with Litsea cubeba essential oil for chicken meat preservation. International Journal of Biological Macromolecules, v. 276, 2024.
- Stoleru, E.; Vasile, C.; Irimia, A.; Brebu, M. Towards a Bioactive Food Packaging: Poly(Lactic Acid) Surface Functionalized by Chitosan Coating Embedding Clove and Argan Oils. Molecules, v. 26, 2021.
- Velarde, E. D. A.; Berasain, M. D. M.; Luckie, R. A. M.; Medina, D. I. M.; Lackner, M.; Garduño, G. V.; Salem, A. Z. M. Development and characterization of active gelatin-chitosan packaging incorporated with guava leaf extract for extending meat shelf life. Journal of Agriculture and Food Research, v. 19, 2025.
- Xavier, L. O.; Sganzerla, W. G.; Rosa, G. B.; Rosa, C. G.; Agostinetto, L.; Veeck, A. P. L.; Bretanha, L. C.; Micke, G. A.; Costa, M. D.; Bertoldi, F. C.; Barreto, P. L. M.; Nunes, M. R. Chitosan packaging functionalized with *Cinnamodendron dinisii* essential oil loaded zein: A proposal for meat conservation. International Journal of Biological Macromolecules, v. 169, p. 183-193, 2021.
- Xie, Q.; Liu, X.; Zhang, Y.; Liu, G. Development and characterization of a new potato starch/watermelon peel pectin composite film loaded with TiO<sub>2</sub> nanoparticles and microencapsulated *Lycium barbarum* leaf flavonoids and its use in the Tan mutton packaging. International Journal of Biological Macromolecules, v. 252, 126532, 2023.
- Yu, K.; Yang, L.; Zhang, S.; Zhang, N. Strong, tough, high-release, and antibacterial nanocellulose hydrogel for refrigerated chicken preservation. International Journal of Biological Macromolecules, v. 264, 2024.