



EDILAYANE DA NÓBREGA SANTOS

**EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ADITIVADAS COM
EXTRATO DA SEMENTE DE COENTRO PARA
PRESERVAÇÃO DE ALMÔNDEGAS OVINAS**

**LAVRAS-MG
2024**

EDILAYANE DA NÓBREGA SANTOS

**EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ADITIVADAS COM EXTRATO DA
SEMENTE DE COENTRO PARA PRESERVAÇÃO DE ALMÔNDEGAS OVINAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutora.

Profa. Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos
Orientadora

Prof. Dr. Bruno Raniere Lins de Albuquerque Meireles
Profa. Dra. Cristiani Viegas Brandão Grisi
Coorientadores

LAVRAS-MG

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Santos, Edilayne da Nóbrega.

Embalagens biodegradáveis aditivadas com extrato da
sementede coentro para preservação de almôndegas ovinas /
Edilayne da Nóbrega Santos. - 2024.

96 p.

Orientador(a): Alcinéia de Lemos Souza Ramos.

Coorientador(a): Bruno Raniera Lins de Albuquerque
Meireles, Cristiani Viegas Brandão Grisi.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Carne ovina. 2. *Coriandrum sativum*. 3. Filme ativo. I.
Ramos, Alcinéia de Lemos Souza. II. Meireles, Bruno Raniera
Lins de Albuquerque. III. Grisi, Cristiani Viegas Brandão.

EDILAYANE DA NÓBREGA SANTOS

**EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ADITIVADAS COM EXTRATO DA
SEMENTE DE COENTRO PARA PRESERVAÇÃO DE ALMÔNDEGAS OVINAS**

**BIODEGRADABLE PACKAGING WITH ADDITIVES OF CORIANDER SEED
EXTRACT FOR PRESERVING SHEEP MEATBALLS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 31 de outubro de 2024.

Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos	UFLA
Dra. Isadora Rebouças Nolasco de Oliveira	UFMG
Dr. Fábio Anderson Pereira da Silva	UFPA
Dr. Eduardo Mendes Ramos	UFLA
Dra. Cristiani Viegas Brandão Grisi	UFPA

Profa. Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos
Orientadora

Prof. Dr. Bruno Ranieri Lins de Albuquerque Meireles
Profa. Dra. Cristiani Viegas Brandão Grisi
Coorientadores

LAVRAS-MG

2024

A minha mãe, Edileusa

A minha família

A mim, por ter persistido, mesmo quando acreditava que não iria conseguir

Com amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, por toda força e cuidado, pela presença diária em minha vida e por ter me sustentado até aqui. Muito obrigada, Senhor, por ter me guiado e permitido que eu realizasse esse grande sonho em minha vida.

Agradeço a minha mãe, Edileusa Nóbrega, por todo amor, apoio e cuidado. Por sempre acreditar em mim, por toda força nos momentos difíceis e pela felicidade com minhas conquistas.

A minha irmã Elidayane Nóbrega pela compreensão e apoio durante essa caminhada.

Agradeço a minha família, ao meu pai, meus irmãos e sobrinhos pela torcida e parceria.

Agradeço a minha gatinha Estrela que chegou pra mim em 2020, no início do meu doutorado, e infelizmente agora na reta final virou uma estrelinha. Sempre te amarei e lembrarei de você. Você foi minha calma nos momentos difíceis e minha alegria de todos os dias durante esses 4 anos.

Agradeço a minha orientadora Dra. Alcinéia Lemos por toda confiança em mim. Agradeço pelos ensinamentos, pelas oportunidades e pela atenção sempre que precisei. Serei eternamente grata por tudo que fez por mim durante o doutorado. A senhora além de exemplo de profissional é um exemplo de ser humano que traz inspiração para muitas pessoas. Gratidão por tudo!

Agradeço ao meu coorientador Dr. Bruno Meireles pela confiança e por ter aceitado me coorientar. Seus ensinamentos e suporte foram muito valiosos para conclusão dessa pesquisa. Obrigada por tudo!

Agradeço a minha coorientadora Dra. Cristiani Grisi por todo suporte, atenção e confiança. Sua colaboração foi essencial para a condução e conclusão dessa pesquisa. Gratidão por tudo!

Agradeço ao professor Dr. Eduardo Ramos por ter aceitado participar da banca. Um excelente professor da área de carnes e derivados que tive a honra de ser aluna. Suas contribuições foram de grande importância para melhoria do trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Fábio Silva por ter aceitado participar da banca. Um excelente professor da área de carnes e derivados, com quem muito aprendi e tenho gratidão. Suas contribuições foram valiosas para melhoria do trabalho.

Agradeço a professora Dra. Isadora Rebouças por tirar as dúvidas quando precisei e por ter sido sempre solícita. Agradeço também por ter aceitado participar da banca e pelas valiosas contribuições.

Agradeço a Letícia Diniz e a Vivian Mabelle por todo suporte e parceria durante a execução do experimento. Vocês foram essenciais para a realização dessa pesquisa. Serei eternamente grata e desejo que consigam realizar tudo aquilo que vocês almejam.

Agradeço aos técnicos de laboratório da UFCG campus Pombal, William, Climene, Fabíola, Jeanne e em especial a João, por ter me ajudado sempre que precisei. Serei eternamente grata pelo apoio e pela torcida.

Agradeço a Wéllida Cristina, técnica do LACAP, por ter me acolhido tão bem durante o tempo que estive em Pombal. Grata por sua amizade e colaboração.

Agradeço a Andressa pelo suporte, acolhimento e pela parceria durante o período que estive em Pombal para realização do experimento.

Agradeço a Bruna Fernandes pelo apoio e ajuda de sempre. Desejo muito sucesso na sua vida e que realize todos os seus sonhos.

Agradeço aos amigos das agrárias do IFRN campus Apodi por terem me recebido e acolhido tão bem durante os 22 meses que estive na instituição. Agradeço por cada ensinamento e palavra de apoio.

Agradeço ao CCTA/UFCG pela possibilidade de realização do experimento no LACAPE.

Agradeço à UFLA e ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Agradeço aos meus pets pela alegria e companhia. Amo todos vocês.

E por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho.

GRATIDÃO!

“É justo que muito custe o que muito vale.”

Santa Teresa de Jesus

RESUMO GERAL

A busca por alternativas que garantam a qualidade da carne e seus derivados e que atendam a demanda dos consumidores por alimentos mais saudáveis, naturais e ambientalmente corretos, tem sido alvo de muitos pesquisadores. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do extrato da semente de coentro (CSE) em almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração através da aplicação do CSE via revestimento comestível e filme biodegradável. Quando aplicado no revestimento, foram avaliados 4 tratamentos, sendo RC (revestimento sem CSE), R1 (RC com adição de 1% de CSE), R5 (RC com 5% de CSE) e SR (almôndegas controle - sem revestimento). O extrato foi submetido a análises de fenólicos totais, atividade antioxidante frente ao radical DPPH, colorimetria e perfil de fenólicos. Os revestimentos foram analisados quanto a microscopia óptica. As almôndegas embaladas foram armazenadas a 4 °C por 12 dias (0, 5, 8, 10 e 12 dias) e analisadas em termos de análises físico-químicas e de oxidação lipídica. Os resultados da caracterização do CSE evidenciam alto conteúdo de compostos fenólicos (4,66 g EAG/100 g), atividade antioxidante frente ao radical livre DPPH (4,12 µmol TE/L) e a presença de ácidos fenólicos (ácidos gentísico, seringico e cafeico) e flavonoides (rutina, miricetina e catequina). Os resultados da aplicação do revestimento mostraram que o tratamento R1 foi o mais efetivo na manutenção da cor das almôndegas. Os tratamentos R1 e R5 apresentaram os menores valores de TBARS após 12 dias de armazenamento, exibindo uma redução de 62,95 e 72,68% em relação ao tratamento sem revestimento, respectivamente. Na aplicação do CSE via filme, foram desenvolvidos 3 tratamentos, sendo FWE= Filme de gelatina e babosa sem extrato, AF1= FWE contendo 1% de CSE e AF5= FWE contendo 5% de CSE. Os filmes desenvolvidos foram caracterizados quanto as propriedades de barreira, mecânicas, ópticas e microestrutura. As almôndegas embaladas foram armazenadas a 4 °C por 15 dias, sendo avaliadas nos tempos 0, 5, 10 e 15 com relação as análises físico-químicas e de oxidação lipídica. A incorporação do extrato da semente de coentro nos filmes de gelatina e babosa conferiu uma maior atividade antioxidante (78,45%) e maior opacidade (0,55%), sendo características positivas à preservação das almôndegas. As almôndegas embaladas com os filmes elaborados apresentaram as menores perdas de peso e a melhor estabilidade oxidativa durante o armazenamento refrigerado das almôndegas, AF5 reduziu em 95,60% a formação de malonaldeído até os 10 dias de armazenamento. Portanto, o CSE mostrou-se efetivo na preservação das almôndegas ovinas, seja através da aplicação via revestimento ou filme, podendo ser uma alternativa ao uso dos aditivos sintéticos na conservação de carnes e derivados.

Palavras-chave: *Aloe vera*; carne ovina; *Coriandrum sativum*; filme ativo; oxidação lipídica; revestimento comestível.

GENERAL ABSTRACT

The search for alternatives that guarantee the quality of meat and its derivatives and that meet consumer demand for healthier, more natural and environmentally friendly foods has been the target of many researchers. Thus, the objective of the research was to evaluate the effect of coriander seed extract (CSE) on lamb meatballs stored under refrigeration through the application of CSE via edible coating and biodegradable film. When applied to the coating, 4 treatments were evaluated, being RC (coating without CSE), R1 (RC with addition of 1% CSE), R5 (RC with 5% CSE) and SR (control meatballs - without coating). The extract was subjected to analyses of total phenolics, antioxidant activity against the DPPH radical, colorimetry and phenolic profile. The coatings were analyzed using optical microscopy. The packaged meatballs were stored at 4 °C for 12 days (0, 5, 8, 10 and 12 days) and analyzed in terms of physicochemical and lipid oxidation analyses. The results of the CSE characterization show a high content of phenolic compounds (4.66 g EAG/100 g), antioxidant activity against the free radical DPPH (4.12 $\mu\text{mol TE/L}$) and the presence of phenolic acids (gentisic, syringic and caffeic acids) and flavonoids (rutin, myricetin and catechin). The results of the coating application showed that treatment R1 was the most effective in maintaining the color of the meatballs. Treatments R1 and R5 presented the lowest TBARS values after 12 days of storage, exhibiting a reduction of 62.95 and 72.68% compared to the treatment without coating, respectively. In the application of CSE via film, three treatments were developed, being FWE = gelatin and *Aloe vera* film without extract, AF1 = FWE containing 1% CSE and AF5 = FWE containing 5% CSE. The developed films were characterized according to their barrier, mechanical, optical and microstructure properties. The packaged meatballs were stored at 4 °C for 15 days, being evaluated at times 0, 5, 10 and 15 for physicochemical and lipid oxidation analyses. The incorporation of coriander seed extract in the gelatin and aloe vera films conferred greater antioxidant activity (78.45%) and greater opacity (0.55%), which are positive characteristics for the preservation of the meatballs. The meatballs packaged with the prepared films presented the lowest weight loss and the best oxidative stability during refrigerated storage of the meatballs, AF5 reduced the formation of malonaldehyde by 95.60% up to 10 days of storage. Therefore, CSE proved to be effective in preserving sheep meatballs, whether through application via coating or film, and may be an alternative to the use of synthetic additives in the preservation of meat and meat products.

Keywords: *Aloe vera*; sheep meat; *Coriandrum sativum*; active film; lipid oxidation; edible coating.

INDICADORES DE IMPACTO

O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas para a preservação da qualidade de almôndegas ovinas pode provocar uma série de impactos positivos no âmbito social, tecnológico, econômico e cultural. No âmbito social, o uso de embalagens biodegradáveis ativas pode impactar diretamente na segurança dos alimentos e saúde pública, uma vez que a embalagem pode reduzir os riscos de contaminação do produto e aumentar o seu prazo de validade, além de promover uma conscientização ambiental, uma vez que a pesquisa pode sensibilizar a sociedade a optar por produtos que usam materiais mais sustentáveis, despertando uma mentalidade mais ecológica entre os produtores e consumidores. Na área tecnológica, o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis e ativas pode contribuir para o avanço da tecnologia das embalagens de alimentos mais sustentáveis, propondo novos processos de obtenção de embalagens, novas formulações e ingredientes bioativos com ação antioxidante e antimicrobiana. A nível econômico, o uso de embalagens biodegradáveis ativas visa aumentar a vida útil do produto, reduzindo, desta forma, perdas durante a comercialização. Além disso, o desenvolvimento dessas embalagens pode colaborar para uma redução do custo de produção das embalagens biodegradáveis ativas, o que possibilitaria que pequenos e grandes produtores utilizarem da tecnologia de forma mais acessível, ampliando a competitividade no mercado. No âmbito cultural, a pesquisa pode promover uma conscientização sobre o consumo da carne ovina e auxiliar na conscientização de escolhas mais sustentáveis, ao mesmo tempo que contribui para a preservação da qualidade do produto. Assim, o desenvolvimento de embalagens ativas para conservação de almôndegas ovinas pode impactar de forma positiva na saúde pública e segurança dos alimentos, inovação no setor de embalagens e no incentivo a uma mudança cultural em direção a práticas mais sustentáveis e conscientes.

IMPACT INDICATORS

The development of active biodegradable packaging to preserve the quality of lamb meatballs can have a series of positive impacts in the social, technological, economic and cultural spheres. In the social sphere, the use of active biodegradable packaging can have a direct impact on food safety and public health, since the packaging can reduce the risk of product contamination and increase its shelf life, in addition to promoting environmental awareness, since research can sensitize society to opt for products that use more sustainable materials, awakening a more ecological mindset among producers and consumers. In the technological area, the development of biodegradable and active packaging can contribute to the advancement of technology for more sustainable food packaging, proposing new processes for obtaining packaging, new formulations and bioactive ingredients with antioxidant and antimicrobial action. In the economic sphere, the use of active biodegradable packaging aims to increase the shelf life of the product, thus reducing losses during marketing. Furthermore, the development of these packages can help reduce the production costs of active biodegradable packaging, which would allow small and large producers to use the technology in a more accessible way, increasing competitiveness in the market. In the cultural sphere, the research can promote awareness about the consumption of lamb meat and help raise awareness of more sustainable choices, while also contributing to the preservation of product quality. Thus, the development of active packaging for preserving lamb meatballs can have a positive impact on public health and food safety, innovation in the packaging sector and encourage a cultural change towards more sustainable and conscious practices.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1. Esquema do processo de oxidação lipídica.....	20
Figura 2. Esquema do processo de obtenção do filme por <i>Casting</i> e do revestimento.	22
Figura 3. Estrutura química de alguns ácidos fenólicos.....	30
Figura 4. Estrutura química básica dos flavonoides.....	31
Figura 5. Folhas e Sementes de coentro.	33

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Figura 1. Fotografia digital das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	57
Figura 2. Resultados da atividade de água das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	57
Figura 3. Resultados da perda de peso das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	58
Figura 4. Resultados de pH das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	59
Figura 5. Resultados de TBA das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	60

ARTIGO 2

Figura 1. Esquema ilustrativo da elaboração dos filmes e aplicação nas almôndegas ovinas.	73
Figura 2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das superfícies e transversais dos filmes FWE, AF1 e AF5.....	80
Figura 3. Espectros de FTIR dos filmes FWE, AF1 e AF5.....	81
Figura 4. Fotografia digital das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	84
Figura 5. Resultados da perda de peso (5A), pH (5B) e TBA (5C) das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	86

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1. Exemplos de pesquisas com embalagens ativas à base de gelatina e sua aplicação em carnes e derivados.....	24
--	----

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Tabela 1. Teor de compostos fenólicos totais (FT), atividade antioxidante (DPPH) e colorimetria do CSE.	52
Tabela 2. Perfil dos compostos fenólicos do CSE.....	53
Tabela 3. Resultados da colorimetria das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.	56

ARTIGO 2

Tabela 1. Resultado da caracterização dos filmes.	79
Tabela 2. Resultados da colorimetria das almôndegas ovina durante o armazenamento refrigerado.	82

LISTA DE SIGLAS

µg	Micrograma
µM	Micromol
AVG	Gel de <i>Aloe vera</i>
ANOVA	Análise de Variância
CSE	Extrato da semente de coentro
DPPH	2,2-difenil-1-picri-hidrazil
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FTIR	Infravermelho Médio por Transformada de Fourier
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
m/v	massa/volume
MDA	Malonaldeído
Mf	Peso final
mg EAG	Miligramas de Equivalente em Ácido Gálico
mg	Miligrama
Mi	Peso inicial
MPa	Mega Pascal
nm	nanômetro
PE	Porcentagem de Alongamento
pH	Potencial Hidrogeniônico
TS	Resistência à Tração
TBA	Ácido 2-tiobarbitúrico
TE	Equivalentes de Trolox
Trolox	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico
v/v	volume/volume
ΔE	variação total de cor
µg TE/mg	Microgramas de equivalentes de Trolox por miligramas de amostra
µL	microlitro
WS	Solubilidade em água

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	16
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 CARNE OVINA	18
2.2 OXIDAÇÃO LIPÍDICA EM CARNES E DERIVADOS.....	19
2.3 EMBALAGENS ATIVAS E MECANISMOS DE AÇÃO.....	21
2.4 BIOPOLÍMEROS E EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS.....	23
2.5 EMBALAGENS ATIVAS NA CONSERVAÇÃO DE CARNES E DERIVADOS	27
2.6 DESAFIOS NA COMERCIALIZAÇÃO DE EMBALAGENS ATIVAS.....	28
2.7 EXTRATOS VEGETAIS PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS ATIVAS.....	30
2.8 COENTRO.....	32
3 CONCLUSÕES.....	35
4 REFERÊNCIAS.....	36
SEGUNDA PARTE	44
ARTIGO 1 - Revestimento comestível contendo extrato da semente de coentro para prolongar a vida útil de almôndegas ovinas	45
ARTIGO 2 - Filme ativo de gelatina e babosa aditivado com extrato da semente de coentro sobre a qualidade de almôndegas ovinas	69
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A carne é um produto que faz parte da dieta humana desde os tempos mais remotos. É um alimento de alto valor biológico, fonte de proteínas, ácidos graxos essenciais, vitaminas e minerais, entretanto, devido a sua composição química, pH ótimo para o desenvolvimento microbiano e elevada atividade de água, a carne torna-se altamente perecível. As alterações microbiológicas e reações oxidativas são as principais causas de deterioração da carne e seus derivados durante a sua vida de prateleira.

A carne ovina é uma matéria-prima pouco consumida no Brasil, embora o país seja um grande produtor, sendo a região nordeste a maior apreciadora dessa carne. Atualmente, há uma tendência de ampliação e diversificação dos produtos ovinos, principalmente os cortes frescos, refrigerados e congelados. Em contra partida, a oxidação lipídica é uma das principais causas de deterioração da carne, devido ao seu alto conteúdo de lipídeos.

A oxidação lipídica ocorre de forma natural durante o processamento e armazenamento da carne e derivados, promovendo alterações indesejáveis nas características físico-químicas, nutricionais e sensoriais do produto. Todavia, a indústria alimentícia usa de métodos de conservação para retardar os processos oxidativos.

Atualmente, o uso de aditivos sintéticos comerciais é um dos métodos mais comuns utilizados na preservação da carne e seus produtos, associados a outros métodos convencionais como a refrigeração, congelamento, defumação e fermentação. Contudo, esses aditivos podem exercer efeitos maléficos à saúde humana, o que tem impulsionado a sua substituição por aditivos naturais. Os bioaditivos são compostos oriundos de fontes naturais que detém da capacidade de prevenir ou retardar as reações de deterioração nos alimentos. Dentre eles, os extratos vegetais vêm sendo utilizados de forma efetiva na preservação de carnes e derivados.

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma planta da família Apiaceae, conhecida como erva na culinária desde os tempos primitivos. A semente de coentro possui variados fitoquímicos com propriedades biológicas, como ação antioxidante e antimicrobiana, os quais vêm sendo pesquisados e utilizados no setor de cosmético, medicamentos e alimentos. A extração das substâncias bioativas da semente de coentro para aplicação como aditivo natural em alimentos pode ser uma alternativa promissora e viável.

A demanda por embalagens de base biológica cresce progressivamente. A necessidade por alternativas ao plástico derivado do petróleo é em virtude da contaminação e acumulação causada por este material não biodegradável e aos riscos impostos ao meio ambiente e saúde humana. As embalagens biodegradáveis são produzidas a partir de polímeros naturais, como

proteínas, carboidratos, lipídeos e suas blends e se degradam em um tempo curto em comparação aos plásticos de origem petroquímica.

A gelatina é uma proteína obtida a partir da hidrólise do colágeno. É um polímero que tem sido bastante utilizado na elaboração de embalagens biodegradáveis devido a algumas características, como ser solúvel em água, econômica e facilmente disponível, além disso, apresenta boas propriedades de formação de filme, biodegradabilidade e biocompatibilidade. No entanto, os filmes puros de gelatina podem apresentar algumas limitações quanto a sua resistência à água e mecânica, problema este que pode ser melhorado através da mistura com outros biopolímeros.

O gel de *Aloe vera* consiste em um material gelatinoso e transparente, constituído por água, carboidratos, proteínas, vitaminas, minerais, ácidos orgânicos e compostos bioativos. O gel da babosa tem recebido atenção considerável na área de embalagens de alimentos, apresentando boas propriedades de barreira, além de potencial antioxidante e antimicrobiano, tornando-se um biopolímero com potencial para ser utilizado junto a gelatina como base polimérica, objetivando desenvolver filmes e revestimentos biodegradáveis ativos com propriedades físicas, mecânicas e de barreiras melhoradas.

Diante disto, até o momento não há estudos que reportem o desenvolvimento de embalagens a base de gelatina e babosa contendo o extrato da semente de coentro como aditivo natural para aplicação em carne ovina e seus derivados. Portanto, o objetivo da pesquisa é avaliar o efeito do extrato da semente de coentro por meio da incorporação em filmes e revestimentos sobre a qualidade de almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARNE OVINA

De acordo com Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2018, o Brasil possuía o maior rebanho do continente e do mundo, ocupando o 1º e o 19º lugar, respectivamente, com cerca de 18,9 milhões de animais (FAOSTAT, 2019). A região nordeste é onde concentra o maior rebanho de ovinos no Brasil, sendo o estado da Bahia o maior produtor em 2023, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2023).

Embora o Brasil possua um dos maiores rebanhos do continente, ainda é um país importador da carne ovina, pois a produção se limita ao consumo interno e mesmo assim é insuficiente, gerando um aumento da importação de ovinos vivos, carcaças e carne congelada ou resfriada (Santos *et al.*, 2024, p.101098). Entretanto, o Brasil apresenta potencial para ampliação da produção, comercialização e exportação, devido às condições climáticas favoráveis e a vasta extensão territorial disponível (Rojas-moreno *et al.*, 2022, p.132722).

Recentemente a ovinocultura vem se destacando no Brasil devido ao aumento do consumo de seus produtos derivados, especialmente a carne e os produtos cárneos (Santos *et al.*, 2024, p.101098). Todavia, um dos maiores desafios na comercialização da carne ovina é a sua susceptibilidade à oxidação lipídica, o que tem despertado o interesse por pesquisas voltadas para o controle dos processos oxidativos durante a vida útil da carne ovina e seus derivados (Oliveira *et al.*, 2022, p.108426).

Menci *et al.* (2023) estudaram o efeito da casca de avelã dietética na estabilidade oxidativa da carne de cordeiro e concluíram que a alimentação de cordeiros com a casca de avelã melhora a estabilidade oxidativa da carne crua ao retardar a oxidação lipídica.

Fernandes *et al.* (2016) investigaram os efeitos do extrato de orégano na estabilidade oxidativa, microbiológica e sensorial de hambúrgueres de cordeiro embalados em atmosfera modificada e verificaram que o extrato natural evitou a perda das qualidades sensoriais até 15 dias de armazenamento e apresentou efeitos antioxidantes semelhantes aos do BHT.

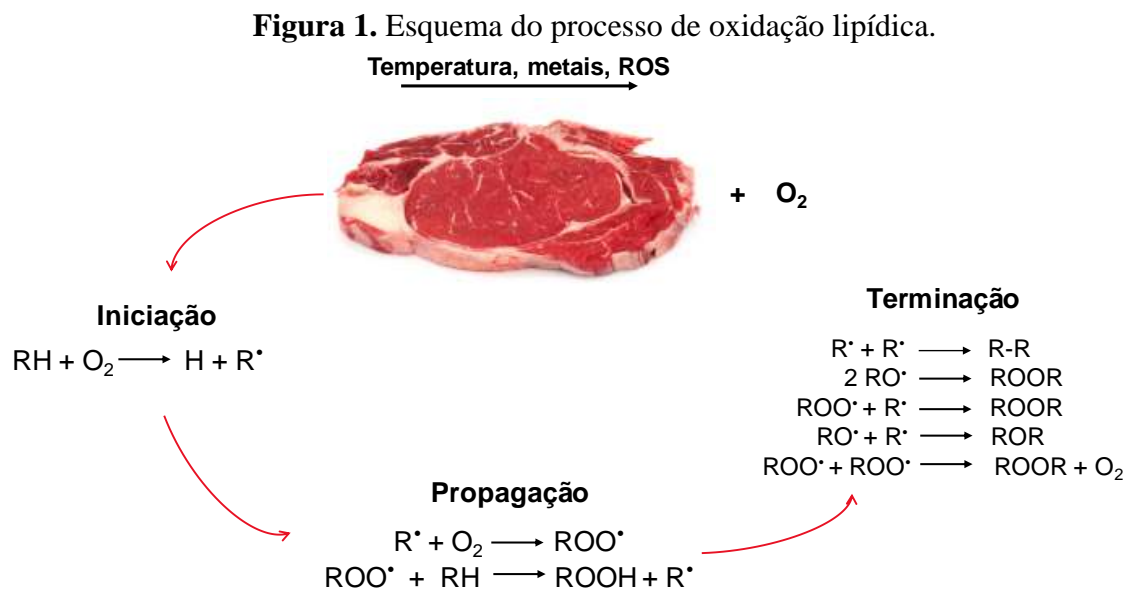
Farahani *et al.* (2024) pesquisaram os efeitos antimicrobianos e antioxidantes de um revestimento comestível de mucilagem de semente de *Lepidium sativum* e óleo essencial de *Satureja hortensis* L. em carne de cordeiro crua e observaram que o revestimento preparado com 1,5% de *S. hortensis* apresentou o melhor controle microbiológico e contra a oxidação lipídica na carne de cordeiro crua, aumentando a vida útil em 12 dias a mais em comparação ao controle.

2.2 OXIDAÇÃO LIPÍDICA EM CARNES E DERIVADOS

A carne e seus derivados fazem parte da dieta básica de muitos consumidores no mundo todo. É um alimento rico em nutrientes importantes, como proteína de alto valor nutricional, lipídeos, vitaminas e minerais. Entretanto, a indústria da carne tem como grande desafio fornecer um produto de qualidade, com características sensoriais agradáveis e atributos de frescor que durem durante toda sua vida útil (Hadidi *et al.*, 2022, p.114003).

A oxidação lipídica é um dos principais problemas que afetam a qualidade da carne durante o processamento e armazenamento, levando a alterações indesejáveis e deterioração não microbiana do produto. É uma reação que ocorre diretamente com os ácidos graxos insaturados, que contêm uma ou mais ligações duplas, e quanto mais insaturações tem um ácido graxo, maior é a susceptibilidade à oxidação lipídica (Ganjeh *et al.*, 2024, p.140768).

A oxidação lipídica pode ocorrer através da auto-oxidação, foto-oxidação e oxidação enzimática. A auto-oxidação é a mais importante na carne e ocorre em três fases simultâneas: iniciação, propagação e terminação (Figura 1). Na fase inicial, é formado o radical alquil do ácido graxo. Na fase propagação, o radical alquil reage com o oxigênio formando radicais peróxidos, que irá provocar uma série de reações em cadeia. Estes radicais, em reação com ácidos graxos insaturados, formam hidroperóxidos, gerando novos radicais livres, a reação segue até que não haja fontes de hidrogênio disponíveis ou a cadeia seja interrompida. Ao final, os hidroperóxidos se decompõem, produzindo compostos aromáticos voláteis não reativos, caracterizando a fase de terminação (Ganjeh *et al.*, 2024, p.140768; Amaral *et al.*, 2018, p.1-15).



Fonte: Do Autor (2024).

A reação de oxidação lipídica é um processo natural, particularmente para os lipídeos insaturados, mas pode ser intensificada por uma série de fatores como alto conteúdo de lipídeos insaturados, presença de mioglobina, metais de transição, espécies reativas de oxigênio (ROS), espécies reativas de nitrogênio (RNS), bem como pelas condições de processamento e

armazenamento mal controladas (Ganjeh *et al.*, 2024, p.140768; Domínguez *et al.*, 2019, p.429).

As principais alterações, nas carnes e seus produtos, incluem formação de sabor e aroma de ranço, perda de cor, perda de ácidos graxos essenciais e vitaminas, além da produção de substâncias tóxicas (Falowo; Fayemi; Muchenje, 2014, p.171-181). Assim, afim de controlar a deterioração por oxidação dos lipídeos nesses produtos, a indústria da carne utiliza de aditivos sintéticos comerciais. Todavia, são compostos potencialmente tóxicos e prejudiciais à saúde, o que tem provocado interesse por antioxidantes naturais para aplicação em embalagens ativas como estratégia contra a oxidação em carnes e derivados (Cai *et al.*, 2024, p.128286; Elhadeb *et al.*, 2024, p.109371).

2.3 EMBALAGENS ATIVAS E MECANISMOS DE AÇÃO

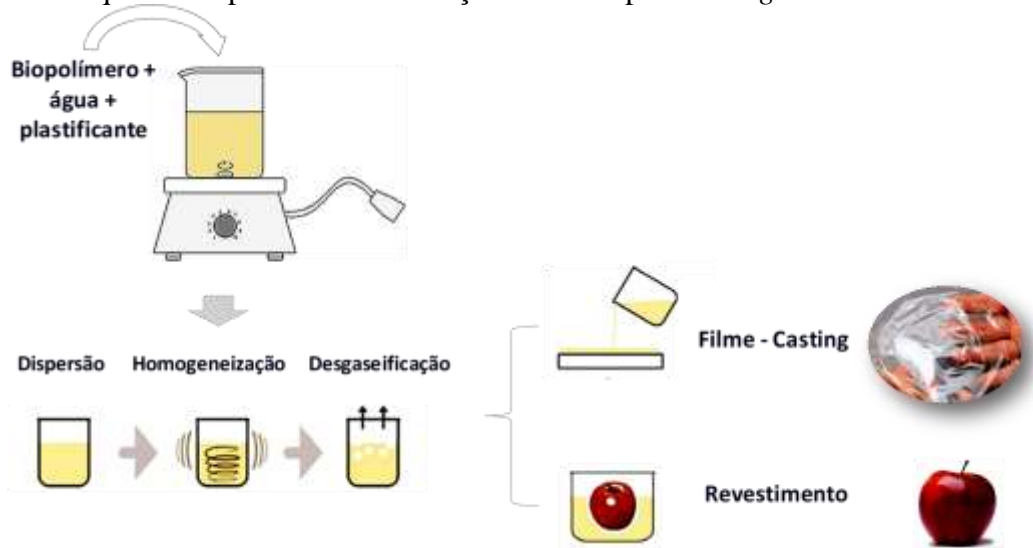
A busca por estratégias para garantir a segurança e qualidade dos alimentos de forma eficiente e sustentável cresce ao passo que a indústria de embalagens evolui. O setor de embalagens é vital na indústria de alimentos, uma vez que visa conter, proteger, transportar e transmitir informações do produto, podendo influenciar significativamente na decisão de compra (Ahmed *et al.*, 2022, p.100913). A embalagem atua diretamente na proteção contra alterações indesejáveis que possam ocorrer durante a vida de prateleira do produto, evitando contato com odores, luz, umidade, poeira e outros fatores externos que possam comprometer a qualidade do alimento (Flóres *et al.*, 2022, p.100938).

As embalagens flexíveis são amplamente utilizadas no ramo dos alimentos. A indústria de embalagens busca por filmes com excelentes propriedades mecânicas, de barreira e estabilidade térmica. Os plásticos derivados do petróleo atendem bem a estes requisitos, no entanto, o descarte inadequado e a não biodegradabilidade destes materiais levam a uma crescente procura por materiais de base biológica como alternativa aos polímeros à base de petróleo (Patil *et al.*, 2021, p.101352).

No que concerne as estratégias investigadas, o desenvolvimento de embalagens ativas está entre as principais tecnologias promissoras no setor de embalagens de alimentos (Roy *et al.*, 2021, p.131885). A embalagem ativa consiste num sistema capaz de estender a vida útil dos alimentos e melhorar a segurança e a qualidade dos alimentos pela interação entre o sistema da embalagem e o produto (Kuchaiyaphum *et al.*, 2024; p.137224) Essas embalagens podem ser produzidas por meio de polímeros naturais, como carboidratos, proteínas, lipídeos ou por suas blendas ou por polímeros não biodegradáveis (Amin *et al.*, 2022, p.100903).

Estas embalagens podem ser produzidas sob a forma de filmes ou revestimentos. O filme é o resultado da moldagem e secagem controlada, de uma solução filmogênica, que é adicionada sobre o alimento, enquanto o revestimento consiste numa fina película que se forma no produto, após a aplicação da solução ou emulsão (Suhag *et al.*, 2020, p.109582; Maan *et al.*, 2021, p.329-341). Na Figura 1, pode-se observar o esquema da formação do revestimento e do filme, pelo método de *Casting*, que consiste em colocar a solução sobre uma placa, seguida de secagem em estufa para evaporação do solvente.

Figura 2. Esquema do processo de obtenção do filme por *Casting* e do revestimento.



Fonte: Do Autor (2024).

As embalagens ativas são classificadas em duas principais categorias: embalagens ativas não migratórias ou absorvedoras e as embalagens de liberação ativa. As não migratórias/absorvedoras atuam removendo componentes indesejáveis do ambiente das embalagens como oxigênio, etileno e umidade. Já as de liberação ativa, promovem a migração controlada de substâncias desejáveis ao produto embalado, como emissores de CO₂, agentes antioxidantes e antimicrobianos (Ahmed *et al.*, 2022, p.100913).

As substâncias bioativas, adicionadas à embalagem, exercem mecanismos característicos e impactam positivamente o alimento, uma vez que têm se mostrado eficazes na prevenção da oxidação e na inibição da deterioração microbiana (Amin *et al.*, 2022, p.100903). O sistema da embalagem ativa comumente divide-se em três partes: substância bioativa, material de embalagem e alimento, cujas principais atividades migratórias dos compostos biologicamente ativos ocorrem por meio de difusão na estrutura do polímero, transferência de materiais da embalagem para superfície do produto e distribuição entre interfaces (Kuai *et al.*, 2021, p.106992).

2.4 BIOPOLÍMEROS E EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

As embalagens biodegradáveis são produzidas a partir de polímeros naturais, como proteínas (gelatina, caseína, ovoalbumina, zeína e proteínas miofibrilares), polissacarídeos (amido e seus derivados, pectina, alginato e carragena) e lipídeos (monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido graxo) ou pela combinação dessas macromoléculas (Bermúdez-oria *et al.*, 2019, p.213-218; Soncu *et al.*, 2018, p.198-204).

O uso de biopolímeros para produção de embalagens de alimentos vem configurando-se como uma alternativa promissora ao uso dos plásticos de origem petroquímica devido à sua biodegradabilidade, biocompatibilidade, natureza atóxica e ser amigo do meio ambiente. Além disso, a mistura de dois ou mais biopolímeros, incorporados com compostos bioativos, vêm sendo amplamente estudados devido as melhorias dessas associações causadas as propriedades mecânicas e de barreiras de filmes biodegradáveis puros (Basumatary *et al.*, 2023, p.124826).

2.4.1 Gelatina

A gelatina é uma proteína insípida, incolor e solúvel em água obtida a partir da hidrólise parcial do colágeno (Luo *et al.*, 2022, p.110762). O colágeno, por sua vez, consiste em uma proteína fibrosa existente no tecido conjuntivo de animais, sendo constituída de unidades de glicina, prolina e hidroxiprolina, formando uma estrutura em tripla hélice (Tyuftin; Kerry, 2021, p.100688).

A gelatina pode ser obtida da pele e subprodutos de bovinos, suínos, aves e peixes, podendo ser produzida na forma de granulado ou pó, através de baixo custo e disponibilidade, tornando-a um biopolímero de alto interesse para produção de embalagens biodegradáveis para alimentos (Luo *et al.*, 2022, p.110762).

A gelatina vem sendo estudada para produção de embalagens biodegradáveis como alternativa aos plásticos de origem petroquímica devido as suas boas propriedades mecânicas e de barreiras, proteção contra luz e oxigênio, capacidade de transportar ingredientes ativos, baixo ponto de fusão, facilidade de obtenção e abundância, além de não poluir o meio ambiente (Wu *et al.*, 2014, p.7-16; Shankar *et al.*, 2019, p.100363).

Na tabela 1 encontram-se dispostos alguns artigos que avaliaram a aplicação de embalagens à base de gelatina para aplicação em carnes e produtos cárneos. Observa-se uma diversidade de pesquisas envolvendo o uso da gelatina pura ou em união com outros biopolímeros. Verifica-se que a incorporação de substâncias bioativas nas embalagens pode ser

efetiva para preservação da carne e seus derivados, mantendo a qualidade do produto e aumentando sua vida útil. Diante disso, é possível afirmar que o desenvolvimento de embalagens ativas se configura com uma opção viável para substituir os plásticos de origem petroquímica, bem como para ser veículo de transporte de aditivos naturais para preservação de alimentos.

Tabela 1. Exemplos de pesquisas com embalagens ativas à base de gelatina e sua aplicação em carnes e derivados.

Biopolímero	Aditivo	Aplicação	Principais resultados	Referências
Gelatina/ Carragenina	Extrato da semente de tâmaras Mekwiya	Carne caprina	O filme ativo melhorou a qualidade e a segurança da carne crua de cabra. O filme contendo 0,88% do extrato conservou a carne crua de cabra por mais de 14 dias sob armazenamento a 4 °C.	Amokrane-Aidat <i>et al.</i> (2024, p.135285)
Gelatina/ Quitonsana	Chá verde	Carne Suína	A carne embalada com o filme ativo reduziu o crescimento bacteriano e manteve a qualidade da cor da carne durante o armazenamento a 20 °C por 48 h.	Khan <i>et al.</i> (2023, p.101075)
Gelatina	Extrato de chá verde	Linguiça frescal	A incorporação de extrato de chá verde no filme de gelatina atrasou a oxidação lipídica de linguiça fresca revestida com este filme, indicando que ele pode ser usado como uma alternativa para aumentar a vida útil desses produtos.	Hamann <i>et al.</i> (2022, p.108966)
Gelatina	Extrato do resíduo da acerola	Hambúrgue r bovino	O filme foi efetivo no retardo das reações de oxidação lipídica e proteica dos hambúrgueres armazenados sob congelamento e ajudaram a estabilizar a coloração vermelha e reduzir as	Santos <i>et al.</i> (2022, p.112837)

			perdas de peso das amostras embaladas.	
Gelatina/ Nanoquitosana	Óleo essencial <i>Zataria multiflora</i> Boiss	Peito de frango	Os filmes elaborados apresentaram ação antimicrobiana. O filme contendo 0,9 % óleo essencial estendeu a vida útil da carne de peito de frango durante o armazenamento refrigerado por pelo menos 14 dias.	Hematizad <i>et al.</i> (2021, p.100751)
Gelatina	Ácido de Alecrim	Bacon chinês	A adição do extrato aumentou a espessura e melhorou a resistência à água e as propriedades de barreira UV dos filmes de gelatina, mas diminuiu a transparência. O filme ativo exibiu excelente atividade antioxidante e retardou a oxidação lipídica durante o armazenamento do bacon chinês.	Zhang <i>et al.</i> (2019, p.121-130)
Gelatina/ Pectina	Antioxidante s de oliva	Carne bovina	O filme comestível bioativo feito de pectina e gelatina de peixe contendo os antioxidantes naturais de oliva, foi eficaz em retardar a oxidação lipídica da carne bovina crua durante o armazenamento refrigerado.	Bermúdez-Oria <i>et al.</i> (2019, p.213-218)
Gelatina	<i>Lawsonia inermis</i>	Carne bovina	O revestimento ativo aumentou a vida útil da carne, diminuindo a contagem de total e psicrófilas de bactérias no final do armazenamento. Retardou a oxidação lipídica da carne durante o período de armazenamento. O revestimento ativo de gelatina oferece uma	Jridi <i>et al.</i> (2018, p.238-245)

excelente proteção para evitar a deterioração da carne.

Fonte: Do Autor (2024).

2.4.2 Babosa (*Aloe vera*)

A babosa (*Aloe vera*) é uma planta suculenta e xerófita pertencente à família Asphodelaceae. É resistente à seca e apresenta grande importância terapêutica devido às suas propriedades medicinais, sendo alvo de investigações nos setores farmacêuticos, de cosméticos e de alimentos (Grace *et al.*, 2015, p.1-12; Kumar *et al.*, 2022, p.1-10).

O gel de babosa corresponde à um material gelatinoso, escorregadio, transparente e de composição complexa, formado por carboidratos, proteínas, fibras, vitaminas, minerais, aminoácidos, ácidos orgânicos e compostos bioativos (Kumar *et al.*, 2022, p.1-10). Além de ser utilizado industrialmente como erva fitoterápica, no preparo de alimentos funcionais, o gel de babosa têm se destacado na área de embalagens de alimentos, com aplicações em filmes e revestimentos biodegradáveis (Maan *et al.*, 2018, p.1-10).

A aplicação do gel de babosa em embalagens biodegradáveis tem se mostrado efetiva no aumento da vida útil de alimentos perecíveis, devido as suas boas propriedades de barreira, ação antioxidante e antimicrobiana, o que tem promovido uma intensa investigação no seu uso como embalagem ecologicamente correta e ativa (Maan *et al.*, 2021, p.329-341).

Chin *et al.* (2017, p.128-134) estudaram o efeito da incorporação do gel de *Aloe vera* em filme de gelatina e concluíram que os filmes compostos exibiram propriedades antioxidantes dependentes da concentração e que a plasticidade dos filmes de gelatina melhorou significativamente com a adição de gel de *Aloe vera*.

Tang *et al.* (2023, p.107445) avaliaram o efeito do filme de *Aloe vera* na conservação de mirtilo e descobriu-se que o tratamento de filme composto à base de *Aloe vera* melhorou a capacidade da fruta de resistir a forças externas e facilitou o transporte pós-colheita de mirtilos, sendo efetivo na preservação da qualidade do fruto.

Basumatary *et al.* (2023, p.124826) investigaram a ação de filmes compostos à base de quitosana contendo nanoemulsão de eugenol, nanopartículas de ZnO e gel de *Aloe vera* para embalagens ativas de alimentos e concluíram que a incorporação de agentes ativos na quitosana melhorou as atividades antibacterianas e antioxidantes (em até 95%), propriedades de barreira UV (em 3–6 vezes), hidrofobicidade, compactação e propriedades ópticas dos filmes

compostos, com potencial para serem usados como alternativas sustentáveis às embalagens de alimentos à base de plásticos sintéticos

2.5 EMBALAGENS ATIVAS NA CONSERVAÇÃO DE CARNES E DERIVADOS

O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas para aplicação em carnes e derivados cresce progressivamente (Kaya; Kahyaoglu; Sumnu, 2022, p.536-546; Marzlan *et al.*, 2022, p.115058). Os compostos bioativos presentes nos vegetais têm demonstrado excelentes propriedades farmacológicas e sua aplicação como aditivos naturais é uma estratégia promissora para substituição dos aditivos sintéticos comerciais (Arruda *et al.*, 2022, p.111160). Dentre os principais tipos de embalagens ativas utilizadas em carnes e seus produtos, pode-se destacar as embalagens com ação antioxidante e antimicrobiana.

As embalagens antioxidantes atuam através da liberação de compostos antioxidantes para o alimento ou absorção de substâncias oxidativas como oxigênio e outras espécies reativas, promovendo a inibição da oxidação e, conseqüente perda de cor e sabor de ranço, pela estabilização dos radicais livres (Gómez-estaca *et al.*, 2014, p.42-51). A atividade antioxidante desses compostos deve-se principalmente aos compostos fenólicos que atuam protegendo o produto contra processos oxidativos (Rangaraj *et al.*, 2021, p.101251; Silva *et al.*, 2022, p.101877).

As embalagens antimicrobianas retardam/inibem a proliferação dos microrganismos como fungos e bactérias, aumentando a segurança e vida útil do produto. Os compostos antimicrobianos comumente investigados são os óleos essenciais e extratos de plantas ricos em fitoquímicos como saponinas, flavonoides, taninos, compostos fenólicos, ácidos orgânicos e terpenóides (Amin *et al.*, 2022, p.100903; Myint *et al.*, 2022, p.100924). Entretanto, esses compostos de fontes naturais podem alterar as características sensoriais e comprometer a qualidade do produto, desta forma, incorporar os antimicrobianos vegetais em embalagens de alimentos é uma efetiva opção para uso dessas substâncias (Premanath *et al.*, 2022, p.109185).

Diante do exposto, vale salientar que os compostos bioativos incorporados às embalagens de alimentos devem ser de baixo custo, atóxicos, ser efetivo em baixas concentrações, ter boa estabilidade, ser compatível com o produto, além de não afetar as características sensoriais dos alimentos (Kuai *et al.*, 2021, p.106992).

2.6 DESAFIOS NA COMERCIALIZAÇÃO DE EMBALAGENS ATIVAS

A comercialização das embalagens ativas é uma alternativa promissora para minimizar, com eficiência, o uso dos conservantes sintéticos convencionais, porém, ainda é algo limitado. Os principais obstáculos que podem ser destacados, são: o custo com equipamentos, o que associa à produtos de alto valor, dificuldades no processo de produção, ausência de padronização e regulamentação das substâncias ativas empregadas, informações de rotulagem, baixa estabilidade e interferências nos alimentos e nos materiais da embalagem, bem como alterações nas propriedades estruturais e de proteção da embalagem (Fang *et al.*, 2017, p.60-71; Ahmed *et al.*, 2022, p.100913).

Em carnes e derivados, as principais limitações são com a segurança e eficácia dos compostos bioativos que são incorporados às embalagens. A incorporação de uma substância ativa não pode interferir de forma negativa no produto, por isto, a toxicidade e concentração do princípio ativo devem ser seguros. A incorporação de extratos vegetais, especiarias ou óleos essenciais pode afetar negativamente a cor, aroma e o sabor do produto, comprometendo a aceitação do consumidor. Além disso, a adição dessas substâncias pode fragilizar as propriedades mecânicas e de barreiras das embalagens ativas (Ahmed *et al.*, 2022, p.100913).

Produzir embalagens ativas a partir de bases naturais para aplicação na indústria de alimentos ainda é um desafio. A combinação de diferentes matrizes poliméricas, diferentes métodos de obtenção da embalagem e adição de substâncias com propriedades bioativas devem ser estudados. Além disso, entender a interação entre os compostos ativos e o produto é algo que precisa ser definido (Umaraw *et al.*, 2020, p.10-24; Ahmed *et al.*, 2022, p.100913). Portanto, futuras pesquisas sobre embalagens ativas para a indústria alimentícia devem ser direcionadas para aplicação comercial, visando a segurança, aceitação do consumidor e alterações nas características sensoriais do produto.

2.7 EXTRATOS VEGETAIS E SEU USO EM EMBALAGENS ATIVAS

Os vegetais têm sido amplamente estudados, pois detêm de compostos bioativos de interesse para o setor alimentício. Esses compostos desempenham atividade crucial em resposta aos fatores bióticos e abióticos, atuando diretamente na proteção e sobrevivência do tecido (Salem *et al.*, 2021, p.105107).

Um composto bioativo é qualquer substância capaz de interagir com o tecido vivo, conferindo distintos efeitos farmacológicos (Alu'datt *et al.*, 2022, p.101971). Os compostos bioativos são produzidos pelo metabolismo secundário das plantas e incluem compostos fenólicos, ácidos orgânicos, taninos, terpenoides e outros. Nas plantas, estes compostos atuam

sobre a resistência à estresses ambientais, doenças e diversos fatores desfavoráveis ao seu desenvolvimento (More; Jambrak; Arya, 2022, p.296-315).

Os compostos biologicamente ativos são reconhecidos por apresentarem propriedades farmacológicas que auxiliam na prevenção do estresse oxidativo e doenças crônicas como ação antioxidante, antimicrobiana, antifúngica e anticarcinogênica (More; Jambrak; Arya, 2022, p.296-315). Tais compostos podem ser obtidos através de extratos vegetais, óleos essenciais, ervas e especiarias, além de várias biofontes de resíduos (Amin *et al.*, 2022, p.100903).

Dentre os bioativos de interesse para aplicação em embalagens de alimentos, destacam-se os compostos fenólicos (Özcan, 2022, p.100532), os quais podem ser extraídos de diferentes fontes vegetais e são comprovados por seu potencial farmacológico e benefícios à saúde humana (Salem *et al.*, 2021, p.105107; Yusoff *et al.*, 2022, p.111268).

2.7.1 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos são substâncias naturalmente presentes nos vegetais, produzidas pela via do ácido chiquímico e do acetato via ácido malônico, caracterizadas por conter pelo menos um anel aromático ligado a uma ou mais hidroxilas e são divididas em dois grandes grupos: os ácidos fenólicos e os flavonoides (Mandal; Chakraborty; Dey, 2010, p.359-368; Kumar, 2017, p.349-364).

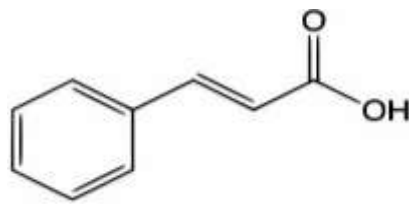
Nas plantas, atuam na defesa contra fatores externos adversos como, variações de temperatura, radiação UV e ataque de patógenos. Na saúde humana, esses compostos desempenham funções importantes contra danos oxidativos e prevenção de doenças associadas ao envelhecimento, como doenças cardiovasculares e degenerativas (Moazzen *et al.*, 2022, p.e10467).

Os compostos fenólicos são potentes antioxidantes naturais, pois limitam os processos oxidativos através da sua capacidade redutora, interrompendo a reação em cadeia dos radicais livres e inativando a atividade enzimática que pode catalisar o processo oxidativo (Kuai *et al.*, 2021, p.106992). Os antioxidantes naturais são compostos biodegradáveis, biocompatíveis e atóxicos. Além disso, esses compostos podem ser incorporados às embalagens de alimentos para melhorar a qualidade e a vida útil do produto, sendo alternativa promissora ao uso dos aditivos sintéticos na indústria alimentícia (Rangaraj *et al.*, 2021, p.101251; Amin *et al.*, 2022, p.100903; Carli *et al.*, 2022, p.486-497).

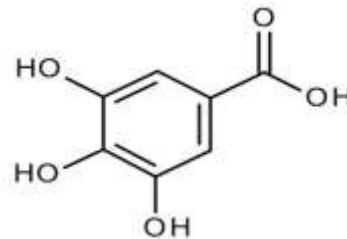
2.7.1.1 Ácidos Fenólicos

Os ácidos fenólicos são substâncias presentes nas paredes celulares das plantas, originadas através da via fenilpropanoide, que utiliza o aminoácido fenilalanina como substrato, convertendo-o em derivados (Figura 3) classificados como ácidos hidroxi-cinâmicos (ácido cafeico, ferúlico, p-cumárico, trans cinâmico) e ácidos hidroxi-benzóicos (ácido gentísico, salicílico, protocatecuico, gálico, vanílico, siríngico) (Kumar, 2017, p.349-364; Spagnol *et al.*, 2019, p.358-366).

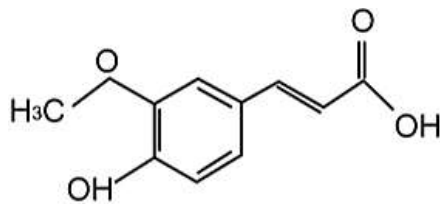
Figura 3. Estrutura química de alguns ácidos fenólicos.



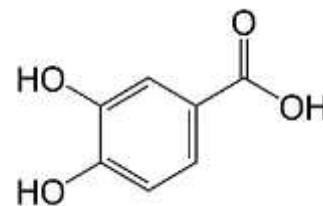
Ácido Cinâmico



Ácido Gálico



Ácido Ferúlico



Ácido Protocatecuico

Fonte: Do Autor (2024).

Os ácidos fenólicos estão associados a funções importantes nas plantas como, síntese de proteínas, sinalizadores, absorção de nutrientes, atividade enzimática e alelopátia, além disso, apresentam variadas propriedades bioativas, como atividade antimicrobiana e antioxidante (Hernández-García *et al.*, 2022a, p.100894).

Fang *et al.* (2018, p.90-96) estudaram o efeito do revestimento comestível de ácido gálico/quitosana sobre a preservação da qualidade da carne de porco fresca em embalagens de atmosfera modificada (MAP) armazenadas a 4 °C e concluíram que o revestimento ácido gálico/quitosana inibiu a oxidação da hemoglobina, oxidação lipídica e proteica e que o revestimento com a adição de 2% de solução de quitosana e de 0,2% de ácido gálico foi o que apresentou melhores propriedades antioxidantes e antimicrobiana.

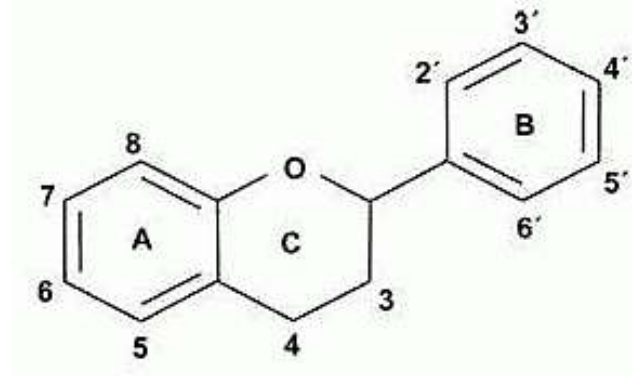
Hernández-García *et al.* (2022b, p.132650) avaliaram o efeito de filmes bicamadas de amido-poliéster na extensão da vida útil de carne suína armazenada sob refrigeração. Os autores

verificaram que os ácidos fenólico, *p*-coumárico e protocatecuico melhoraram significativamente a capacidade antioxidante dos filmes bicamadas, reduzindo a oxidação lipídica da carne embalada durante o armazenamento.

2.7.1.2 Flavonoides

Os flavonoides compreendem uma grande classe de compostos fenólicos. Encontram-se nos vacúolos celulares dos vegetais e tem como estrutura básica três anéis aromáticos (C6-C3-C6) A e B unidos por um anel heterocíclico C (Figura 4).

Figura 4. Estrutura química básica dos flavonoides.



Fonte: ALKHALIDY et al. (2018).

Conforme substituição e nível de oxidação do anel C, os flavonoides dividem-se em diferentes subclasses: flavonóis, flavonas, flavanonas, flavanas, isoflavonoides e antocianinas. As modificações químicas ocasionadas por hidroxilação, glicosilação e metilação nos anéis A e B originam os respectivos derivados de cada subclasse (Kumar, 2017, p.349-364; Kaushal *et al.*, 2022, p.111442; Shen *et al.*, 2022, p.132531).

Os flavonoides estão presentes naturalmente nas plantas, flores, sementes, frutos e atuam na proteção e manutenção do tecido, além participarem da pigmentação dos vegetais (Shen *et al.*, 2022, p.132531). Esses compostos têm sido alvo de interesse de muitas pesquisas devido ao seu potencial nutracêutico e benefícios à saúde humana como ação antioxidante, antidiabética, anticarcinogênica e anti-inflamatória (Kaushal *et al.*, 2022, p.111442).

Wan *et al.* (2022, p.107517), estudaram o efeito da intervenção das catequinas nos biomarcadores de risco cardiometabólico em humanos e ratos devido a exposição à acrilamida e concluíram que as catequinas protegem contra o risco cardiometabólico e atuam como antioxidantes naturais que poderiam ser um ingrediente terapêutico para prevenir a toxicidade induzida pela acrilamida.

Diante disso, considerando o crescente interesse dos consumidores por produtos naturais e ecologicamente corretos, pesquisadores têm estudado o efeito da incorporação de compostos bioativos sobre a conservação de alimentos e uma das formas de inserção é por meio de embalagens biodegradáveis.

Kaewprachu *et al.* (2018, p.173-183) verificaram o efeito do filme de gelatina incorporada com nisina e catequina sobre a vida de prateleira de carne suína picada e constataram que filmes contendo os respectivos flavonoides apresentaram ação antioxidante e antimicrobiana, estendendo o prazo de validade do produto durante o armazenamento refrigerado.

Filipini *et al.* (2020, p.106139) desenvolveram filmes ativos e sensíveis ao pH pela incorporação de extrato da casca de jambolão em filmes de metilcelulose. Foram determinadas propriedades relacionadas à embalagem, como cristalinidade, ângulos de contato, microestrutura e propriedades térmicas, sensibilidade ao pH e a atividade antioxidante. A incorporação de extratos de peles de jambolão em filmes de metilcelulose melhorou o desempenho mecânico e de barreira, aumentando a coesão das estruturas matriciais. Mudanças de cor ocorreram nos filmes alterando o pH por causa da sensibilidade das antocianinas a mudanças de pH. Tais filmes podem ser usados para indicar o frescor dos produtos e aumentar a vida útil de carne e produtos aquáticos, onde ocorre a oxidação lipídica, e a modificação do pH do alimento está associada à deterioração.

Alves-Silva, Romani e Martins (2022, p.100923) avaliaram o potencial da polpa de jatobá como matriz de polímeros para a produção de filmes ativos e biodegradáveis. Os filmes de Jatobá mostraram resultados promissores para compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante. Com base no ensaio utilizando diferentes simuladores alimentares, os filmes podem ser usados como embalagens ativas em produtos hidrofílicos, ácidos ou não ácidos, a fim de atuar como antioxidantes naturais, prevenindo ou retardando as reações de oxidação.

2.8 COENTRO

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma planta da família das Apiaceae e faz parte da vida cotidiana de inúmeras pessoas. Trata-se de uma planta aromática que é amplamente cultivada e utilizada na medicina, cosmética e no setor alimentício, tanto para fins culinários como pelas suas propriedades farmacológicas (Wei *et al.*, 2024, p.140128).

O coentro é uma planta adaptável a diferentes condições climáticas e de solo, desenvolvendo-se em zonas úmidas e áridas, o que facilita seu cultivo e comercialização,

principalmente por pequenos produtores, além da facilidade de cultivo nas próprias residências (Guimarães *et al.*, 2024, p.143346; Kalenska *et al.*, 2024, p.101321).

As partes da planta (Figura 5), como folhas (Figura 5A) e sementes (Figura 5B), possuem fitoquímicos e atividade biológica, incluindo ação antioxidante e antimicrobiana. Entretanto, as sementes de coentro além de serem constituídas por proteínas, lipídeos, vitaminas e minerais, contém compostos bioativos de interesse para aplicação no setor de cosmético, medicamentos e alimentos (Rahim *et al.*, 2024, p.117976).

Figura 5. Folhas e Sementes de coentro.



Fonte: Do Autor (2024).

As folhas frescas e sementes secas de coentro comumente são utilizadas como aromatizantes, tanto através dos seus extratos como dos óleos essenciais, que têm uma variedade de compostos bioativos, os quais podem ser adicionados aos alimentos também como conservantes (Saadati; Ayyari; Shams-Bakhsh, 2023, p.804-812). As propriedades fitoterápicas das sementes de coentro devem-se, especialmente, à presença de compostos como ácidos graxos, esteróis, tocóis e compostos fenólicos (Laribi *et al.*, 2015, p.9-26).

Na literatura, observa-se uma maior concentração de pesquisas sobre os óleos essenciais da semente do coentro para aplicação em alimentos, entretanto, estudos sobre a aplicação dos extratos da semente de coentro foram encontrados, todavia, ainda há uma carência de estudos voltados para a exploração dos compostos bioativos obtidos a partir dos extratos da semente da planta.

Šojić *et al.* (2019, p.107879) investigaram o efeito do óleo essencial de coentro sobre a qualidade e a segurança de salsichas suínas cozidas com diferentes níveis de nitrito e constataram que a adição de óleo essencial de coentro (0,12 $\mu\text{L/g}$) combinada com concentração reduzida de nitrito de sódio (60 mg/kg), retardou eficientemente a oxidação lipídica e o

crescimento microbiano e proporcionou maior vermelhidão das salsichas durante 52 dias de armazenamento refrigerado.

El-Sayed *et al.* (2022, p.102495) estudaram o efeito da nanoemulsão de extrato de sementes de coentro em queijo macio e verificaram que a nanoemulsão apresentou atividade bacteriostática e retardou o crescimento de fungos e leveduras em queijos macios por até 20 dias.

Alloh *et al.* (2024, p.110479) avaliaram o efeito de revestimentos comestíveis contendo extratos supercríticos de alecrim, tomilho e coentro como agentes antimicrobianos em queijo ultrafiltrado e constataram que a combinação de extratos de alecrim e coentro aumentou sinergicamente seu efeito antimicrobiano e estendeu a vida útil do queijo além de 40 dias.

3 CONCLUSÕES

Considerando a busca por estratégias para controlar a oxidação lipídica em carnes e derivados, a aplicação de filmes e revestimento contendo extratos naturais, com potencial antioxidante, tem se mostrado efetivo e viável. A semente de coentro é uma especiaria rica em compostos bioativos com propriedades farmacológicas de grande interesse para a indústria de cosmético, farmacêutica e alimentos. O óleo essencial da semente de coentro é o constituinte mais estudado na literatura, no entanto, a atividade antioxidante do extrato da semente de coentro também vem sendo investigada. Assim, o presente estudo fornece a base para uma investigação mais aprofundada sobre as diferentes formas de aplicações do extrato da semente de coentro, seja através de filmes ou revestimentos biodegradáveis, ao mesmo tempo em que leva em consideração o uso de recursos ecologicamente corretos.

REFERÊNCIAS

- AHMED, M. W., HAQUE, M. A., MOHIBBULLAH, M., KHAN, M. S. I., ISLAM, M. A., MONDAL, M. H. T., & AHMMED, R. A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. **Food Packaging and Shelf Life**, v.33, p.100913, Bangladesh, September, 2022.
- ALLOH, P. B., EL-SAID, M. M., EL-SAYED, H. S., BARANENKO, D. A., & EL-MESSERY, T. M. Extension of ultrafiltered cheese shelf life using edible coatings containing supercritical rosemary, thyme and coriander extracts as antimicrobial agents. **Food Control**, v.163, p.110479, Russia, September, 2024.
- ALU'DATT, M. H., ALROSAN, M., GAMMOH, S., TRANCHANT, C. C., ALHAMAD, M. N., RABABAH, T., ... & TAN, T. C. Encapsulated-based films for bioactive compounds and their application in the food industry: A roadmap for food-derived functional and healthy ingredients. **Food Bioscience**, v.50, p.101971, Jordan, December, 2022.
- ALVES-SILVA, G. F., ROMANI, V. P., & MARTINS, V. G. Jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*) pulp films: Properties, antioxidant potential and biodegradability. **Food Packaging and Shelf Life**, v.34, p.100923, Brazil, December, 2022.
- AMARAL, A. B., SILVA, M. V. D., & LANNES, S. C. D. S. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. **Food Science and Technology**, v.38, p.1-15, Brazil, Dec. 2018.
- AMIN, U., KHAN, M. K. I., MAAN, A. A., NAZIR, A., RIAZ, S., KHAN, M. U., ... & LORENZO, J. M. Biodegradable active, intelligent, and smart packaging materials for food applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v.33, p.100903, Pakistan, September, 2022.
- AMOKRANE-AIDAT, R., BRAHMI, F., CHENNIT, B., SMAOUI, S., ELHADEF, K., CHAARI, M., ... & BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L. Sustainable gelatin-kappa carrageenan active packaging with Mekwiya date seeds to enhance goat meat quality and shelf life. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 279, p.135285, Algeria, November, 2024.
- ARRUDA, T. R., BERNARDES, P. C., E MORAES, A. R. F., & SOARES, N. D. F. F. Natural bioactives in perspective: The future of active packaging based on essential oils and plant extracts themselves and those complexed by cyclodextrins. **Food Research International**, v.156, p.111160, Brazil, June, 2022.
- BASUMATARY, I. B., MUKHERJEE, A., & KUMAR, S. Chitosan-based composite films containing eugenol nanoemulsion, ZnO nanoparticles and *Aloe vera* gel for active food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.242, p.124826, Índia, July, 2023.
- BERMÚDEZ-ORIA, A., RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ, G., RUBIO-SENENT, F., FERNÁNDEZ-PRIOR, Á., FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J. Effect of edible pectin-fish gelatin films containing the olive antioxidants hydroxytyrosol and 3, 4-dihydroxyphenylglycol on

beef meat during refrigerated storage. **Meat Science**, v.148, p.213-218, Spain, February, 2019.

CAI, M., ZHANG, X., ZHONG, H., LI, C., SHI, C., CUI, H., & LIN, L. Ethyl cellulose/gelatin-carboxymethyl chitosan bilayer films doped with Euryale ferox seed shell polyphenol for cooked meat preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.256, p.128286, China, January, 2024.

CARLI, C., AYLANC, V., MOUFFOK, K. M., SANTAMARIA-ECHART, A., BARREIRO, F., TOMÁS, A., ... & FALCÃO, S. I. Production of chitosan-based biodegradable active films using bio-waste enriched with polyphenol propolis extract envisaging food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.213, p.486-497, Portugal, July, 2022.

CHIN, S. S., LYN, F. H., & HANANI, Z. N. Effect of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. **Food Packaging and shelf life**, v.12, p.128-134, Malaysia, June, 2017.

DOMÍNGUEZ, R., PATEIRO, M., GAGAOUA, M., BARBA, F. J., ZHANG, W., & LORENZO, J. M. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. **Antioxidants**, v.8, n.10, p.429, Spain, September 2019.

ELHADEF, K., CHAARI, M., AKERMI, S., ENNOURI, K., HLIMA, H. B., FOURATI, 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, p.109371, Tunisia, January, 2024.

EL-SAYED, H. S., FOUAD, M. T., & EL-SAYED, S. M. Enhanced microbial, functional and sensory properties of herbal soft cheese with coriander seeds extract nanoemulsion. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.45, p.102495, Egypt, October, 2022.

FALOWO, A. B., FAYEMI, P. O., & MUCHENJE, V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. **Food Research International**, v.64, p.171-181, Africa, October, 2014.

FANG, Z., LIN, D., WARNER, R. D., & HA, M. Effect of gallic acid/chitosan coating on fresh pork quality in modified atmosphere packaging. **Food Chemistry**, v.260, p.90-96, Australia, September, 2018.

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

FAOSTAT, F. **Food and agriculture organization of the United Nations**. Statistical database. 2019.

FARAHANI, M., SHAHIDI, F., YAZDI, F. T., & GHADERI, A. Antimicrobial and antioxidant effects of an edible coating of *Lepidium sativum* seed mucilage and *Satureja hortensis* L. essential oil in Uncooked lamb meat. **Food Control**, v.158, p.110240, Iran, April, 2024.

FERNANDES, R. D. P. P., TRINDADE, M. A., LORENZO, J. M., MUNEKATA, P. E. S., & DE MELO, M. P. Effects of oregano extract on oxidative, microbiological and sensory stability of sheep burgers packed in modified atmosphere. **Food Control**, v.63, p. 65-75, Brazil, maio, 2016.

FILIPINI, G.S., ROMANI, V. P., & MARTINS, V. G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, v.109, p.106139, Brazil, December, 2020.

FLÓREZ, M., CAZÓN, P., & VÁZQUEZ, M. Active packaging film of chitosan and Santalum album essential oil: Characterization and application as butter sachet to retard lipid oxidation. **Food Packaging and Shelf Life**, v.34, p.100938, Spain, December, 2022.

GANJEH, A. M., GOMES, A., BARREIRA, M. J., PINTO, C. A., CASAL, S., & SARAIVA, J. A. Effects of pressure-based technologies on food lipids oxidation. **Food Chemistry**, v. 461, p.140768, Portugal, 15 December, 2024.

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

GRACE, O. M., BUERKI, S., SYMONDS, M. R., FOREST, F., VAN WYK, A. E., SMITH, G. F., ... & RØNSTED, N. Evolutionary history and leaf succulence as explanations for medicinal use in aloes and the global popularity of *Aloe vera*. **BMC evolutionary biology**, v.15, n.1, p.1-12, Denmark, February, 2015.

GUIMARÃES, R.Q., STERZELECKI, F.C., SOUZA, R.J.F., DE CARVALHO, T.C.C., SILVA, A.L., OWATARI, M.S., ... & PALHETA, G.D.A. Integrated cultivation of tambaqui (*Colossoma macropomum*) with coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown at different plant density. **Journal of Cleaner Production**, v.470, p.143346, Brazil, September, 2024.

HADIDI, M., ORELLANA-PALACIOS, J. C., AGHABABAEI, F., GONZALEZ-SERRANO, D. J., MORENO, A., & LORENZO, J. M. Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. **LWT - Food Science and Technology**, v.169, p.114003, Spain, november, 2022.

HAMANN, D., PUTON, B. M. S., COMIN, T., COLET, R., VALDUGA, E., ZENI, J., ... & CANSIAN, R. L. Active edible films based on green tea extract and gelatin for coating of fresh sausage. **Meat Science**, v.194, p.108966, Brazil, December, 2022.

HEMATIZAD, I., KHANJARI, A., BASTI, A. A., KARABAGIAS, I. K., NOORI, N., GHADAMI, F., ... & TEIMOURIFARD, R. In vitro antibacterial activity of gelatin-nanochitosan films incorporated with Zataria multiflora Boiss essential oil and its influence on microbial, chemical, and sensorial properties of chicken breast meat during refrigerated storage. **Food Packaging and Shelf Life**, v.30, p.100751, Iran, December, 2021.

HERNÁNDEZ-GARCÍA, E., VARGAS, M., & CHIRALT, A. Effect of active phenolic acids on properties of PLA-PHBV blend films. **Food Packaging and Shelf Life**, v.33, p.100894, Spain, September, 2022a.

HERNÁNDEZ-GARCÍA, E., VARGAS, M., & CHIRALT, A. Starch-polyester bilayer films with phenolic acids for pork meat preservation. **Food Chemistry**, v.385, p.132650, Spain, August, 2022b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rebanho de Ovinos (Ovelhas e Carneiros)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/ovino/br>>. Acesso em: 23 de setembro de 2024.

JRIDI, M., MORA, L., SOUISSI, N., ARISTOY, M. C., NASRI, M., & TOLDRÁ, F. Effects of active gelatin coated with henna (*L. inermis*) extract on beef meat quality during chilled storage. **Food Control**, v.84, p.238-245, Spain, February, 2018.

KAEWPRACHU, P., AMARA, C. B., OULAHAL, N., GHARSALLAOUI, A., JOLY, C., TONGDEESOONTORN, W., SAROAT, DEGRAEVE, P. Gelatin films with nisin and catechin for minced pork preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, v.18, p.173-183, Thailand, December, 2018.

KALENSKA, S., MAZURENKO, B., HARBAR, L., ZHOVTUN, M., YUNYK, A., & MOKRIENKO, V. Seed yield limitations of coriander (*Coriandrum sativum* L.) based on plant structure analysis. **Journal of Agriculture and Food Research**, v.18, p.101321, Ukraine, December, 2024.

KAUSHAL, N., SINGH, M., & SANGWAN, R. S. Flavonoids: food associations, therapeutic mechanisms, metabolism and nanoformulations. **Food Research International**, v.157, p.111442, Índia, July, 2022.

KAYA, E., KAHYAOGU, L. N., & SUMNU, G. Development of curcumin incorporated composite films based on chitin and glucan complexes extracted from *Agaricus bisporus* for active packaging of chicken breast meat. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.221, p.536-546, Turkey, November, 2022.

KHAN, A., EZATI, P., & RHIM, J. W. Chitosan/gelatin-based multifunctional film integrated with green tea carbon dots to extend the shelf life of pork. **Food Packaging and Shelf Life**, v.37, p.101075, Republic of Korea, June, 2023.

KUAI, L., LIU, F., CHIOU, B. S., AVENA-BUSTILLOS, R. J., MCHUGH, T. H., & ZHONG, F. Controlled release of antioxidants from active food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v.120, p.106992, China, November, 2021.

KUCHAIYAPHUM, P., AMORNSAKCHAI, T., CHOTICHAYAPONG, C., SAENGSUWAN, N., YORDSRI, V., THANACHAYANONT, C., ... & SOTAWONG, P. Pineapple stem starch-based films incorporated with pineapple leaf carbon dots as functional filler for active food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.282, p.137224, Thailand, December, 2024.

KUMAR, B. R. Application of HPLC and ESI-MS techniques in the analysis of phenolic acids and flavonoids from green leafy vegetables (GLVs). **Journal of pharmaceutical analysis**, v.7, n.6, p.349-364, Índia, December, 2017.

KUMAR, R., SALAR, R. K., NAIK, P. K., YADAV, M., KUMAR, A., KUMAR, A.,... & CHHOKAR, V. Elucidation of genetic diversity and population structure of sixty genotypes

of *Aloe vera* using AFLP markers. **South African Journal of Botany**, v.147, p.1-10, Índia, July, 2022.

LARIBI, B., KOUKI, K., M'HAMDI, M., & BETTAIEB, T. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. **Fitoterapia**, v.103, p.9-26, Tunisia, June, 2015.

LUO, Q., HOSSEN, M. A., ZENG, Y., DAI, J., LI, S., QIN, W., & LIU, Y. Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review. **Journal of Food Engineering**, v.313, p.110762, China, January, 2022.

MAAN, A. A., AHMED, Z. F. R., KHAN, M. K. I., RIAZ, A., & NAZIR, A. *Aloe vera* gel, an excellent base material for edible films and coatings. **Trends in Food Science & Technology**, v.116, p.329-341, Pakistan, October, 2021.

MANDAL, S. M., CHAKRABORTY, D., & DEY, S. Phenolic acids act as signaling molecules in plant-microbe symbioses. **Plant signaling & behavior**, v.5, n.4, p.359-368, Índia, April, 2010.

MARZLAN, A. A., MUHIALDIN, B. J., ABEDIN, N. H. Z., MANSHOOR, N., RANJITH, F. H., ANZIAN, A., & HUSSIN, A. S. M. Incorporating torch ginger (*Etilingera elatior* Jack) inflorescence essential oil onto starch-based edible film towards sustainable active packaging for chicken meat. **Industrial Crops and Products**, v.184, p.115058, Malaysia, September, 2022.

MENCI, R., BIONDI, L., NATALELLO, A., LANZA, M., PRIOLO, A., VALENTI, B., ... & LUCIANO, G. (2023). Feeding hazelnut skin to lambs delays lipid oxidation in meat. **Meat Science**, v.202, p.109218, Italy, may, 2023.

MOAZZEN, A., ÖZTINEN, N., AK-SAKALLI, E., & KOŞAR, M. Structure-antiradical activity relationships of 25 natural antioxidant phenolic compounds from different classes. **Heliyon**, v.8, p.e10467, Turkey, August, 2022.

MORE, P. R., JAMBRAK, A. R., & ARYA, S. S. Green, environment-friendly and sustainable techniques for extraction of food bioactive compounds and waste valorization. **Trends in Food Science & Technology**, v.128, p.296-315, Índia, October, 2022.

MYINT, K. Z., YU, Q., QING, J., ZHU, S., SHEN, J., & XIA, Y. Botanic antimicrobial agents, their antioxidant properties, application and safety issue. **Food Packaging and Shelf Life**, v.34, p.100924, China, December, 2022.

OLIVEIRA, F. M., OLIVEIRA, R. M., BUCHWEITZ, L. T. G., PEREIRA, J. R., DOS SANTOS HACKBART, H. C., NALÉRIO, É. S., ... & ZAMBIAZI, R. C. Encapsulation of olive leaf extract (*Olea europaea* L.) in gelatin/tragacanth gum by complex coacervation for application in sheep meat hamburger. **Food Control**, v.131, p.108426, Brazil, January, 2022.

ÖZCAN, M. M. The effect of ginger (*Zingiber officinale*) powders at different concentrations on bioactive compounds, antioxidant activity, phenolic constituents, nutrients and sensory characteristics of wheat bread. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v.28, p.100532, Turkey, June, 2022.

- PATIL, S., BHARIMALLA, A. K., MAHAPATRA, A., DHAKANE-LAD, J., ARPUTHARAJ, A., KUMAR, M., ... & KAMBLI, N. Effect of polymer blending on mechanical and barrier properties of starch-polyvinyl alcohol based biodegradable composite films. **Food Bioscience**, v.44, p.101352, Índia, December, 2021.
- PREMANATH, R., JAMES, J. P., KARUNASAGAR, I., VAŇKOVÁ, E., & SCHOLTZ, V. Tropical plant products as biopreservatives and their application in food safety. **Food Control**, v.141, p.109185, Índia, November, 2022.
- RAHIM, M. A., IMRAN, M., KHAN, F. A., AL-ASMARI, F., REGENSTEIN, J. M., ALOMAR, S. Y., ... & ROCHA, J. M. Characterization and effect of optimized spray-drying conditions on spray-dried coriander essential oil. **Industrial Crops and Products**, v.209, p.117976, Pakistan, March, 2024.
- RANGARAJ, V. M., RAMBABU, K., BANAT, F., & MITTAL, V. Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. **Food Bioscience**, v.43, p.101251, United Arab Emirates, October, 2021.
- ROJAS-MORENO, D. A., NACIMENTO, R. A., PENA-BERMUDEZ, Y. A., REZENDE, V. T., SARTORELLO, G. L., DA SILVA FILHO, C., ... & GAMEIRO, A. H. Can we obtain high productivity allied to environmental gains? An emergy-economic study of sheep meat production systems. **Journal of Cleaner Production**, v.365, p.132722, Brazil, September, 2022.
- ROY, S., PRIYADARSHI, R., EZATI, P., & RHIM, J. W. Curcumin and its uses in active and smart food packaging applications-A comprehensive review. **Food Chemistry**, v. 375, p.131885, Korea, May, 2021.
- SAADATI, M., AYYARI, M., & SHAMS-BAKHSI, M. The effect of beet curly top virus on growth and phytochemical constituents of coriander (*Coriandrum sativum* L.). **South African Journal of Botany**, v.162, p.804-812, Iran, November, 2023.
- SALEM, M. Z., MERVAT, E. H., ALI, H. M., ABDEL-MEGEED, A., EL-SETTAWY, A. A., BÖHM, M., ... & SALEM, A. Z. Plants-derived bioactives: Novel utilization as antimicrobial, antioxidant and phyto-reducing agents for the biosynthesis of metallic nanoparticles. **Microbial Pathogenesis**, v.158, p.105107, Egypt, September, 2021.
- SANTOS, E.N., SOUSA, T. C.A., SANTANA NETO, D. C., GRISI, C. V. B., FERREIRA, V. C.S., & SILVA, F. A. P. Edible active film based on gelatin and *Malpighia emarginata* waste extract to inhibit lipid and protein oxidation in beef patties. **Food Science and Technology- LWT**, v.154, p.112837, Brazil, January, 2022.
- SANTOS, T. S., ANHANHA, G., COMARELLA, C. G., SCHALEMBERG, M. D., LIGNON, J. S., PINTO, D. M., ... & MONTEIRO, S. G. Molecular identification of *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae) in a case of primary cutaneous myiasis in sheep at southern Brazil. **Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports**, v.54, p.101098, Brazil, September, 2024.
- SHANKAR, S., WANG, L. F., RHIM, J. W. Effect of melanin nanoparticles on the mechanical, water vapor barrier, and antioxidant properties of gelatin-based films for food

packaging application. **Food Packaging and Shelf Life**, v.21, p.100363, Republic of Korea, September, 2019.

SHEN, N., WANG, T., GAN, Q., LIU, S., WANG, L., & JIN, B. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v.383, p.132531, China, July, 2022.

SILVA, M.E.S., GRISI, C. V. B., SILVA, S. P., MADRUGA, M. S., & SILVA, F. A. P. (2022). The technological potential of agro-industrial residue from grape pulping (*Vitis* spp.) for application in meat products: A review. **Food Bioscience**, v.35, p.101877, Spain, January, 2022.

ŠOJIC, B., PAVLIC, B., IKONIC, P., TOMOVIC, V., IKONIC, B., ZEKOVIC, Z., ... & IVIC, M. Coriander essential oil as natural food additive improves quality and safety of cooked pork sausages with different nitrite levels. **Meat Science**, v.157, p.107879, Serbia, November, 2019.

SONCU, E.D., ARSLAN, B., ERTÜRK, D., KÜÇÜKKAYA, S., ÖZDEMİR, N., SOYER, A. Microbiological, physicochemical and sensory characteristics of Turkish fermented sausages (sucuk) coated with chitosan-essential oils. **LWT-Food Science and Technology**, v. 97, p.198-204, Turkey, November, 2018.

SPAGNOL, C. M., ASSIS, R. P., BRUNETTI, I. L., ISAAC, V. L. B., SALGADO, H. R. N., CORRÊA, M. A. In vitro methods to determine the antioxidant activity of caffeic acid. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v.219, p.358-366, Brazil, August, 2019.

SUHAG, R.; KUMAR, N.; PETKOSKA, A. T.; UPADHYAY, A. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. **Food Research International**, v.136, p.109582, India, October, 2020.

TANG, H., HAN, Z., ZHAO, C., JIANG, Q., TANG, Y., LI, Y., & CHENG, Z. Preparation and characterization of Aloe vera polysaccharide-based packaging film and its application in blueberry preservation. **Progress in Organic Coatings**, v.177, p.107445, China, April, 2023.

TYUFTIN, A. A.; KERRY, J. P. (2021). Gelatin films: Study review of barrier properties and implications for future studies employing biopolymer films. **Food Packaging and Shelf Life**, v.29, p.100688, Ireland, September, 2021.

UMARAW, P., MUNEKATA, P. E., VERMA, A. K., BARBA, F. J., SINGH, V. P., KUMAR, P., & LORENZO, J. M. Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. **Trends in Food Science & Technology**, v.98, p.10-24, India, April, 2020.

WAN, X., JIA, W., WANG, Q., CHEN, X., WANG, A., ZHU, L., ... & ZHANG, Y. Metabolomics strategy comprehensively unveils the effect of catechins intervention on the biomarkers of exposure to acrylamide and biomarkers of cardiometabolic risk. **Environment International**, v.169, p.107517, China, November, 2022.

WEI, S., WEI, L., XIE, B., LI, J., LYU, J., WANG, S., ... & YU, J. Characterization of volatile profile from different coriander (*Coriandrum sativum* L.) varieties via HS-SPME/GC–MS combined with E-nose analyzed by chemometrics. **Food Chemistry**, v.457, p.140128, China, November, 2024.

WU, J., GE, S., LIU, H., WANG, S., CHEN, S., WANG, J., ... & ZHANG, Q. Properties and antimicrobial activity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin-chitosan films incorporated with oregano essential oil for fish preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, v.2, n.1, p.7-16, China, September, 2014.

YUSOFF, I. M., TAHER, Z. M., RAHMAT, Z., & CHUA, L. S. A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. **Food Research International**, v.157, p.111268, Malaysia, July, 2022.

ZHANG, X., MA, L., YU, Y., ZHOU, H., GUO, T., DAI, H., & ZHANG, Y. Physico-mechanical and antioxidant properties of gelatin film from rabbit skin incorporated with rosemary acid. **Food Packaging and Shelf Life**, v.19, p.121-130, China, March, 2019.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Artigo redigido conforme a norma do periódico Meat Science

“Versão Preliminar”

Revestimento comestível contendo extrato da semente de coentro para prolongar a vida útil de almôndegas ovinas

Edible coating containing coriander seed extract to extend the shelf life of lamb meatballs

Resumo: Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do revestimento ativo à base de gelatina e babosa aditivada com extrato da semente de coentro sobre a qualidade de almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração. Foram avaliados 4 tratamentos, sendo RC (sem extrato da semente de coentro-CSE), R1 (com adição de 1% de CSE), R5 (com 5% de CSE) e SR (almôndegas controle - sem revestimento). O extrato foi submetido a análises de fenólicos totais, atividade antioxidante, colorimetria e perfil de fenólicos. As almôndegas embaladas foram armazenadas a 4 °C por 12 dias e analisadas em termos de análises físico-químicas e de oxidação lipídica. Os resultados da caracterização do CSE evidenciam alto conteúdo de compostos fenólicos (4,66 g EAG/100 g), atividade antioxidante frente ao radical livre DPPH (4,12 µmol TE/L) e a presença de ácidos fenólicos (ácidos gentísico, seringico e cafeico) e flavonoides (rutina, miricetina e catequina). Os resultados da aplicação do revestimento mostraram que o tratamento R1 foi o mais efetivo na manutenção da cor das almôndegas. As amostras revestidas apresentaram os menores valores de pH ao final armazenamento. Os tratamentos R1 e R5 apresentaram os menores valores de TBARS após 12 dias de armazenamento, exibindo uma redução de 62,95 e 72,68% em relação ao tratamento sem revestimento, respectivamente. Portanto, esses resultados sugerem que o revestimento contendo CSE foi efetivo para preservação da qualidade das almôndegas armazenadas sob refrigeração, em relação ao tratamento controle, apresentando-se com forte potencial para melhorar a preservação da carne ovina e seus derivados.

Palavras-chave: *Aloe vera*, *Coriandrum sativum*; Gelatina; Oxidação lipídica; Revestimento comestível.

1. Introdução

A carne e seus derivados são altamente perecíveis, o que necessita de condições controladas no processamento e armazenamento. As contaminações químicas e microbiológicas são as mais comuns e afetam negativamente as características físico-químicas, sensoriais, nutricionais e tecnológicas do produto (Umaraw et al., 2020). Com intuito de retardar as reações de degradação, são utilizados aditivos sintéticos. No entanto, esses compostos são tóxicos e prejudiciais à saúde, o que tem provocado interesse por antioxidantes naturais para aplicação em revestimentos ativos (Rangaraj et al., 2021.).

O desenvolvimento de revestimentos ativos para aplicação em carnes e derivados cresce progressivamente (Kaya, Kahyaoglu & Sumnu, 2022; Marzlan et al., 2022). Os revestimentos comestíveis e biodegradáveis consistem numa solução formada por macromoléculas como carboidratos, proteínas e lipídeos, formando uma camada fina na superfície dos alimentos após a sua imersão ou aspersão da solução, podendo atuar contra à migração de gases, umidade e solutos durante o processamento e armazenamento dos produtos, retardando a deterioração dos alimentos e aumento sua vida útil, além de serem atóxicos e eficientes na liberação de compostos bioativos (Sheerzad et al., 2024; Romanelli et al., 2021).

A gelatina é uma proteína animal obtida a partir da hidrólise parcial do colágeno, com consequente destruição da estrutura secundária e terciária do colágeno e a perda da organização da maioria das estruturas helicoidais (Tyuftin & Kerry, 2021). É um biopolímero que tem sido bem utilizado na elaboração de embalagens biodegradáveis como alternativa às fontes petroquímicas, devido a facilidade de obtenção e abundância, excelentes propriedades de formação de filme, propriedades de barreira contra luminosidade e oxigênio, capacidade de transportar compostos ativos e baixo ponto de fusão (~35 °C) (Wang et al., 2023; Hamann et al., 2022).

O gel de *Aloe vera* corresponde à um material gelatinoso, escorregadio, transparente e de composição complexa, formado por água (99%), carboidratos (0,72%), minerais (0,16%), aminoácidos (0,07%) e compostos bioativos (0,01%) (Kumar et al., 2022, Maan et al., 2021; Chin et al., 2017). Além de ser utilizado industrialmente como erva fitoterápica, no preparo de alimentos funcionais, o gel de *Aloe vera* têm se destacado na área de embalagens de alimentos, com aplicações como filmes e revestimentos biodegradáveis com ação antioxidante e antimicrobiana (Maan et al., 2018; Maan et al., 2021).

O coentro (*Coriandrum sativum*) é uma planta herbácea pertencente à família Apiaceae. É uma especiaria de fácil acesso e disponibilidade, muito utilizada na culinária mundial, desde as suas folhas até as sementes. As sementes secas são utilizadas como condimentos e seus

extratos detêm de compostos bioativos com variadas propriedades farmacológicas, como ação antioxidante, antimicrobiano e anticancerígena (Prachayasittikul et al., 2018; Laribi et al., 2015).

Pesquisas têm avaliado o efeito da aplicação de revestimentos biodegradáveis incorporados de agentes ativos naturais sobre a qualidade da carne ovina e seus derivados (Farahani et al., 2024; Abbasi et al., 2023; Pabast et al., 2018). No entanto, não há evidências de estudos que avaliaram a aplicação do revestimento de gelatina e babosa contendo extrato da semente de coentro na preservação de almôndegas ovinas.

Diante do exposto, a hipótese do presente estudo foi que a semente de coentro é rica em compostos fenólicos e por isso, apresenta propriedades antioxidantes compatíveis a serem aplicadas como aditivo natural em revestimento comestível a base de gelatina e gel de *Aloe vera*. Neste contexto, o estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação do revestimento de gelatina e babosa incorporada com extrato da semente de coentro sobre a qualidade de almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração.

2. Metodologia

2.1. Obtenção da matéria-prima

A carne ovina, a gelatina (L 154036B 23 M, Dr.Oetker) e a semente de coentro foram obtidas em comércio local do município de Pombal-PB e transportados para o laboratório de Carnes, ovos e pescados, CCTA-UFCG. A babosa foi colhida no próprio campus do CCTA-UFCG, Pombal, Paraíba, Brasil.

2.2. obtenção do extrato da semente de coentro (CSE)

O CSE foi obtido conforme El-Sayed *et al.* (2022). Inicialmente as sementes de coentro foram moídas em moinho de facas (Solab/SL-30), formando uma farinha. Da farinha obtida, 500 g foram embebidas em 2.000 mL de álcool etílico (80%) por 72 h sob refrigeração (4 °C) e depois filtradas com papel filtro. O filtrado foi encaminhado para evaporação do solvente em rotaevaporador a 45 °C por 5 horas. O extrato obtido foi diluído em água destilada numa proporção de 1:2 para caracterização e aplicação no produto.

2.3. Desenvolvimento do revestimento comestível ativo e aplicação nas almôndegas ovinas

2.3.1. Elaboração das almôndegas

As almôndegas foram preparadas a partir do pernil ovino (92%), água gelada (5%), fécula de mandioca (2%) e cloreto de sódio (1%). A carne já moída foi homogeneizada com NaCl e água gelada. Foram moldadas almôndegas de 50 gramas para montagem do experimento.

2.3.2. Elaboração dos revestimentos e aplicação

O revestimento foi produzido de acordo com metodologia descrita por Chin et al. (2017), com modificações. Na solução do revestimento foi utilizado 5% de gelatina e 5% de babosa, dissolvidos em água destilada. A mistura foi submetida à agitação com aquecimento (70 °C a 1100 rpm) por 30 min em agitador magnético. Após atingir a temperatura ambiente ($\pm 25^\circ\text{C}$), o CSE foi incorporado à solução (v/v), nas concentrações 1 e 5%. Foram produzidos 3 tratamentos: RC (revestimento de gelatina e babosa sem CSE), R1 (RC com 1% de CSE) e R5 (RC com 5% de CSE). Em seguida, as almôndegas foram imersas por 30 s na solução de revestimento e dispostas em bandejas descartáveis de polipropileno. Almôndegas sem revestimento (SR) foram usadas como controle. As almôndegas foram armazenadas sob refrigeração ($\pm 4^\circ\text{C}$) durante 12 dias, sendo realizadas análises nos tempos 0, 5, 8, 10 e 12 dias.

2.4. Caracterização do CSE

2.4.1. Compostos fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado de acordo com o método descrito por Waterhouse (2006), utilizando-se o reagente Folin-Ciocalteu com leitura em espectrofotômetro digital (Espectrofotômetro digital- Biospectro®, modelo Espectrofotômetro SP 220, Curitiba, Brasil) no comprimento de onda de 765 nm, utilizando uma curva de ácido gálico como padrão. Uma alíquota de 50 μL do CSE foi misturada com 1950 μL de água destilada, 150 μL do reagente Folin-Ciocalteu e 350 μL de carbonato de sódio (20%) em tubos de ensaio de 5 mL. Os tubos foram agitados em vórtex e levados para banho-maria por 30 min a 40 °C. A absorbância foi determinada a 765 nm, em triplicata. Os resultados foram expressos em g equivalente de ácido gálico por 100 gramas (g EAG/100 g).

2.4.2. Atividade Antioxidante (DPPH)

A atividade antioxidante frente ao radical DPPH• (2,2-difenil-1-picri-hidrazil) foi determinada conforme metodologia descrita por Fernandes et al. (2016). Foi adicionada uma alíquota de 30 µL do CSE a 3 mL de DPPH em tubos de ensaio, seguido de agitação e repouso em ambiente escuro por 30 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 515 nm, em triplicata, utilizando uma curva de Trolox como padrão. Os valores da atividade antioxidante foram expressos em micromol de equivalentes de Trolox por litro (µmol TE/L).

2.4.3. Colorimetria

O extrato foi submetido a análise de cor com leitura direta em colorímetro digital, empregando a escala de cor CIELAB, com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. As variáveis de cor estudadas foram L^* , a^* e b^* .

2.4.4. Perfil dos compostos fenólicos

A análise de identificação e quantificação dos compostos fenólicos dos extratos hidroalcoólicos foi realizada pela metodologia descrita por Meireles et al. (2022). Utilizou-se equipamento CLAE da SHIMADZU (Kyoto, Japão), equipado com um injetor automático Rheodyne 7125i e um detector UV/VIS, com concentração inicial da amostra de 5 mg/mL. Para a identificação dos compostos fenólicos, as amostras foram eluídas com um sistema de gradiente consistindo dos solventes de ácido acético a 2%, v/v, e acetonitrilo: metanol, 2: 1, v/v, usado como célula da fase móvel, com uma taxa de fluxo de 1 mL/min. A temperatura da coluna foi mantida a 25°C e o volume de injeção foi de 20 µL. Os picos dos compostos fenólicos foram monitorados a 280 nm e foram identificados por meio de comparação dos tempos de retenção com padrões de ácidos fenólicos e flavonoides. O software Lab Solutions da SHIMADZU foi usado para controlar o sistema CLAE-UV e fazer o processamento dos dados.

2.4.5. Microscopia óptica dos revestimentos

As soluções de revestimento foram submetidas a avaliação de microscopia ótica com luz polarizada. As amostras foram secas em temperatura ambiente, antes da análise. Fotomicrografias óticas foram tiradas usando um microscópio ótico (Leica DM100, Leica Microsystems, Wetzlar, Hessen, Alemanha) com objetivas em ampliações de 20, 40 e 100x.

2.5. Avaliação da aplicação dos revestimentos em almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração

2.5.1. Análise de cor

A colorimetria das almôndegas foi realizada através de leitura direta de 5 pontos distintos das amostras em colorímetro digital (Konica Minolta, CR-10, Osaka, Japão), empregando a escala de cor CIELAB, CIELAB, com iluminante D65 e ângulo de observação de 10. As variáveis de cor estudadas foram L^* , a^* , b^* e variação total de cor (ΔE). A ΔE foi obtida através da equação 1:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 1})$$

2.5.2. Atividade de água (Aa)

A determinação da atividade de água foi realizada através de medição direta usando o dispositivo AQUALAB CX2.

2.5.3. Perda de peso por centrifugação

A perda de peso por centrifugação foi quantificada pelo método descrito por de Herrero et al. (2005). Um total de 2 g da amostra foram embrulhados com papel de filtro, inseridos em tubos Falcon de 50 mL e centrifugados a 1500 x G por 5 min a 4 °C. A perda de peso por centrifugação foi medida conforme equação 4:

$$\text{Perda de peso (\%)} = \frac{\text{Peso}_{\text{inicial}} - \text{Peso}_{\text{final}}}{\text{Peso}_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

2.5.4. Determinação do pH

Os valores de pH foram medidos por leitura direta em pHmetro digital de bancada (Digimed) a 25 °C, previamente calibrados com soluções tampão de pH em pH 7,0 e 4,0, conforme os parâmetros descritos pela AOAC (2012).

2.5.5. Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

O grau de oxidação lipídica foi analisado pelo método de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) segundo Rosmini et al. (1996). Resumidamente, 2,5 g da amostra foram misturados com 5 ml de ácido tricloroacético (TCA) 10% (p/v) por 5 minutos com agitação contínua para extrair o malonaldeído (MDA). Em seguida, foram centrifugados (3500 rpm/30 min) e os sobrenadantes filtrados. Posteriormente, 2,5 mL do filtrado foram combinados com 2,5 mL de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) 0,02 M e aquecidos (100 °C/30 min) em banho-maria. O sistema foi resfriado em água e a absorbância das amostras foi medida a 530 nm em espectrofotômetro UV/VIS. A curva de calibração usando concentrações conhecidas de MDA foi usada para quantificar os TBARS. Os resultados foram expressos como mg de malonaldeído (MDA) por kg de amostra (mg MDA/kg amostra).

2.6. Análise estatística

O experimento foi conduzido em um Delineamento Inteiramente Casualizado, em arranjo fatorial 4x5 (4 tratamentos x 5 períodos de armazenamento). Os resultados foram avaliados através de análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando programa estatístico SAS® System (2012) Versão 9.0.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização do CSE

O conteúdo de fenólicos totais, atividade antioxidante e colorimetria dos CSE estão expressos na Tabela 1. O CSE apresentou um elevado teor de fenólicos totais (4,66 g EAG/100 g) e forte atividade antioxidante (4,12 µmol TE/L) frente ao radical DPPH. Os compostos fenólicos são potentes antioxidantes naturais, pois limitam os processos oxidativos através da sua capacidade redutora, interrompendo a reação em cadeia dos radicais livres e inativando a atividade enzimática que pode catalisar processos oxidativos (Kuai et al., 2021).

Abdel-Salam et al. (2024), em pesquisa com extrato da semente de coentro, encontraram resultados para atividade antioxidante de 46,98 µmol TE/dL e obtiveram valores para fenólicos totais de 23,85 mg de ácido gálico/dL de amostra. A diferença no conteúdo de fenólicos totais pode estar associada a fatores como colheita, estágio de maturação, método de extração e tipo de solvente utilizado (Wangensteen et al., 2004; Campos et al., 2019).

Tratando-se da colorimetria, o CSE apresentou coloração mais clara, compatível com o valor de luminosidade (39,46) e valores de a^* e b^* positivos (1,58 e 16,96, respectivamente), o que caracteriza uma tendência ao vermelho e amarelo. De fato, visivelmente, o CSE apresenta uma cor mais amarelo-alaranjada, provavelmente devido a presença dos pigmentos flavonoides detectados no extrato (Tabela 2) e que são responsáveis por essa coloração nos vegetais.

Tabela 1. Teor de compostos fenólicos totais (FT), atividade antioxidante (DPPH) e colorimetria do CSE.

Parâmetro	Extrato Semente Coentro
FT (g EAG/100 g)	4,66 ± 0,53
DPPH (µmol TE/L)	4,12 ± 0,54
L*	39,46 ± 1,33
a*	1,58 ± 0,19
b*	16,96 ± 0,26

Resultados expressos em termos de média ± desvio padrão.

Foram identificados 16 compostos fenólicos no CSE (Tabela 2), sendo 8 ácidos fenólicos e 8 flavonoides. Dentre os compostos, o majoritário foi o ácido gentísico (154,80 µg/mg de extrato), seguido da miricetina, rutina e ácido sirínico (128,40, 42,00 e 35,80 µg/mg de extrato, respectivamente). A presença desses compostos corrobora com os resultados encontrados por El-Sayed et al. (2022) em extrato da semente de coentro, no entanto, o composto majoritário relatado por eles foi o ácido elágico (8018,13 µg/g). Os compostos fenólicos são substâncias naturalmente presentes nos vegetais, produzidas pela via do ácido chiquímico e do acetato via ácido malônico, caracterizadas por conter pelo menos um anel aromático ligado a uma ou mais hidroxilas e são divididas em dois grandes grupos: os ácidos fenólicos e os flavonoides (Mandal, Chakraborty & Dey, 2010, Kumar, 2015).

O ácido gentísico é um ácido fenólico que apresenta propriedades farmacológicas como ação neuroprotetora (Cansiz et al., 2024), antioxidante e antimicrobiana (Oh et al., 2024). A miricetina, segundo principal composto detectado no CSE, é um flavonoide que apresenta diversas atividades bioativas, como ação antioxidante e tem sido muito utilizado na medicina, saúde e em alimentos (Liu et al., 2024). Nossos resultados corroboram com os encontrados por Mechchate et al. (2021) que analisaram o perfil de fenólicos do extrato da semente de coentro

e detectaram compostos como a ácido vanílico, rutina e catequina. Esses compostos apresentam variadas propriedades farmacológicas e podem ser utilizados na indústria de cosméticos, saúde e alimentos.

Tabela 2. Perfil dos compostos fenólicos do CSE.

Composto fenólico	RT (min)	Área (%)	µg/mg de extrato
Ácidos Fenólicos			
Ácido Gálico	3,53	0,21	0,20
Ácido Protocatecuico	5,66	0,81	10,60
Ácido Gentísico	7,92	0,63	154,80
Ácido Vanílico	9,71	0,03	2,20
Ácido Siríntrico	10,14	5,78	35,80
Ácido <i>p</i> -cumárico	14,38	2,70	10,80
Ácido Ferúlico	15,13	1,30	15,80
Ácido Cafeico	22,79	1,63	31,00
Flavonoides			
Catequina	6,62	1,28	30,60
Rutina	16,59	1,58	42,00
Miricetina	19,41	6,29	128,40
Resveratrol	20,18	1,83	9,00
Quercetina	23,34	1,52	21,40
Naringenina	24,41	3,23	19,00
Kampferol	27,73	0,35	6,60
Crisina	36,06	0,07	1,20

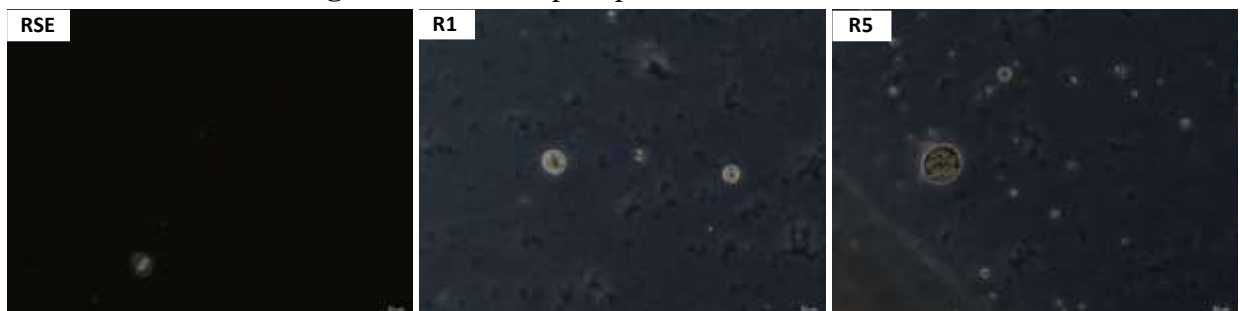
RT: Tempo de retenção; Resultados expressos em micrograma por miligrama de extrato.

3.2. Microscopia óptica dos revestimentos

Avaliar a microscopia óptica de materiais de embalagens incorporados com aditivos é interessante, pois pode auxiliar na compreensão de outros resultados, uma vez que a olho nu, a presença do aditivo não é determinada (Fedotova et al., 2022). A análise por microscopia óptica com luz polarizada, forneceu informações sobre a morfologia dos revestimentos compósitos (Figura 1). Observa-se a presença de micropartículas no revestimento à base de gelatina e gel

da babosa sem extrato (SER), entretanto, a incorporação do CSE na solução influenciou no tamanho e na quantidade de micropartículas. A partir das micrografias, verifica-se que com o aumento da concentração de extrato, ocorreu um aumento perceptível no tamanho e na quantidade de micropartículas presentes nos revestimentos R1 e R5, respectivamente. A formação das micropartículas confirma a presença do extrato na solução dos revestimentos ativos e as variações observadas nas micropartículas podem estar associadas a fatores como: diferença de polaridade entre compostos presentes no CSE e a matriz polimérica, condições de processamento e ausência de um agente compatibilizante (Castro et al., 2024). Resultados similares foram relatados por Fedotova et al. (2022), em sua pesquisa com filme polimérico antimicrobiano contendo triterpenoides, os quais verificaram o aumento do número de partículas com o aumento da concentração do aditivo empregado.

Figura 1. Microscopia óptica dos revestimentos.



3.3. Aplicação dos revestimentos em almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração

Os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE) das almôndegas durante o armazenamento refrigerado estão expressos na Tabela 3. A luminosidade (L^*) das almôndegas reduziram ao longo dos 12 dias de armazenamento, com exceção do tratamento R1 que não foi afetado pelo armazenamento. Não houve efeito dos tratamentos para a variável L^* . A redução nos valores de L^* pode ser devido a oxidação lipídica e da mioglobina que contribuiu para uma coloração mais escura provavelmente pela cor da gordura mais amarelada.

O parâmetro a^* que se refere a vermelhidão do produto cárneo, apresentou redução para os tratamentos a partir do 5º dia, exceto a amostra R1 que só foi afetada no 8º dia de armazenamento. Houve diferença entre os tratamentos somente no 10º dia, onde os tratamentos R1 e R5 apresentaram menores valores de a^* . A redução da vermelhidão da carne e seus produtos durante o armazenamento é atribuída a oxidação da mioglobina em metamioglobina e aumento da oxidação lipídica (Khan et al., 2024). O fato das amostras R1 e R5 apresentarem

menores valores de a^* pode ser justificada pela presença de pigmentos do CSE, uma vez que, visivelmente, os tratamentos SR e RC apresentaram-se mais escuros.

A variável b^* apresentou redução ao longo do armazenamento, com exceção da amostra R1 que se manteve inalterada durante os 12 dias. As alterações no valor de b^* , que representa a coloração amarela, estão relacionadas ao conteúdo de gordura da carne e comumente os valores de b^* aumentam com o aumento da oxidação lipídica (Santos et al., 2022). Todavia, estes resultados mostram que o tratamento contendo 1% do CSE foi eficaz na preservação da cor amarela da carne. Houve efeito dos tratamentos somente no 5º dia, onde a amostra RSE apresentou menor valor de b^* , possivelmente pela interação de pigmentos da base do revestimento (gelatina e babosa) com o produto. Khan et al. (2024) também observaram aumento nos valores de L^* e redução nos valores de a^* em carne de cordeiro tratadas com filmes à base de goma Karaya reforçados com extrato de raiz de valeriana. Fernandes et al. (2016) avaliaram os efeitos do extrato de orégano na estabilidade oxidativa, microbiológica e sensorial de hambúrgueres de carneiro embalados em atmosfera modificada e, semelhante aos nossos resultados, encontraram uma redução nos valores de b^* ao longo do armazenamento refrigerado.

Houve efeito do armazenamento, do tratamento e da interação entre os fatores ($p < 0,05$) para a variação total de cor das almôndegas armazenadas sob refrigeração. Com relação aos tratamentos, nos tempos 5 e 8 as almôndegas sem revestimento (SR) apresentaram os maiores valores de ΔE , enquanto R1 e R5 apresentaram a menor alteração de cor. No tempo 10, os tratamentos SR apresentaram os maiores valores de ΔE , enquanto que as amostras revestidas com R5 apresentaram as menores variações de cor. No tempo 12 não houve diferença entre os tratamentos. Com relação ao armazenamento somente o tratamento RSE não foi afetado pelo tempo. Houve aumento para as amostras SR no dia 8, seguido de redução até o final dos 12 dias. As almôndegas tratadas com R1 e R5 tiveram os valores de ΔE constantes até o tempo 8 e 10, respectivamente, com posterior aumento. Choi et al. (2002) afirmam que valores de ΔE acima de 2 são perceptíveis sensorialmente, o que mostra que somente os tratamentos R1 e R5 apresentaram valores menores que 2, protegendo as mudanças de cor das almôndegas durante os 8 e 10 dias de armazenamento refrigerado, respectivamente, como pode ser percebido na Figura 1. Os menores valores de ΔE verificados nos revestimentos ativos podem ser justificados pela presença de compostos fenólicos presentes no CSE que promoveram maior proteção contra as alterações da cor das almôndegas durante o armazenamento refrigerado, comparado as amostras SR e RSE (El-Sayed et al., 2022). Estes resultados são apoiados pelos achados de Manzoor & Ahmad (2024), que verificaram a menor variação de cor em hambúrguer de búfala

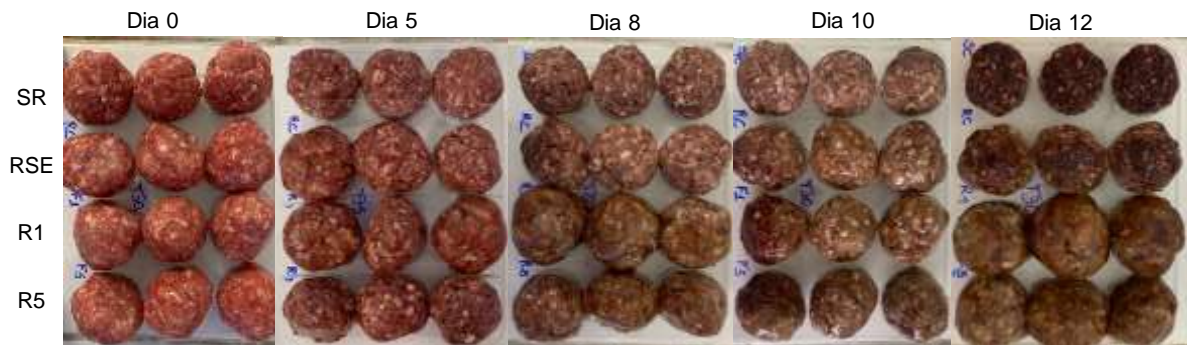
tratados com filme biocompósito à base de goma de linhaça modificado com extrato de folha de bétele.

Tabela 3. Resultados da colorimetria das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.

	0	5	8	10	12	MSE
T*	L*					
SR	34,24 ^A	35,10 ^A	34,04 ^A	34,62 ^A	30,86 ^B	0,50
SER	34,24 ^A	34,34 ^A	33,86 ^{AB}	33,62 ^{AB}	31,64 ^B	0,50
R1	34,24	33,96	34,54	32,38	32,30	0,45
R5	34,24 ^A	35,64 ^A	34,10 ^A	32,32 ^B	33,20 ^{AB}	0,39
	a*					
SR	12,92 ^A	8,92 ^B	6,66 ^C	6,26 ^{Ca}	5,20 ^C	0,31
SER	12,92 ^A	7,94 ^B	6,80 ^{BC}	5,98 ^{Ca}	5,78 ^C	0,28
R1	12,92 ^A	8,70 ^A	7,28 ^B	4,38 ^{Cb}	5,46 ^C	0,26
R5	12,92 ^A	9,16 ^B	7,10 ^C	4,04 ^{Db}	5,78 ^C	0,25
	b*					
SR	20,42 ^A	19,18 ^{ABa}	19,50 ^{AB}	19,04 ^{AB}	17,18 ^B	0,51
SER	20,42 ^A	16,16 ^{Cb}	19,12 ^{AB}	18,68 ^{AC}	17,04 ^{BC}	0,47
R1	20,42	19,18 ^a	19,50	18,46	19,06	0,39
R5	20,42 ^A	18,90 ^{ABa}	19,78 ^A	16,94 ^B	18,76 ^{AB}	0,60
	ΔE					
SR	-	5,46 ^{A^{Ba}}	6,82 ^{Aa}	3,96 ^{Ba}	4,11 ^B	2,54
SER	-	3,65 ^{ab}	4,04 ^b	2,69 ^{ab}	3,49	1,73
R1	-	1,65 ^{Bb}	1,99 ^{Bc}	4,09 ^{Aa}	4,37 ^A	1,51
R5	-	2,85 ^{ABb}	1,90 ^{Bc}	1,42 ^{Bb}	4,03 ^A	1,27

T*: tratamento. MSE= Erro Padrão da Média. SR= Sem revestimento; revestidas de gelatina e babosa sem extrato (RSE) e com revestimento de babosa e gelatina contendo 1 (R1) e 5% (R5) de extrato da semente do coentro. Letras minúsculas diferentes na coluna denotam diferença significativa entre os tratamentos e letras maiúsculas na linha denotam diferença dos tratamentos entre os períodos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ausência de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, denotam que não houve diferença significativa.

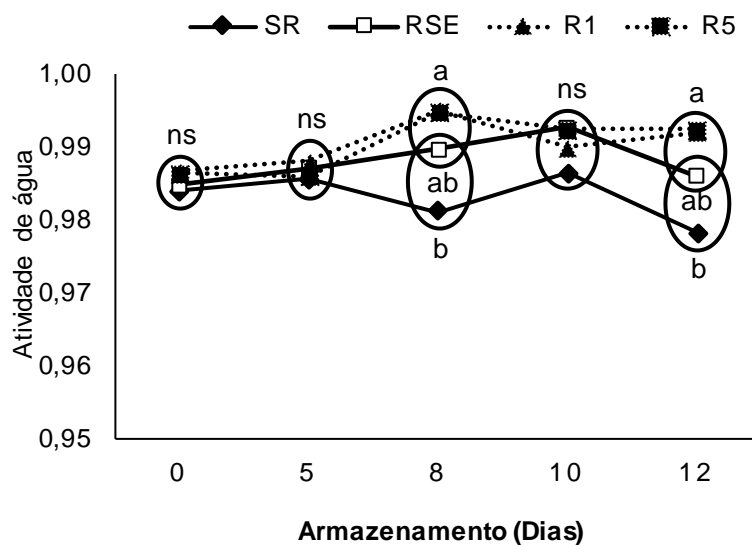
Figura 1. Fotografia digital das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.



Fonte: Do Autor (2024).

As alterações na atividade de água das almôndegas encontram-se na Figura 2. Houve efeito apenas dos tratamentos ($P < 0,05$). No 8º dia a menor Aa foi para o tratamento SR e os maiores valores para R1 e R5, o mesmo comportamento se manteve ao final dos 12 dias de armazenamento. Estes resultados mostram que os revestimentos ativos mantiveram a Aa das almôndegas, enquanto, que a ausência de revestimento contribuiu para uma redução deste parâmetro, possivelmente pela elevada perda de umidade, fato que também contribuiu para o ressecamento das almôndegas controle. Jridi et al. (2018) estudaram o efeito do revestimento de gelatina com extrato de hena (*L. inermis*) e não encontraram diferenças nas amostras durante os 8 dias de armazenamento refrigerado.

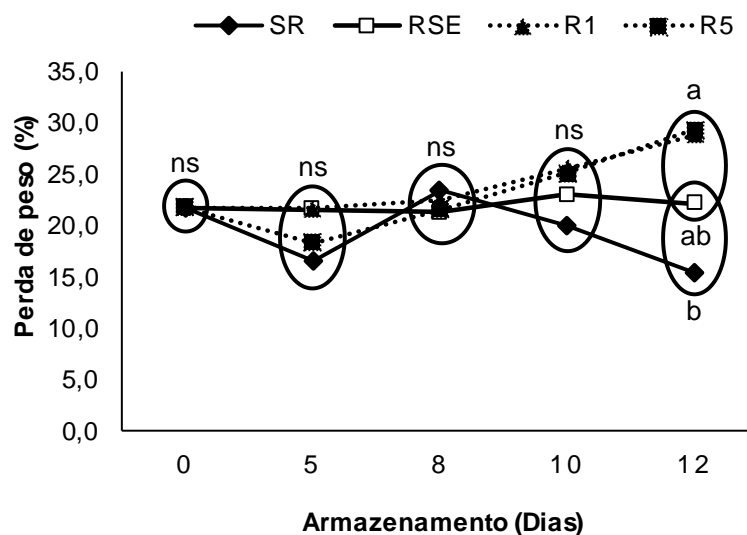
Figura 2. Resultados da atividade de água das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.



Letras diferentes mostram diferença significativa entre os tratamentos dentro de cada período de armazenamento e os círculos agrupam os tratamentos que não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

O resultado da perda de peso das almôndegas encontra-se na Figura 3. Houve efeito do armazenamento apenas para o tratamento F5, o qual apresentou redução no 5º dia e manteve-se constante até os 10 dias de armazenamento. A perda de peso de todos os tratamentos foi de 21,79% no tempo 0, houve diferença entre os tratamentos apenas no tempo 12, onde os tratamentos R1 e R5 apresentaram as maiores perdas (28,90 e 29,41%, respectivamente) e o SR apresentou a menor perda de peso (15,48%). A perda de peso na carne e seus produtos durante o armazenamento está associada as perdas de água por evaporação e vazamento de suco da carne devido a processos de hidrólise e deterioração microbiana (Korany et al., 2024). O fato da amostra SR apresentar a menor perda de peso pode ser atribuído ao ressecamento e encolhimento da amostra no final do armazenamento, o que ocorreu devido a elevada perda de umidade. Todavia, as maiores perdas observadas para R1 e R5 pode estar associada a maior quantidade de água nas almôndegas, o que contribuiu para a maior perda ao final dos 12 dias de armazenamento. Este resultado corrobora com os achados para a atividade de água (Figura 1), no final do armazenamento, cujo o tratamento SR apresenta a menor Aa, enquanto que R1 e R5 apresentam os maiores valores.

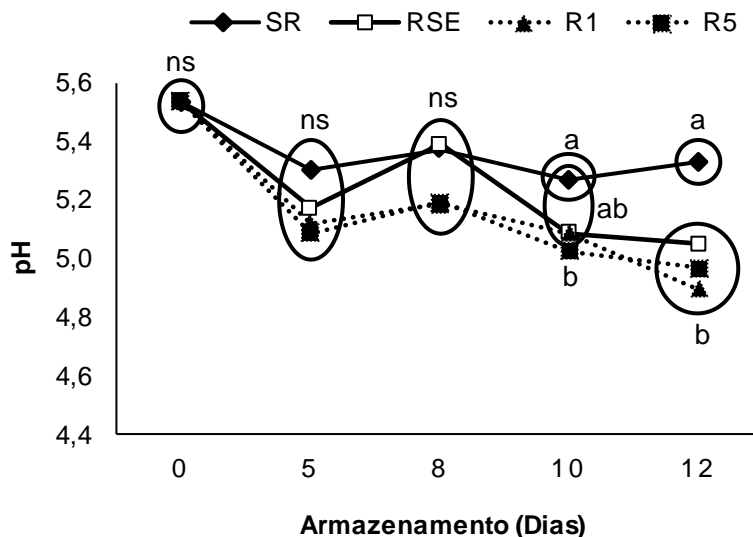
Figura 3. Resultados da perda de peso das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.



Letras diferentes mostram diferença significativa entre os tratamentos dentro de cada período de armazenamento e os círculos agrupam os tratamentos que não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

As alterações do pH das almôndegas encontra-se na Figura 4. Houve efeito do armazenamento e dos tratamentos sobre o pH das almôndegas. O pH do tratamento SR manteve-se constante até o 10º dia, com posterior declínio, já os tratamentos RSE, R1 e R5 apresentaram redução nos valores de pH a partir do 5º dia de armazenamento. Ao final dos 12 dias, a amostra SR apresentou o maior valor de pH, enquanto, que as amostras revestidas apresentaram os menores valores, não diferindo entre si. Comumente, ocorre aumento nos valores de pH ao longo do armazenamento dos produtos cárneos devido à produção de compostos básicos nitrogenados, como amônia e aminas, oriundas da decomposição de proteínas pela ação de microrganismos e enzimas proteolíticas (Zheng et al., 2023). A redução do pH para o tratamento SR pode ser associado ao possível desenvolvimento de bactérias ácido-láticas durante o armazenamento, e assim aumentando a acidez do meio (Gonzales-Barron et al., 2021; Zamuz et al., 2018). Enquanto que o pH mais baixo das amostras tratadas pode estar associado ao pH da solução, uma vez que o gel da babosa apresenta um pH abaixo de 5 (Reginato, 2024). Outra possível explicação para o declínio observado em RSE, R1 e R5 pode ser atribuído a presença de compostos fenólicos presentes tanto no gel da babosa como no CSE (El-Sayed et al., 2022; Chin et al., 2017).

Figura 4. Resultados de pH das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.



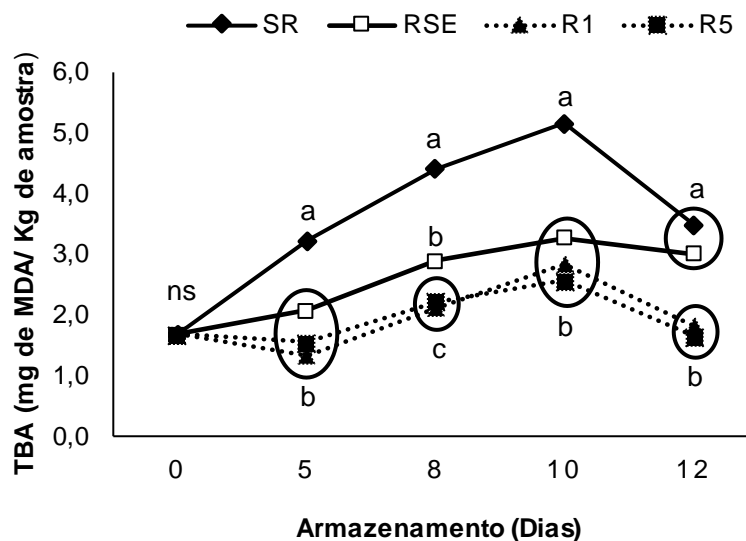
Letras diferentes mostram diferença significativa entre os tratamentos dentro de cada período de armazenamento e os círculos agrupam os tratamentos que não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Os resultados de TBA das almôndegas ovinas estão expressos na Figura 4. O valor inicial de TBA para todos os tratamentos foi de 1,62 mg de MDA/Kg. Os tratamentos SR e RSE apresentaram os maiores valores de TBA ao longo do armazenamento. A amostra SR

apresentou os maiores valores de TBA a partir do tempo 5, com valores acima de 3 mg de MDA/Kg e no tempo 10 atingiu o valor máximo (5,17 mg de MDA/Kg), seguido de declínio no final do armazenamento (3,50 mg de MDA/Kg). Estes resultados mostram que as almôndegas isentas de revestimento tiveram sua qualidade comprometida a partir do 5 dia de armazenamento e que a redução observada no final do armazenamento pode ser atribuída a reação do MDA com produtos da oxidação proteica, como grupos amino livres de resíduos de lisina, o que contribuem para redução do seu conteúdo após certo período de armazenamento (Al-Dalai et al., 2022).

Tratando-se do efeito sobre os tratamentos, R1 e R5 apresentaram os menores valores de TBA no 12º dia (1,82 e 1,63, respectivamente), exibindo uma redução de 62,95 e 72,68%, respectivamente, na produção de MDA em relação ao tratamento controle (SR). Este fato pode ser atribuído aos compostos fenólicos presentes no CSE, como o ácido gentísico, rutina e catequina, os quais apresentam atividade antioxidante (Ciardullo *et al.*, 2024; Graton et al., 2024; Li et al., 2022). Farahani et al. (2024), estudando o efeito do revestimento de mucilagem de agrião (*Lepidium sativum*), contendo diferentes concentrações de óleo essencial de *Satureja hortensis* L (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5%) sobre a qualidade de carne de cordeiro refrigerada, verificaram que a carne revestida com 1,5% do óleo essencial foi a que apresentou menor valor de TBA ao final do armazenamento, resultado similar ao obtido em nossa pesquisa.

Figura 5. Resultados de TBA das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.



Letras diferentes mostram diferença significativa entre os tratamentos dentro de cada período de armazenamento e os círculos agrupam os tratamentos que não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

4. Conclusões

Os resultados da aplicação do revestimento mostram que o extrato da semente de coentro apresenta compostos fenólicos com reconhecida atividade antioxidante. A aplicação do revestimento mostra que os tratamentos R1 e R5 foram efetivos na manutenção das características físico-químicas das almôndegas. Os tratamentos R1 e R5 apresentaram uma redução de 62,95 e 72,68%, respectivamente, na produção de MDA, em relação ao tratamento controle. Esses resultados sugerem que o revestimento contendo 1 e 5% do CSE pode ser uma alternativa promissora na preservação da carne ovina e seus derivados.

Referências

- Abbasi, A., Sabahi, S., Bazzaz, S., Tajani, A. G., Lahouty, M., Aslani, R., & Hosseini, H. (2023). An edible coating utilizing *Malva sylvestris* seed polysaccharide mucilage and postbiotic from *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii* for the preservation of lamb meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246, 125660. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125660>
- Abdel-Salam, A. M., Al Hemaïd, W. A., Afifi, A. A., Othman, A. I., Farrag, A. R. H., & Zeitoun, M. M. (2018). Consolidating probiotic with dandelion, coriander and date palm seeds extracts against mercury neurotoxicity and for maintaining normal testosterone levels in male rats. *Toxicology Reports*, 5, 1069-1077. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.09.004>
- Al-Dalali, S., Li, C., & Xu, B. (2022). Effect of frozen storage on the lipid oxidation, protein oxidation, and flavor profile of marinated raw beef meat. *Food Chemistry*, 376, 131881. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131881>

- AOAC. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.
- Campos, R. A., Junior, S. S., Gonçalves, G. G., Neves, L. G., de Gusmão, S. A., Vianello, F., & Lima, G. P. (2019). Changes in bioactive compounds in spiny coriander leaves in response to inflorescence pruning at different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 245, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.057>
- Cansiz, D., Ünal, İ., Sürmen, M. G., Sürmen, S., Sezer, Z., Beler, M., ... & Emekli-Alturfan, E. (2024). Gentisic acid exerts neuroprotective effects in neurotoxin-induced Parkinson's disease model in zebrafish: Cross-talk between pathways related with neurodegeneration in the gut-brain axis. *Brain Research*, 1836, 148952. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2024.148952>
- Castro, L. L., Silva, L. G., Abreu, I. R., Braz, C. J., Rodrigues, S. C., Moreira-Araújo, R. S. D. R., ... & Alves, T. S. (2024). Biodegradable PBAT/PLA blend films incorporated with turmeric and cinnamomum powder: A potential alternative for active food packaging. *Food Chemistry*, 439, 138146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138146>
- Chin, S. S., Lyn, F. H., & Hanani, Z. N. (2017). Effect of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.05.005>
- Ciardullo, G., Orlando, C., Russo, N., Marchese, E., Galano, A., Marino, T., & Prejanò, M. (2024). On the dual role of (+)-catechin as primary antioxidant and inhibitor of viral proteases. *Computers in Biology and Medicine*, 180, 108953. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2024.108953>
- El-Sayed, H. S., Fouad, M. T., & El-Sayed, S. M. (2022). Enhanced microbial, functional and sensory properties of herbal soft cheese with coriander seeds extract nanoemulsion.

- Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 45, 102495.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102495>
- Fedotova, O., Myalenko, D., Pryanichnikova, N., Yurova, E., & Agarkova, E. (2022). Microscopic and structural studies of an antimicrobial polymer film modified with a natural filler based on triterpenoids. *Polymers*, 14(6), 1097. <https://doi.org/10.3390/polym14061097>
- Fernandes, R. D. P. P., Trindade, M. A., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., & De Melo, M. P. (2016). Effects of oregano extract on oxidative, microbiological and sensory stability of sheep burgers packed in modified atmosphere. *Food Control*, 63, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.11.048>.
- Fernandes, R. D. P. P., Trindade, M. A., Tonin, F. G., Lima, C. G. D., Pugine, S. M. P., Munekata, P. E. S., ... & De Melo, M. P. (2016). Evaluation of antioxidant capacity of 13 plant extracts by three different methods: cluster analyses applied for selection of the natural extracts with higher antioxidant capacity to replace synthetic antioxidant in lamb burgers. *Journal of food science and technology*, 53, 451-460. doi:10.1007/s13197-015-1994-x
- Gonzales-Barron, U., Coelho-Fernandes, S., Santos-Rodrigues, G., Choupina, A., Piedra, R. B., Osoro, K., ... & Cadavez, V. A. (2021). Microbial deterioration of lamb meat from European local breeds as affected by its intrinsic properties. *Small Ruminant Research*, 195, 106298. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106298
- Graton, J., Goupille, A., Ferré, T., Offmann, B., André-Miral, C., & Le Questel, J. Y. (2024). Antioxidant properties of catechin and its 3' O- α -glucoside: Insights from computational chemistry calculations. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1236, 114608. doi.org/10.1016/j.comptc.2024.114608

- Hamann, D., Puton, B. M. S., Comin, T., Colet, R., Valduga, E., Zeni, J., ... & Cansian, R. L. (2022). Active edible films based on green tea extract and gelatin for coating of fresh sausage. *Meat Science*, 194, 108966. doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108966
- Herrero, A. M., Carmona, P., García, M. L., Solas, M. T., & Careche, M. (2005). Ultrastructural changes and structure and mobility of myowater in frozen-stored hake (*Merluccius merluccius* L.) muscle: Relationship with functionality and texture. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(7), 2558-2566.
- Kaya, E., Kahyaoglu, L. N., & Sumnu, G. (2022). Development of curcumin incorporated composite films based on chitin and glucan complexes extracted from *Agaricus bisporus* for active packaging of chicken breast meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 221, 536-546. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.025
- Khan, S., Li, M., Cheng, M., Shu, Y., Liang, T., Shah, H., ... & Zhang, Z. (2024). 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*, 276, 133875. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133875
- Korany, A. M., Abdel-Atty, N. S., Zeinhom, M. M., & Hassan, A. H. (2024). Application of gelatin-based zinc oxide nanoparticles bionanocomposite coatings to control *Listeria monocytogenes* in Talaga cheese and camel meat during refrigerated storage. *Food Microbiology*, 122, 104559. doi.org/10.1016/j.fm.2024.104559
- Kuai, L., Liu, F., Chiou, B. S., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., & Zhong, F. (2021). Controlled release of antioxidants from active food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 120, 106992. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106992.
- Kumar, R., Salar, R. K., Naik, P. K., Yadav, M., Kumar, A., Kumar, A., & Chhokar, V. (2022). Elucidation of genetic diversity and population structure of sixty genotypes of *Aloe vera*

- using AFLP markers. *South African Journal of Botany*, *147*, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.03.008>.
- Kumar, Y., Yadav, D. N., Ahmad, T., & Narsaiah, K. (2015). Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *14*(6), 796–812. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12159>.
- Laribi, B., Kouki, K., M'Hamdi, M., & Bettaieb, T. (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia*, *103*, 9-26.
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2015.02.003>.
- Li, H., Pan, Y., Li, C., Yang, Z., Rao, J., & Chen, B. (2022). Design, synthesis and characterization of lysozyme–gentisic acid dual-functional conjugates with antibacterial/antioxidant activities. *Food Chemistry*, *370*, 131032.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131032>.
- Liu, J., Guo, X., Miao, Q., Ji, X., Liang, Y., & Tong, T. (2024). Deep eutectic solvent extraction of myricetin and antioxidant properties. *RSC Advances*, *14*(26), 18126-18135.
<https://doi.org/10.1039/D4RA03095A>.
- Maan, A. A., Ahmed, Z. F. R., Khan, M. K. I., Riaz, A., & Nazir, A. (2021). Aloe vera gel, an excellent base material for edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, *116*, 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.027>.
- Maan, A. A., Nazir, A., Khan, M. K. I., Ahmad, T., Zia, R., Murid, M., & Abrar, M. (2018). The therapeutic properties and applications of Aloe vera: A review. *Journal of Herbal Medicine*, *12*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2018.04.003>.
- Manzoor, A., & Ahmad, S. (2024). Flaxseed gum based biocomposite film modified with betel leaf extract: A novel packaging material for oxidative stability of meat patties. *Meat Science*, *209*, 109401. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109401>.

- Marzlan, A. A., Muhialdin, B. J., Abedin, N. H. Z., Manshoor, N., Ranjith, F. H., Anzian, A., & Hussin, A. S. M. (2022). Incorporating torch ginger (*Etilingera elatior* Jack) inflorescence essential oil onto starch-based edible film towards sustainable active packaging for chicken meat. *Industrial Crops and Products*, *184*, 115058. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115058>.
- Mechchate, H., Es-Safi, I., Amaghnouje, A., Boukhira, S., Alotaibi, A., Al-Zharani, M., ... & Bousta, D. (2021). Antioxidant, anti-inflammatory and antidiabetic properties of LC-MS/MS identified polyphenols from coriander seeds. *Molecules*, *26*(2), 487. <https://doi.org/10.3390/molecules26020487>.
- Meireles, B. R. L. D. A., Alcantara, M. A., Polari, I. D. L. B., Souza, A. G. D., Santos, N. A. D., Grisi, C. V. B., & Cordeiro, A. M. T. D. M. (2022). Catole coconut (*Syagrus cearensis*) oil: physicochemical characterization and thermo-oxidative stability by TG/DTG/DTA and Rancimat. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *147*(5), 3591-3598. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-11247-7>.
- Oh, G. W., Kim, S. C., Cho, K. J., Ko, S. C., Lee, J. M., Yim, M. J., ... & Jung, W. K. (2024). Poly (vinyl alcohol)/chitosan hydrogel incorporating chitooligosaccharide-gentisic acid conjugate with antioxidant and antibacterial properties as a potential wound dressing. *International Journal of Biological Macromolecules*, *255*, 128047. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.12.017>.
- Pabast, M., Shariatifar, N., Beikzadeh, S., & Jahed, G. (2018). Effects of chitosan coatings incorporating with free or nano-encapsulated *Satureja* plant essential oil on quality characteristics of lamb meat. *Food Control*, *91*, 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.004>.

- Prachayasittikul, V., Prachayasittikul, S., Ruchirawat, S., & Prachayasittikul, V. (2018). Coriander (*Coriandrum sativum*): A promising functional food toward the well-being. *Food Research International*, *105*, 305-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.026>.
- Rangaraj, V. M., Rambabu, K., Banat, F., & Mittal, V. (2021). Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience*, *43*, 101251. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>.
- Reginato, C. P. (2024). Avaliação de um curativo de alginato com gel de babosa em lesões de pele: Estudos de caso. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 77f.
- Romanelli Vicente Bertolo, M., Leme, R., Da Conceição Amaro Martins, V., De Guzzi Plepis, A. M., & Bogusz Junior, S. (2021). Rheological characterization of the influence of pomegranate peel extract addition and concentration in chitosan and gelatin coatings. *Polysaccharides*, *2*(3), 648-660. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030043>.
- Rosmini, M. R., Perlo, F., Pérez-Álvarez, J. A., Pagán-Moreno, M. J., Gago-Gago, A., López-Santoveña, F., & Aranda-Catalá, V. (1996). TBA test by an extractive method applied to 'paté'. *Meat Science*, *42*(1), 103-110. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00065-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00065-3).
- Santos, E. N., Sousa, T. C. A., Santana Neto, D. C., Grisi, C. V. B., Ferreira, V. C. S., & Silva, F. A. P. (2022). Edible active film based on gelatin and *Malpighia emarginata* waste extract to inhibit lipid and protein oxidation in beef patties. *Food Science and Technology - LWT*, *154*, 112837. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112837>.
- Sheerzad, S., Khorrami, R., Khanjari, A., Gandomi, H., Basti, A. A., & Khansavar, F. (2024). Improving chicken meat shelf-life: Coating with whey protein isolate, nanochitosan, bacterial nanocellulose, and cinnamon essential oil. *LWT - Food Science and Technology*, *197*, 115912. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115912>.

- Tyufin, A. A., & Kerry, J. P. (2021). Gelatin films: Study review of barrier properties and implications for future studies employing biopolymer films. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100688. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100688>.
- Umaraw, P., Munekata, P. E., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P., & Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coatings with tailored properties for active packaging of meat, fish, and derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 10-24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.001>.
- Wang, Y., Han, L., Yu, W., Zhao, W., Pan, J., Prakash, S., & Dong, X. (2023). Carrageenan addition improves the melting temperature and 3D printing performance of the gelatin system. *Food Hydrocolloids*, 144, 108918. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108918>.
- Wangensteen, H., Samuelsen, A. B., & Malterud, K. E. (2004). Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food Chemistry*, 88(2), 293-297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.006>.
- Waterhouse, A. (2006). Folin-Ciocalteu micro-method for total phenol in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 3-5.
- Zamuz, S., López-Pedrouso, M., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Domínguez, H., & Franco, D. (2018). Application of hull, bur and leaf chestnut extracts on the shelf-life of beef patties stored under MAP: Evaluation of their impact on physicochemical properties, lipid oxidation, antioxidant, and antimicrobial potential. *Food Research International*, 112, 263-273. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.030>.

ARTIGO 2

Artigo redigido conforme a norma do periódico Meat Science

“Versão Preliminar”

Filme ativo de gelatina e babosa aditivado com extrato da semente de coentro sobre a qualidade de almôndegas ovinas

Active film of gelatin and aloe vera added with coriander seed extract on the quality of sheep meatballs

Resumo: A carne e seus derivados são alimentos altamente perecíveis, o que necessita de condições controladas durante o processamento e armazenamento. Assim, objetivou-se avaliar o efeito do filme ativo à base de gelatina e babosa aditivada com extrato da semente de coentro sobre a qualidade de almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração. Foram desenvolvidos 3 tratamentos, sendo FWE= Filme de gelatina e babosa sem extrato, AF1= FWE contendo 1% de CSE e AF5= FWE contendo 5% de CSE. Os filmes desenvolvidos foram caracterizados quanto as propriedades de barreira, mecânicas, ópticas e microestrutura. As almôndegas embaladas foram armazenadas a 4 °C por 15 dias, sendo avaliadas nos tempos 0, 5, 10 e 15 com relação as análises físico-químicas e de oxidação lipídica. A incorporação do extrato da semente de coentro nos filmes de gelatina e babosa conferiu uma maior atividade antioxidante (78,45%) e maior opacidade (0,55%), sendo características positivas à preservação das almôndegas. As almôndegas embaladas com os filmes elaborados apresentaram as menores perdas de peso e a melhor estabilidade oxidativa durante o armazenamento refrigerado das almôndegas, onde o filme de gelatina e babosa contendo 5% de extrato da semente de coentro reduziu em 95,60% a formação de malonaldeído até os 10 dias de armazenamento. Portanto, os filmes compósitos podem auxiliar na manutenção da qualidade do produto. Assim, o filme contendo 5% do CSE foi o mais efetivo, considerando os efeitos sobre as características do filme e preservação das almôndegas.

Palavras-chave: *Aloe vera*, *Coriandrum sativum*, embalagem ativa, gelatina, semente de coentro, oxidação lipídica.

1. Introdução

A carne e seus derivados são importantes fontes de proteínas de alta qualidade e fazem parte da alimentação diária de muitos consumidores. No entanto, devido a sua composição química e alta perecibilidade, estão susceptíveis a deterioração microbiana e reações oxidativas, podendo resultar em alterações na qualidade nutricional, sensorial e geração de compostos com potencial risco à saúde humana, durante o armazenamento (Manzoor & Ahmad, 2024).

A busca por estratégias para garantir a segurança e qualidade dos alimentos de forma eficiente e sustentável cresce ao passo que a indústria de embalagens evolui. O setor de embalagens é vital na indústria de alimentos. Uma vez que a embalagem tem funções fundamentais de contenção, proteção, transporte e transmissão de informações do produto, podendo influenciar significativamente na decisão de compra (Ahmed *et al.*, 2022). A embalagem atua diretamente na proteção contra alterações indesejáveis que possam ocorrer durante a vida de prateleira do produto, evitando contato com odores, luz, umidade, poeira e outros fatores externos que possam comprometer a qualidade do alimento (Flóres *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de embalagens ativas está entre as principais tecnologias promissoras no setor de embalagens de alimentos (Roy *et al.*, 2021). As embalagens ativas, recentemente desenvolvidas, têm sido baseadas em polímeros naturais e de fontes renováveis, como carboidratos, proteínas e lipídeos, bem como os polímeros produzidos por microrganismos. Estas embalagens consistem de um sistema ativo capaz de prolongar a vida útil do produto através de interações adicionais as embalagens convencionais (Amin *et al.*, 2022). As embalagens ativas dividem-se em duas principais categorias: embalagens ativas absorvedoras e as de liberação ativa. As absorvedoras atuam removendo componentes indesejáveis do ambiente das embalagens, como oxigênio, etileno e umidade. Já, as embalagens ativas de liberação ativa, promovem a migração controlada de substâncias desejáveis ao produto embalado, como emissores de CO₂, agentes antioxidantes e antimicrobianos (Ahmed *et al.*, 2022).

A gelatina é uma proteína obtida a partir da hidrólise parcial do colágeno. É um biopolímero amplamente utilizado para produção de filmes biodegradáveis devido as suas boas propriedades de formação de filme, facilidade de obtenção e capacidade de transportar ingredientes ativos (Wu *et al.*, 2014; Shankar *et al.*, 2019), entretanto, apresenta baixas propriedades de resistência à água, o que pode ser melhorado com a adição de carboidratos ou lipídeos à base polimérica (Bermúdez-Oria *et al.*, 2019).

A *Aloe vera* é uma planta herbal, suculenta e xerófito, de elevada importância no mercado de alimentos, farmacêutico e de cosméticos. O gel da babosa é um líquido gelatinoso, transparente, composto por carboidratos, proteínas, fibras, vitaminas, minerais e por compostos bioativos com amplo espectro de efeitos farmacológicos, incluindo atividade antioxidante e antimicrobiana (Maan et al., 2021; Chin et al., 2017). Assim, a adição da babosa como base polimérica na formação de filmes biodegradáveis pode proporcionar melhoria nas propriedades mecânicas e de barreira.

As substâncias bioativas, adicionadas à embalagem, exercem mecanismos característicos e impactam positivamente o alimento, uma vez que têm se mostrado eficazes na prevenção da oxidação e na inibição da deterioração microbiana (Amin et al., 2022). Os compostos bioativos presentes nos vegetais têm demonstrado excelentes propriedades farmacológicas e sua aplicação como aditivo natural é uma estratégia promissora para substituição aditivos sintéticos comerciais, devido aos efeitos adversos que estes podem causar à saúde do consumidor (Rangaraj et al., 2021; Arruda et al., 2022).

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma planta da família Apiaceae, conhecida como erva na culinária desde os tempos mais remotos. A extração dos compostos bioativos pode ser feita das diferentes partes da planta, no entanto, o extrato da semente detém de potencial antioxidante e elevado conteúdo fenólico ($269,85 \pm 8,6$ mg GAE/100 g) (Hameed et al., 2019). A semente dispõe de componentes bioativo (ácido clorogênico, ácido cafeico e camferol), com propriedades antibacteriana, antifúngica e atividade antioxidante, podendo ser utilizado na conservação de alimentos e prevenção de doenças vinculadas por alimentos (Hameed et al., 2019; Mandal & Mandal, 2015).

Na literatura foram encontradas pesquisas utilizando a gelatina como base polimérica de filme biodegradável, incorporado com diferentes concentrações do gel da babosa para avaliar o seu efeito sobre as propriedades físicas e funcionais do filme (Chin et al., 2017) e filme à base de gelatina e gel de *Aloe vera* contendo óleo essencial de alecrim e antocianinas de papoula comum para monitorar o frescor de peixe (Bakhshizadeh et al., 2023). Entretanto, até o momento, não há estudos com filmes a base de gelatina e babosa contendo o extrato da semente de coentro como aditivo natural para aplicação em carne ovina e derivados.

A hipótese deste estudo é que o extrato da semente de coentro seja capaz de aumentar a vida útil de almôndegas ovinas armazenadas sobre refrigeração. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito do filme ativo à base de gelatina e babosa aditivada com extrato da semente de coentro sobre a qualidade de almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração.

2. Material e Métodos

2.1. Obtenção da matéria-prima

A carne ovina, a gelatina (L 154036B 23 M, Dr.Oetker) e a semente de coentro foram obtidas em comércio local do município de Pombal-PB e transportados para o laboratório de Carnes e Derivados, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA-UFCG). A babosa foi colhida no próprio campus do CCTA-UFCG. Os reagentes utilizados foram todos de grau analítico.

2.2. Obtenção do extrato da semente de coentro (CSE)

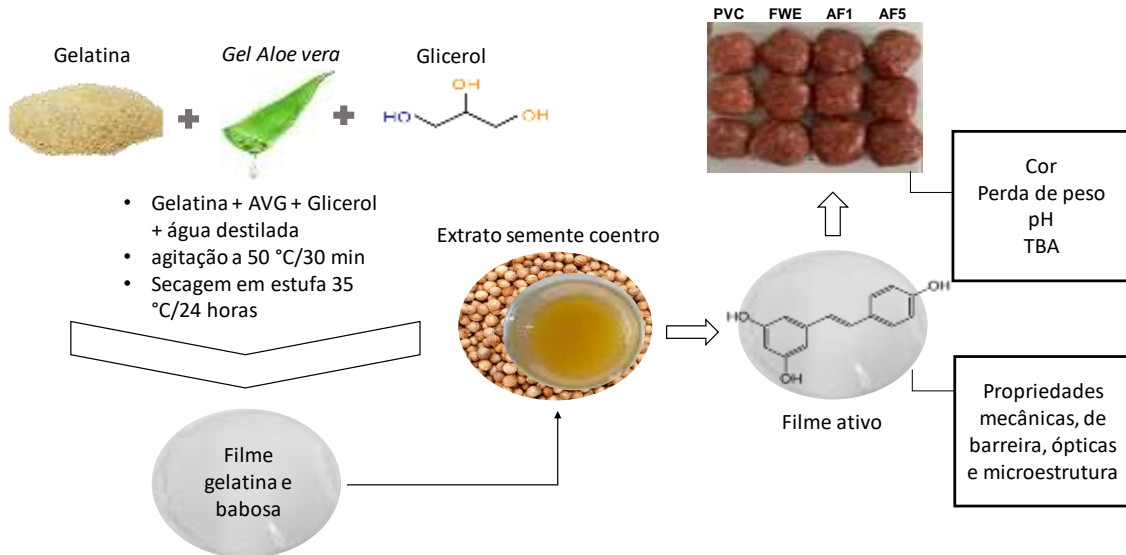
A semente de coentro foi obtida em comércio local do município de Pombal, Paraíba, Brasil. O CSE foi obtido conforme metodologia descrita por El-Sayed et al. (2022). Inicialmente, as sementes de coentro foram moídas em moinho de facas (Solab/SL-30) até formar uma farinha. Um total de 500 g desta farinha foi embebida em 2.000 mL de álcool etílico (80%) (1:4, m/v) por 72 h sob refrigeração (4 °C) e depois filtradas com papel filtro. O filtrado foi encaminhado para evaporação do solvente em rotaevaporador (45 °C). O extrato obtido foi diluído em água destilada numa proporção de 1:2 para caracterização e aplicação no produto. O CSE (250 mg/mL) apresentou teor de fenólicos totais de 4,66 g EAG/100 g, pelo método de Folin-ciocalteau e atividade antioxidante de 4,12 $\mu\text{mol TE/L}$, frente ao radical 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil (DPPH●) (resultados que serão publicados em outro artigo pelo grupo).

2.3 Desenvolvimento dos filmes

O filme foi produzido pelo método de *casting* de acordo com metodologia de Chin et al. (2017), com modificações. Foram elaborados 3 tratamentos: FWE (filme de gelatina e babosa sem CSE), AF1 (FWE com 1% de CSE) e AF5 (FWE com 5% de CSE). A solução filmogênica foi preparada com 5% de gelatina comercial, 5% de babosa e 5% de glicerol, dissolvidos em água destilada. A mistura foi submetida à agitação com aquecimento a 50 °C e 1100 rpm, por 30 min em agitador magnético. Posteriormente, após atingir a temperatura ambiente ($\pm 25^\circ\text{C}$), o CSE foi adicionado à solução em diferentes concentrações (1 e 5%, v/v), nos tratamentos AF1 e AF5, respectivamente. O filme plástico de policloreto de vinila (PVC) foi utilizado como controle. Após o preparo, 35 g das soluções foram dispersos em placas de Petri (150 x 15 mm) e submetidos a secagem em estufa com circulação de ar a 35 °C por 24 h. Por fim, as placas foram acondicionadas em dessecador com sílica por 48 h para posteriores

análises. A Figura 1 demonstra a esquematização da elaboração dos filmes e aplicação nos tratamentos.

Figura 1. Esquema ilustrativo da elaboração dos filmes e aplicação nas almôndegas ovinas.



Fonte:

Do Autor (2024).

2.4. caracterização dos filmes

2.4.1. Capacidade antioxidante dos filmes

O potencial antioxidante dos filmes contra radicais DPPH● foi determinado conforme o método modificado descrito por Lima et al. (2024). Os filmes foram cortados em pedaços quadrados iguais, cada um medindo aproximadamente 0,1 cm x 0,1 cm, resultando em uma massa total de amostra de 100 mg. Esta amostra foi então dissolvida em 10 mL de água ultrapura e agitada por 4 h. Depois, a solução foi centrifugada a 3500 G por 12 min. Decorrido o tempo, as amostras foram filtradas e o sobrenadante foi analisado quanto atividade antioxidante utilizando a absorbância do DPPH como controle.

O efeito de eliminação do radical 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil (DPPH●) foi medido seguindo o método descrito por Bersuder, Hole e Smith (1998), com modificações. 1 mL do extrato do filme foi homogeneizado com 1 mL de solução de DPPH em metanol (50 µM) e deixado em repouso por 30 min. Posteriormente, a absorbância foi lida a 517 nm em um espectrofotômetro (Quimis, modelo Q798U). Uma curva padrão de 0 a 2,5 µM de Trolox foi

usada para calcular a inibição do radical. A capacidade de capturar o radical DPPH• foi expressa em $\mu\text{mol Eq Trolox/g amostra}$ ($\mu\text{mol ET/g}$).

2.4.2. Propriedades ópticas

A determinação da cor dos filmes foi realizada usando colorímetro digital (CR-400, Konika Minolta, Osaka, Japão), com base no sistema CIELab, conforme metodologia de Medina-Jaramillo et al. (2015). Os valores de L^* , a^* e b^* foram obtidos através de leitura direta no colorímetro sobrepondo-os sobre um padrão branco, onde o L^* representa a luminosidade, a^* corresponde a cor vermelha (valores positivos) ou cor verde (valores negativos) e b^* indica cor amarela (valores positivos) ou cor azul (valores negativos). A variação total de cor (ΔE) foi obtida através da equação 1:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 1})$$

A determinação da opacidade foi obtida com leitura em espectrofotômetro a 600 nm (Siripatrawan; Harte, 2010). A opacidade foi calculada conforme a equação 2:

$$\text{Opacidade: } \frac{A_y}{X} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde, A_y = Absorbância no comprimento de onda; X = espessura do filme.

2.4.3. Espessura e propriedades mecânicas

A espessura do filme foi medida utilizando-se um micrômetro digital (Mitutoyo-Co, Japão) com precisão de 0,01 mm. A espessura média dos filmes foi determinada a partir de medições em 10 pontos aleatórios a 60 mm das bordas, à temperatura ambiente (25 °C). O valor médio das medições foi usado nos cálculos e considerado para avaliar as propriedades mecânicas (Beigomi et al., 2018).

As propriedades mecânicas de porcentagem de alongamento (PA) e resistência à tração (RT) dos filmes foram analisadas utilizando um instrumento de ensaios estáticos (Shimadzu, Japão), atuando conforme as instruções da ASTM D882-12 (ASTM, 2012). Os corpos de prova foram cortados em tiras (100 x 15 mm) e presos entre as garras do equipamento, na posição inicial de 50 mm e com a velocidade de separação das garras de 12,5 mm/min. Foram realizadas

10 repetições para cada tratamento e os resultados foram expressos em Pascal (Pa) resistência à tração e porcentagem (%) para porcentagem de alongamento.

2.4.4. Solubilidade em água

A determinação da solubilidade dos filmes foi realizada de acordo com o método descrito por Ge et al. (2018), expresso como a porcentagem de matéria seca do filme solubilizado após 24 h de imersão em água. Inicialmente, as amostras de filmes medindo 2x2 cm foram pesadas (m_i) e secas em estufa a 105 °C por 24 h. Em seguida os filmes secos foram imersos em 30 mL de água destilada a 25 °C e mantidos por 24 h. Posteriormente, as amostras foram coletadas e secas novamente em estufa a 105 °C por 24 h e o peso final (m_f) foi obtido. A solubilidade em água dos filmes foi calculada a partir da equação 3:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

2.4.5. Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM)

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi empregada para avaliar a morfologia da superfície dos filmes. As amostras foram fixadas em um suporte metálico usando uma fita de carbono dupla face e revestidas com uma fina camada de ouro. A análise foi conduzida usando um microscópio MIRA-3 LMH (Tescan São Paulo, SP, Brasil), equipado com uma fonte de alto brilho e operando sob condições de alto vácuo. A aquisição de imagens foi feita usando um software MiraTC, utilizando uma tensão de aceleração de 10 kV, detectores de elétrons secundários (SE) com um fluxo de 1750 mA e uma ampliação de 5000 x.

2.4.6. Espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A FTIR dos filmes foi avaliada utilizando o método de refletância atenuada (ATR). Os filmes foram sobrepostos diretamente na célula de leitura do equipamento em temperatura ambiente (25 °C) e os testes foram realizados obtendo os espectros no modo transmitância. Os espectros foram obtidos na faixa de 600 a 4000 cm^{-1} , resolução de 4 cm^{-1} e 40 varreduras, segundo Kaya et al. (2018). A correção automática da linha de base foi aplicada a todos os espectros antes do ajuste da curva. Os espectros foram gerados com o software IR Solutions (Shimadzu), e o ajuste de pico foi realizado com o software OriginPro, versão 8.5 (OriginLab Corporation, Northampton, MA).

2.5. Aplicação dos filmes em almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração

As almôndegas foram preparadas a partir do pernil ovino (92%), água gelada (5%), fécula de mandioca (2%) e cloreto de sódio (1%). A carne já moída foi homogeneizada com NaCl e água gelada. Em seguida, as almôndegas (50 g) foram moldadas manualmente e embaladas com os filmes (FWE, AF1, AF5 e PVC). As amostras foram armazenadas sob refrigeração (4 °C) por 15 dias, sendo realizadas análises de caracterização físico-química e oxidação lipídica nos tempos 0, 5, 10 e 15. Foram realizadas as seguintes análises:

2.5.1. Análise de cor

As almôndegas foram submetidas a análise de cor com leitura direta em colorímetro digital, empregando a escala de cor CIELAB, com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. As variáveis de cor estudadas foram L^* , a^* , b^* , Hue*, razão a/b^* e ΔE .

2.5.2. Determinação de perda de peso

A perda de peso por centrifugação foi quantificada pelo método descrito por de Herrero et al. (2005). Um total de 2 g da amostra foram embrulhados com papel de filtro, inseridos em tubos Falcon de 50 mL e centrifugados a 1500 x G por 5 min a 4 °C. A perda de peso por centrifugação foi medida conforme equação 4:

$$\text{Perda de peso (\%)} = \frac{\text{Peso}_{\text{inicial}} - \text{Peso}_{\text{final}}}{\text{Peso}_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

2.5.3. Determinação do pH

Os valores de pH foram medidos por leitura direta em pHmetro digital de bancada (Digimed) a 25 °C, previamente calibrados com soluções tampão de pH em pH 7,0 e 4,0, conforme os parâmetros descritos pela AOAC (2012).

2.5.4. Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

O grau de oxidação lipídica foi analisado pelo método de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) segundo Rosmini et al. (1996). Resumidamente, 2,5 g da amostra foram misturados com 5 ml de ácido tricloroacético (TCA) 10% (p/v) por 5 minutos com agitação contínua para extrair o malonaldeído (MDA). Em seguida, foram centrifugados (3500 rpm/30 min) e os sobrenadantes filtrados. Posteriormente, 2,5 mL do filtrado foram combinados

com 2,5 mL de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) 0,02 M e aquecidos (100 °C/30 min) em banho-maria. O sistema foi resfriado em água e a absorbância das amostras foi medida a 530 nm em espectrofotômetro UV/VIS. A curva de calibração usando concentrações conhecidas de MDA foi usada para quantificar os TBARS. Os resultados foram expressos como mg de malondialdeído (MDA) por kg de amostra (mg MDA/kg amostra).

2.6. Análise estatística

Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. O experimento do armazenamento foi conduzido em um Delineamento Inteiramente Casualizado, em arranjo fatorial 4x4 (4 tratamentos x 4 períodos de armazenamento). Os resultados foram avaliados através de análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando programa estatístico SAS® System (2012) Versão 9.0.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização dos filmes

A Tabela 1 apresenta os resultados das propriedades ópticas, mecânicas, solubilidade e atividade antioxidante dos filmes compósitos. A opacidade dos filmes FWE e AF1 não diferiram entre si, no entanto, a adição de 5% de CSE provocou um aumento na opacidade do filme. O aumento da opacidade é um ponto positivo para aplicação em produtos cárneos, uma vez que reduz a transparência e melhora a proteção contra a luz, que é um dos catalizadores das reações de oxidação lipídica e de alterações nas características sensoriais e nutricionais dos produtos (Ibeogu et al., 2024). Santos et al. (2022) também verificaram aumento da opacidade em filmes de gelatina quando incorporado de extrato do resíduo da acerola.

Não houve diferença entre os tratamentos quanto as variáveis L^* e a^* , entretanto, a maior concentração de CSE (5%) resultou em maiores valores de b^* , tendendo a uma coloração mais amarelada. Este resultado pode ser associado a coloração amarelo-alaranjado do CSE, resultante da presença de pigmentos como os flavonoides amarelos (El-Sayed et al., 2022; Mechchate et al., 2021). Não houve diferença na variação de cor dos filmes. A ausência de cor da gelatina e do gel da babosa, originaram um filme transparente (controle) e o percentual de CSE utilizado (1 e 5%), não influenciou na variação total da cor dos filmes.

A espessura é um dos parâmetros que influencia diretamente nas demais propriedades dos filmes biodegradáveis, como na porcentagem de alongamento (PE), resistência à tração

(TS) e propriedades de barreira. A espessura do filme foi afetada pela incorporação do CSE. Não houve diferença entre os tratamentos FWE e AF1, porém, o tratamento AF5 apresentou a menor espessura. Isso revela que a adição de 1% do extrato não interfere na espessura do filme compósito.

Não houve diferença significativa na PE dos filmes ($p < 0,05$), no entanto, houve uma redução significativa da TS dos filmes com a adição do CSE. Esta redução da TS pode estar associada as ligações covalentes e de hidrogênio que possivelmente ocorreram entre polifenóis do CSE e peptídeos da gelatina, provocando enfraquecimento da rede proteica (Li et al., 2014). Resultados similares foram encontrados por Jebel et al. (2025), em filme ativo de dupla camada de álcool polivinílico e gelatina com extrato da casca de berinjela, que verificaram que a incorporação de 8% de extrato resultou em uma diminuição nos valores de TS, possivelmente pelo aumento da heterogeneidade da matriz polimérica.

A WS dos filmes reflete o seu desempenho diante do contato com a água (Lin et al., 2023). Os filmes apresentaram uma elevada solubilidade, variando de 63 a 69% e não diferiram entre si. A elevada WS dos filmes já era algo esperado, uma vez que tanto a gelatina como a babosa têm forte afinidade com a água, devido a sua natureza hidrofílica (Maan et al., 2021; Liu et al., 2017). Além disso, o glicerol é um agente plastificante higroscópico, podendo contribuir para a alta solubilidade dos filmes (Imoisili & Jen, 2023). Bakhshizadeh et al. (2023), encontraram valores de solubilidade semelhantes (61%) em filmes à base de gelatina e babosa.

Com relação ao % de inibição frente ao radical livre DPPH, verifica-se potencial de inibição nos filmes desenvolvidos. O filme sem extrato (FWE) apresentou atividade antioxidante, o que pode ser atribuído aos compostos fenólicos presentes no gel da babosa, como já relatado em pesquisa anterior (González-Delgado et al., 2023). Corroborando com os nossos resultados, Chin et al. (2017) estudaram o efeito do gel de babosa nas propriedades físicas e funcionais de filmes de gelatina de peixe como embalagem ativa e constataram aumento da atividade antioxidante (frente a eliminação do DPPH) com o aumento da concentração do gel.

Os filmes ativos (AF1 e AF5) apresentaram aumento da atividade antioxidante de acordo com o incremento da concentração do CSE, o que pode ser conferido pelos compostos fenólicos presentes no extrato, como também pelo sinergismo entre os compostos bioativos do CSE e o gel de babosa. El-Sayed et al. (2022), identificaram a presença de compostos fenólicos e alta atividade antioxidante (frente ao radical DPPH) em nanoemulsão de extrato da semente de coentro. A partir dos resultados obtidos, sugere-se que os filmes AF1 e AF5 possuem boa

atividade antioxidante, com potencial de aplicação viável na manutenção da qualidade e na extensão do prazo de validade de carnes e derivados.

Tabela 1. Resultado da caracterização dos filmes.

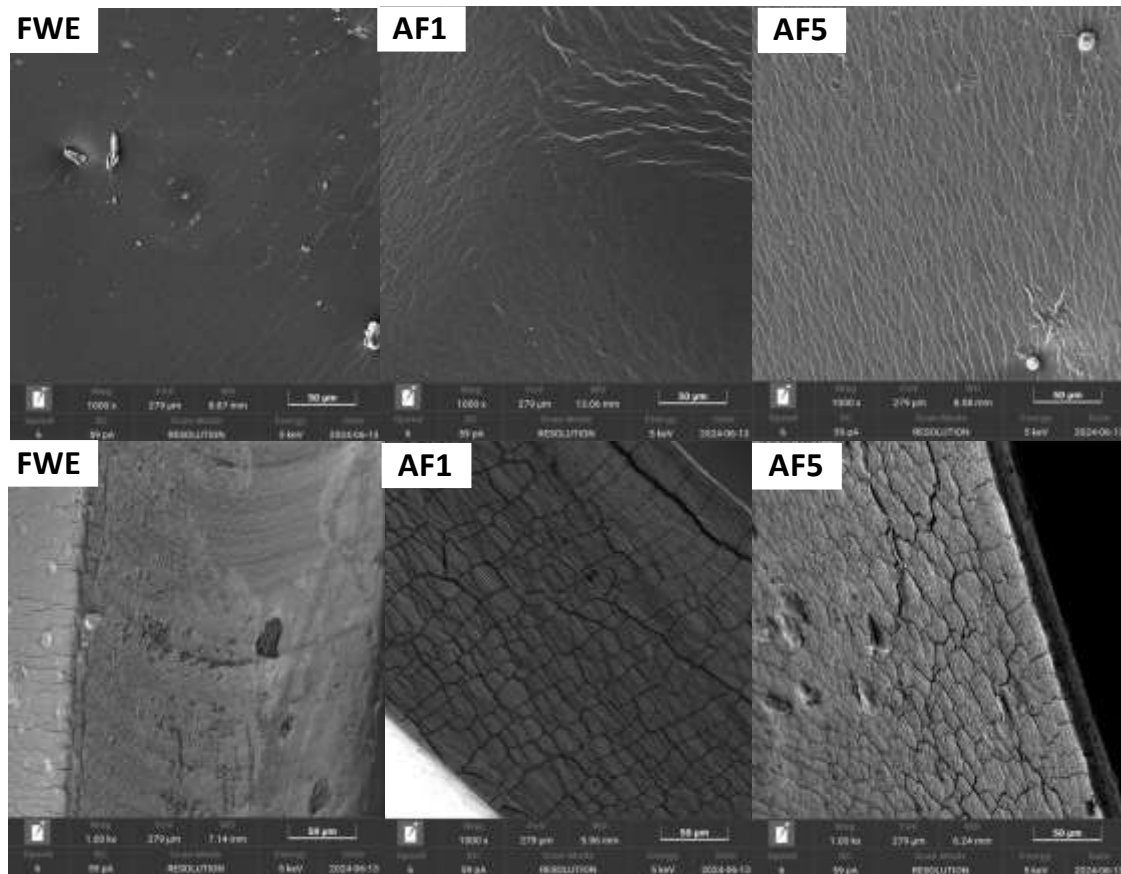
Parâmetros	Tratamentos		
	FWE	AF1	AF5
Opacidade (%)	0,22±0,10 ^b	0,19±0,05 ^b	0,55±0,04 ^a
L*	51,40±2,50 ^a	48,83±0,91 ^a	51,80±1,61 ^a
a*	2,60±0,38 ^a	2,40±0,72 ^a	2,70±0,65 ^a
b*	13,6±0,23 ^b	13,4±1,5 ^b	16,8±0,54 ^a
ΔE	3,06±1,38 ^a	3,62±1,99 ^a	3,09±2,45 ^a
Espessura (mm)	0,24±0,01 ^a	0,22±0,02 ^a	0,13±0,02 ^b
TS (MPa)	2,85 ± 0,96 ^a	1,64 ± 0,51 ^b	1,21 ± 0,35 ^b
PE (%)	244,22 ± 47,00 ^a	229,50 ± 45,88 ^a	246,67 ± 62,12 ^a
WS (%)	65,62±2,79 ^a	63,38±0,29 ^a	64,66±1,12 ^a
DPPH (% de inibição)	45,23±0,70 ^c	54,11±0,23 ^b	78,45±0,23 ^a

FWE= filme de gelatina e babosa sem extrato de coentro; AF1= FWE com 1% de extrato de coentro; AF5= FWE com 5% de extrato de coentro. PE= Porcentagem de alongamento. TS= Resistência à tração. WS= Solubilidade em água. Resultados expressos em termos de média ± desvio padrão. Cada valor consiste em 3 medidas independentes (n=3), exceto espessura (n=10) e parâmetros de cor (n=5). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

A Figura 2 expõe o resultado da avaliação da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das superfícies e transversais dos filmes compósitos. O MEV das superfícies dos filmes de gelatina e babosa (com e sem extrato) mostraram-se homogêneos, lisos, sem rachaduras e sem poros perceptíveis. As imagens transversais mostraram uma estrutura com algumas cavidades e rachaduras nos filmes AF1 e AF5, comparado com FWE, esse fato pode ser atribuído a compatibilidade desigual entre os biopolímeros da matriz do filme e o CSE. A adição do CSE conferiu ao filme uma matriz com maior rugosidade (AF1 e AF5), o que pode ser atribuído a interação intermolecular dos compostos fenólicos presentes no CSE com a base polimérica do filme (Sun et al., 2024), contudo, a incorporação do extrato manteve a homogeneidade dos filmes, apesar da rugosidade, mostrando que os constituintes do filme

apresentaram boa compatibilidade. Resultado semelhante foi observado por Lou et al. (2024) em filmes biodegradáveis de gelatina/pectina contendo nanofibras de celulose e polímeros de biguanida.

Figura 2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das superfícies e transversais dos filmes FWE, AF1 e AF5.



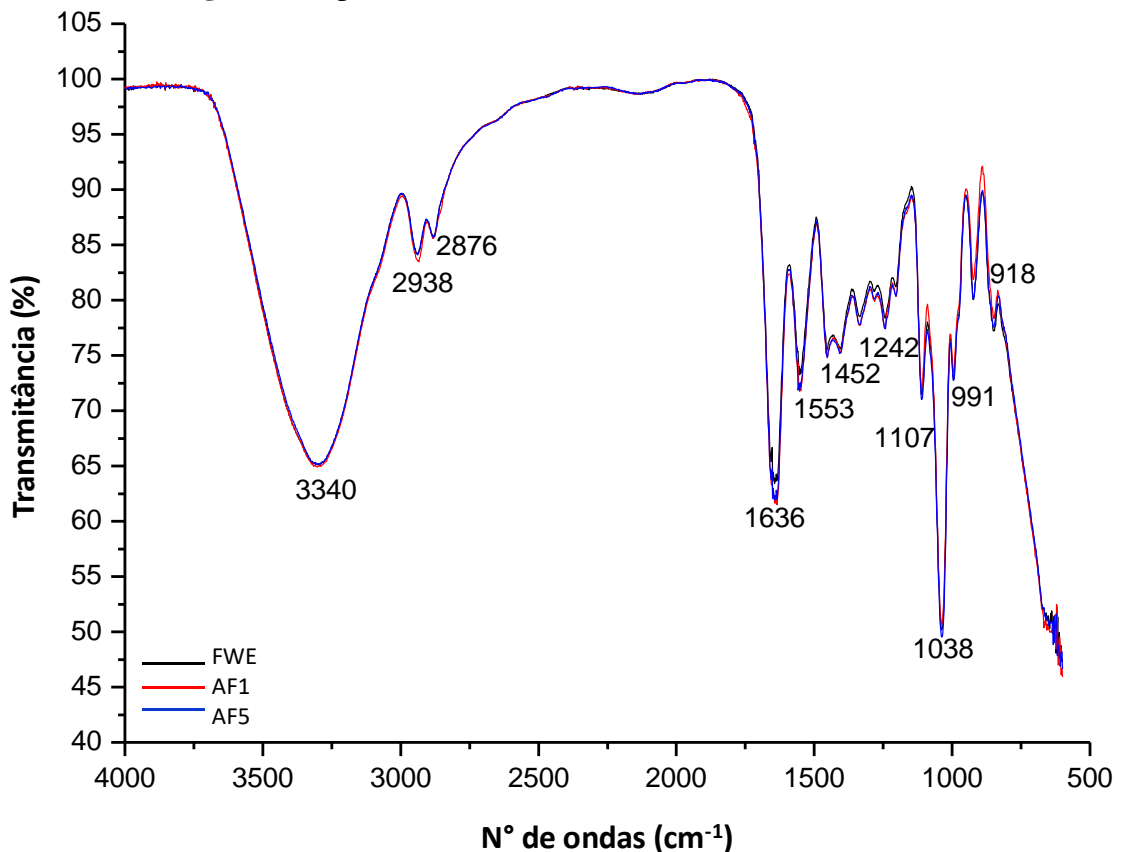
Os resultados de FTIR podem indicar mudanças nos filmes, em termos de composições moleculares (Figura 3). Alterações nos picos característicos dos espectros refletem as interações químicas entre os componentes dos filmes (Kowalczyk et al., 2015). Observa-se que os picos foram similares para todos os tratamentos, com bandas variando de 918 a 3340 cm^{-1} .

A amida A (3340) corresponde à vibração de estiramento O – H que pode ser proveniente do glicerol, de compostos fenólicos do CSE, da água ou da própria gelatina (Santos et al., 2022). A amida B e amida I, que correspondem aos picos 2938 e 2876 cm^{-1} , respectivamente, são atribuídas ao estiramento N – H dos grupos amida, vibração de estiramento C – C de grupos aromáticos e estiramento C – N de aminas alifáticas (Bakhshizadeh et al., 2023). A amida II (1636) pode ser atribuída a presença de grupos carbonila do gel da babosa (Matteis et al., 2023) e a vibração de alongamento das ligações peptídicas (CONH) e a

amida III (1553) possivelmente corresponde ao estiramento das ligações simples de C – H (Ângulo & Sobral, 2016).

De acordo com os espectros, não foram observadas alterações perceptíveis na intensidade e nas posições dos picos, sugerindo que a incorporação do CSE em filmes de gelatina e babosa não provoca modificações químicas significativas, possivelmente pela similaridade entre os grupos funcionais da gelatina, babosa e do CSE. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Nguyen et al. (2023), em filmes de gelatina/carboximetilcelulose/goma guar enriquecidos com extratos metanólicos de resíduos de cebola roxa.

Figura 3. Espectros de FTIR dos filmes FWE, AF1 e AF5.



3.2. Aplicação dos filmes em almôndegas ovinas armazenadas sob refrigeração

O resultado da análise colorimétrica das almôndegas armazenadas sob refrigeração, encontra-se na Tabela 2. Para os parâmetros de cor avaliados, não houve diferença entre os tratamentos, no entanto, houve efeito do armazenamento ($p < 0,05$). A Figura 3 traz as fotografias digitais das almôndegas ovinas durante os 15 dias de armazenamento refrigerado.

Com relação a luminosidade (L^*), a amostra AF1 não foi afetada e os tratamentos PVC, FWE e AF5 apresentaram um aumento ao longo do armazenamento. Com relação ao parâmetro a^* (vermelhidão), não houve efeito dos tratamentos, todavia, houve uma redução durante o armazenamento para todos os tratamentos. Este fato pode ser atribuído a perda ou oxidação da mioglobina e, conseqüentemente, alteração da cor vermelha das almôndegas. Tratando-se da variável b^* (amarelo), as amostras embaladas apenas com PVC e AF5 não foram afetadas pelo armazenamento. Já o tratamento FWE apresentou os maiores valores no tempo 5 e os menos no tempo 15. Fato semelhante foi observado para o tratamento AF1, porém, os menores valores foram observados no tempo 10. Elhadeh et al. (2024), avaliando o efeito do filme de gelatina-alginato de sódio com extrato de caroços de tâmara sobre a vida útil de carne moída crua, verificaram que o valor de a^* também reduziu ao longo do armazenamento, corroborando com os nossos achados, enquanto que os valores de L^* e b^* aumentaram durante o armazenamento refrigerado, associando esse fato a presença de pigmentos escuros presentes no extrato do caroço de tâmara.

Não houve diferença ($p < 0,05$) entre os tratamentos para a variável hue^* . Durante o armazenamento, houve aumento significativo para todos os tratamentos a partir do dia 5. O aumento nos valores de hue^* indica um escurecimento do produto, oriundo da oxidação da mioglobina em metamioglobina. A razão a^*/b^* foi afetada apenas pelo armazenamento. Os valores de a^*/b^* diminuíram a partir do 5º dia até o final do armazenamento para todos os tratamentos. A razão a^*/b^* também está associada a perda da mioglobina e ao aumento da oxidação lipídica (Inai et al., 2014), cuja redução dos seus valores indica escurecimento do produto, o que corrobora com os resultados das variáveis a^* e hue^* . Não houve efeito do tratamento e do tempo de armazenamento sobre a variação de cor total (ΔE) das almôndegas. De acordo com Choi et al. (2002), valores acima de 2 são perceptíveis sensorialmente, dessa forma, observa-se que os valores de ΔE de todas as amostras foram acima de 2 já a partir do 5 dia de armazenamento, o que corrobora com a imagem digital das almôndegas durante o período de armazenamento refrigerado (Figura 3).

Tabela 2. Resultados da colorimetria das almôndegas ovina durante o armazenamento refrigerado.

	0	5	10	15	MSE
T*	L*				
PVC	35,14 ^B	37,72 ^{AB}	36,12 ^{AB}	38,02 ^A	0,55
FWE	35,14 ^B	38,14 ^A	36,96 ^{AB}	35,60 ^{AB}	0,56

AF1	35,14	37,60	36,16	36,14	0,49
AF5	35,14 ^B	35,90 ^{AB}	36,52 ^{AB}	37,86 ^A	0,52

a*

PVC	9,78 ^A	7,80 ^B	7,26 ^B	5,92 ^C	0,36
FWE	9,78 ^A	8,14 ^B	7,26 ^{BC}	5,86 ^D	0,25
AF1	9,78 ^A	7,94 ^B	6,32 ^C	5,88 ^C	0,26
AF5	9,78 ^A	7,80 ^B	6,42 ^C	6,62 ^{BC}	0,22

b*

PVC	19,90	19,46	19,16	19,92	0,56
FWE	19,90 ^{AB}	20,54 ^A	19,96 ^{AB}	18,18 ^B	0,36
AF1	19,90 ^{AB}	20,22 ^A	17,84 ^B	18,42 ^{AB}	0,54
AF5	19,90	19,10	19,42	20,28	0,47

Hue*

PVC	63,82 ^C	68,24 ^B	69,21 ^B	73,37 ^A	0,91
FWE	63,82 ^C	68,38 ^B	70,05 ^{AB}	72,14 ^A	0,52
AF1	63,82 ^C	68,57 ^B	70,47 ^{AB}	72,25 ^A	0,60
AF5	63,82 ^C	67,78 ^B	71,71 ^A	71,92 ^A	0,45

a*/b*

PVC	0,49 ^A	0,40 ^B	0,38 ^B	0,30 ^C	0,02
FWE	0,49 ^A	0,40 ^B	0,36 ^{BC}	0,32 ^C	0,01
AF1	0,49 ^A	0,39 ^B	0,35 ^{BC}	0,32 ^C	0,01
AF5	0,49 ^A	0,41 ^B	0,33 ^C	0,33 ^C	0,01

 ΔE

PVC	-	3,77	3,66	3,29	2,06
FWE	-	3,48	3,45	4,48	2,20
AF1	-	5,04	4,54	4,69	2,75
AF5	-	3,46	4,04	3,81	2,18

T*: tratamento. MSE= Erro Padrão da Média. PVC= Filme comercial de PVC; FWE= Filme de gelatina e babosa sem extrato; AF1= Filme de babosa e gelatina contendo 1% de CSE; AF5= de Filme de babosa e gelatina contendo 5% de CSE. Letras minúsculas diferentes na coluna denotam diferença significativa entre os tratamentos e letras maiúsculas na linha denotam diferença dos tratamentos entre os períodos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ausência de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, denotam que não houve diferença significativa.

Figura 4. Fotografia digital das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.



Fonte: Do Autor (2024).

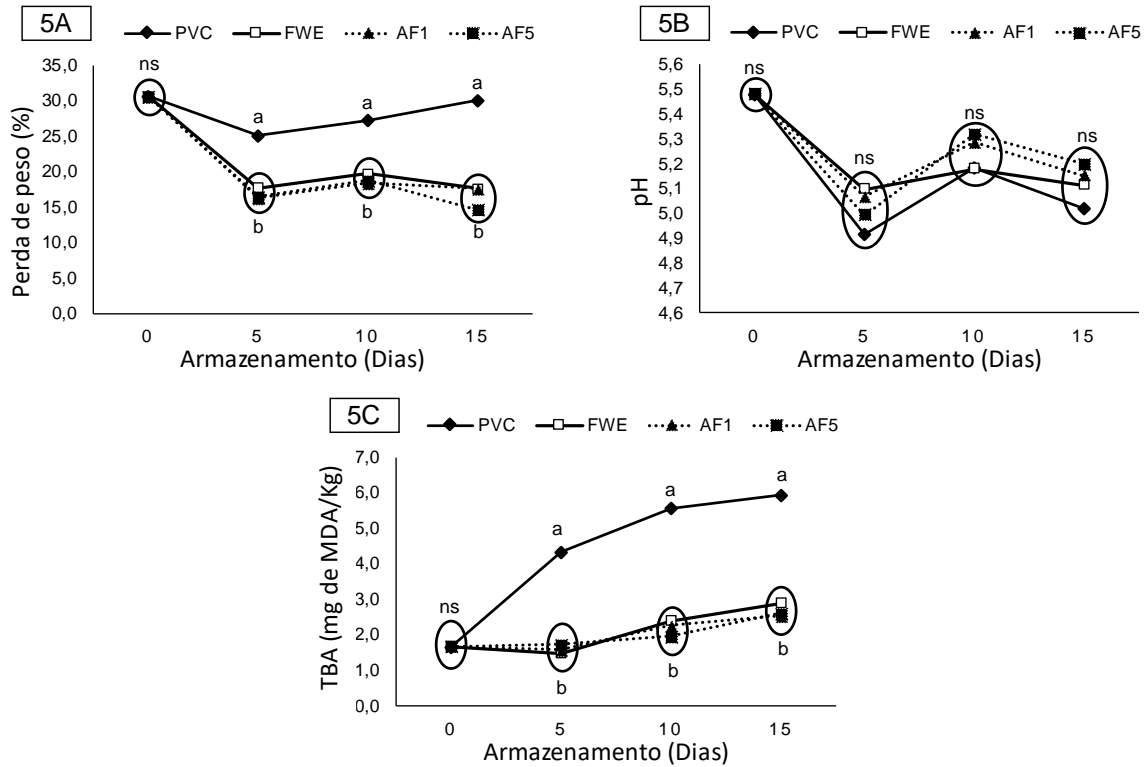
O resultado da avaliação da perda de peso das almôndegas encontra-se na Figura 5A. Houve diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$), onde as almôndegas embaladas com PVC apresentaram as maiores perdas de peso, enquanto que as amostras FWE, AF1 e AF5 não diferiram entre si. Com relação ao armazenamento, a amostra PVC apresentou redução no tempo 5, seguido de aumento constante na perda de peso até o final dos 15 dias. Já as amostras embaladas com o filme de gelatina e babosa (FWE, AF1 e AF5) apresentaram redução no percentual da perda de peso ao longo dos 15 dias. A carne naturalmente perde água durante o armazenamento. Desta forma, as menores perdas de peso observadas nas amostras embaladas com filme de gelatina e babosa podem estar associadas a capacidade de retenção de água da gelatina, devido a presença de aminoácidos hidrofílicos em sua composição, como glicina, serina, treonina e ácido aspártico (Santos et al., 2022; Jridi et al., 2018). Cai et al. (2024) observaram uma menor perda de peso para os filmes bicamada de etilcelulose/gelatina-carboximetilquitosana dopados com polifenol da casca da semente de *Euryale ferox*, em relação ao tratamento controle (filme sem o polifenol).

A Figura 5B apresenta as alterações do pH das almôndegas ao longo do armazenamento. O pH das amostras variaram de 4,91 a 5,78. Não houve diferença entre os tratamentos. Durante o armazenamento, o pH das amostras apresentou um declínio no 5º dia, com exceção de FWE que não foi afetada pelo armazenamento. As amostras embaladas com PVC, AF1 e AF5, a partir do dia 5, mantiveram-se constantes até o 15º dia. O aumento do pH durante o armazenamento é algo comum, uma vez que produtos cárneos tendem a sofrer reações de oxidação proteica e ação de microrganismos, produzindo aminas e amônia (Manzoor & Ahmad, 2024; Khan et al., 2023). Todavia, a redução do pH das almôndegas embaladas com os filmes compósitos pode estar relacionada a presença de ácidos orgânicos e compostos fenólicos do CSE (Hameed et al., 2019), bem como no gel da babosa (Maan et al., 2021), enquanto que a redução do pH das

almôndegas tratadas com PVC pode ser justificada pelo provável desenvolvimento de bactérias ácido-láticas durante o armazenamento, que contribuíram para acidificação do meio (Gonzales-Barron et al., 2021; Zamuz et al., 2018). Semelhante aos nossos achados, Barbosa et al. (2022) observaram redução nos valores de pH em hambúrgueres de cordeiro embalados com filme de gelatina e amido incorporados ou não com extratos de jambolão e orégano durante 90 dias de armazenamento congelado.

A Figura 5C retrata as variações de TBA das almôndegas ao longo do armazenamento. Houve efeito dos tratamentos, armazenamento e da interação entre os fatores ($p < 0,05$). Os valores de TBA variaram de 1,67 a 5,96 mg de MDA/Kg de amostra. A amostra embalada com PVC foi a que apresentou os maiores valores de TBA, diferindo dos demais tratamentos. Durante o armazenamento, houve aumento significativo para as amostras com PVC, aumentando de 1,67 para 4,35 mg de MDA/Kg já no tempo 5, enquanto os demais tratamentos mantiveram valores inferiores a 3 até os 15 dias de armazenamento. No 10º dia, a amostra AF5 apresentou redução de 95,60% na formação de MDA em relação a amostra PVC, com valor abaixo de 2 mg de MDA/Kg. Embora não haja diferença entre os tratamentos FWE, AF1 e AF5, este resultado mostra que o tratamento AF5 foi capaz de retardar a oxidação lipídica das almôndegas durante 10 dias de armazenamento refrigerado, com valores considerados abaixo do limiar aceitável (entre 1 e 2 mg MDA/kg), uma vez que valores acima desse limite pode tornar o produto sensorialmente desagradável, devido aos produtos da oxidação lipídica (Figueiredo et al., 2022). O fato da amostra FWE ter apresentado uma redução na formação de MDA pode ser atribuído ao potencial antioxidante do gel babosa, o qual já foi relatado por Chin et al. (2017). Enquanto que o retardo da oxidação das amostras tratadas com CSE pode ser atribuído aos constituintes bioativos presentes no extrato (El-Sayed et al., 2022). Resultados semelhantes foram relatados por Barbosa et al. (2022), que observaram os menores valores de TBA em hambúrgueres de carne ovina tratados com filme ativo à base gelatina-amido contendo extrato de *Syzygium cumini* (jambolão) e *Origanum vulgare* (orégano), em relação à amostra controle.

Figura 5. Resultados da perda de peso (5A), pH (5B) e TBA (5C) das almôndegas ovinas durante o armazenamento refrigerado.



Letras diferentes mostram diferença significativa entre os tratamentos dentro de cada período de armazenamento e os círculos agrupam os tratamentos que não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

4. Conclusões

A incorporação de 5% de extrato da semente de coentro nos filmes de gelatina e babosa conferiu uma maior opacidade e maior atividade antioxidante, sendo características positivas à preservação das almôndegas. As almôndegas tratadas com os filmes elaborados apresentaram as menores perdas de peso e a melhor estabilidade oxidativa durante o armazenamento refrigerado, onde o filme de gelatina e babosa contendo 5% de extrato da semente de coentro preservou o produto contra a oxidação lipídica (redução de 95,60% na formação de malonaldeído) até os 10 dias de armazenamento. Portanto, os filmes compósitos foram efetivos na manutenção da qualidade do produto, contudo, o filme contendo 5% do CSE foi o mais efetivo, considerando os efeitos sobre as características do filme e preservação das almôndegas.

Referências

- Ahmed, M. W., Haque, M. A., Mohibullah, M., Khan, M. S. I., Islam, M. A., Mondal, M. H. T., & Ahmmed, R. (2022). A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100913. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100913>.
- Amin, U., Khan, M. K. I., Maan, A. A., Nazir, A., Riaz, S., Khan, M. U., ... & Lorenzo, J. M. (2022). Biodegradable active, intelligent, and smart packaging materials for food applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100903. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100903>.
- Angulo, D. E. L., & Sobral, P. J. A. (2016). Characterization of gelatin/chitosan scaffold blended with aloe vera and snail mucus for biomedical purpose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 645-653. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.048>.
- AOAC. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.
- Arruda, T. R., Bernardes, P. C., Moraes, A. R. F., & Soares, N. D. F. F. (2022). Natural bioactives in perspective: The future of active packaging based on essential oils and plant extracts themselves and those complexed by cyclodextrins. *Food Research International*, 156, 111160. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111160>.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM D5477-11. *Standard Practice for Identification of Polymer Layers or Inclusions by Fourier Transform Infrared Microspectroscopy (FT-IR)*.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. (2012). ASTM D882-12. *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*.

- Atsbha, K., Gebremariam, T., & Aregawi, T. (2021). Slaughter performance and meat quality of Begait breed lambs fattened under different diets. *Heliyon*, 7(5), e06745. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06745>.
- Bakhshizadeh, M., Ayaseh, A., Hamishehkar, H., Kafil, H. S., Moghaddam, T. N., Haghi, P. B., ... & Lorenzo, J. M. (2023). Multifunctional performance of packaging system based on gelatin/aloe vera gel film containing rosemary essential oil and common poppy anthocyanins. *Food Control*, 154, 110017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110017>.
- Barbosa, T. C. M., Grisi, C. V. B., Da Fonseca, S. B., De Albuquerque Meireles, B. R. L., & De Magalhães Cordeiro, A. M. T. (2022). Effect of active gelatin-starch film containing *Syzygium cumini* and *Origanum vulgare* extract on the preservation of lamb burgers. *Meat Science*, 191, 108844. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108844>.
- Bermúdez-Oria, A., Rodríguez-Gutiérrez, G., Rubio-Senent, F., Fernández-Prior, Á., Fernández-Bolaños, J. (2019). Effect of edible pectin-fish gelatin films containing the olive antioxidants hydroxytyrosol and 3, 4-dihydroxyphenylglycol on beef meat during refrigerated storage. *Meat Science*, 148, 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.014>.
- Bersuder, P., Hole, M., & Smith, G. (1998). Antioxidants from a heated histidine-glucose model system. I: Investigation of the antioxidant role of histidine and isolation of antioxidants by high-performance liquid chromatography. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75, 181–187. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0011-5>.
- Beigomi, M., Mohsenzadeh, M., & Salari, A. (2018). Characterization of a novel biodegradable edible film obtained from *Dracocephalum moldavica* seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108, 874-883. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.104>.

- Cai, M., Zhang, X., Zhong, H., Li, C., Shi, C., Cui, H., & Lin, L. (2024). Ethyl cellulose/gelatin-carboxymethyl chitosan bilayer films doped with *Euryale ferox* seed shell polyphenol for cooked meat preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, *256*, 128286. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128286>.
- Chin, S. S., Lyn, F. H., & Hanani, Z. N. (2017). Effect of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, *12*, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.03.002>.
- Choi, M. H., Kim, G. H., & Lee, H. S. (2002). Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, *35*(8), 753-759. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00052-4).
- Elhadeif, K., Chaari, M., Akermi, S., Ennouri, K., Hlima, H. B., Fourati, M., ... & Smaoui, S. (2024). Gelatin-sodium alginate packaging film with date pits extract: An eco-friendly packaging for extending raw minced beef shelf life. *Meat Science*, *207*, 109371. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109371>.
- El-Sayed, H. S., Fouad, M. T., & El-Sayed, S. M. (2022). Enhanced microbial, functional and sensory properties of herbal soft cheese with coriander seeds extract nanoemulsion. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *45*, 102495. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102495>.
- Farahani, M., Shahidi, F., Yazdi, F. T., & Ghaderi, A. (2024). Antimicrobial and antioxidant effects of an edible coating of *Lepidium sativum* seed mucilage and *Satureja hortensis* L. essential oil in uncooked lamb meat. *Food Control*, *158*, 110240. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110240>.

- Feng, M., Yu, L., Zhu, P., Zhou, X., Liu, H., Yang, Y., & Chen, P. (2018). Development and preparation of active starch films carrying tea polyphenol. *Carbohydrate Polymers*, *196*, 162-167. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.047>.
- Fernandes, R. P. P., Trindade, M. A., Tonin, F. G., Lima, C. G., Pugine, S. M. P., Munekata, P. E. S., & Melo, M. P. (2016). Evaluation of antioxidant capacity of 13 plant extracts by three different methods: Cluster analyses applied for selection of the natural extracts with higher antioxidant capacity to replace synthetic antioxidant in lamb burgers. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(1), 451-460. <https://doi.org/10.1007/s11483-015-9430-5>.
- Flórez, M., Cazón, P., & Vázquez, M. (2022). Active packaging film of chitosan and *Santalum album* essential oil: Characterization and application as butter sachet to retard lipid oxidation. *Food Packaging and Shelf Life*, *34*, 100938. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100938>.
- Ge, L., Zhu, M., Li, X., Xu, Y., Ma, X., Shi, R., & Mu, C. (2018). Development of active rosmarinic acid-gelatin biodegradable films with antioxidant and long-term antibacterial activities. *Food Hydrocolloids*, *83*, 308-316. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.007>.
- Gonzales-Barron, U., Coelho-Fernandes, S., Santos-Rodrigues, G., Choupina, A., Piedra, R. B., Osoro, K., ... & Cadavez, V. A. (2021). Microbial deterioration of lamb meat from European local breeds as affected by its intrinsic properties. *Small Ruminant Research*, *195*, 106298. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106298>.
- González-Delgado, M., Minjares-Fuentes, R., Mota-Ituarte, M., Pedroza-Sandoval, A., Comas-Serra, F., Quezada-Rivera, J. J., ... & Femenia, A. (2023). Joint water and salinity stresses increase the bioactive compounds of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) gel enhancing its related functional properties. *Agricultural Water Management*, *285*, 108374. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108374>.

- Ibeogu, I. H., Bako, H. K., Alnadari, F., Bassey, A. P., Jibril, A. N., Zhou, T., ... & Li, C. (2024). Development and characterization of edible packaging films based on pork gelatin integrated with serum plasma for pork packaging and preservation. *Food Bioscience*, *58*, 103662. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103662>.
- Imoisili, P. E., & Jen, T. C. (2023). Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch; effect of glycerol as plasticizer. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.565>.
- Inai, M., Miura, Y., Honda, S., Masuda, A., & Masuda, T. (2014). Metmyoglobin reduction by polyphenols and mechanism of the conversion of metmyoglobin to oxymyoglobin by quercetin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(4), 893-901. <https://doi.org/10.1021/jf405167m>.
- Jebel, F. S., Roufegarinejad, L., Alizadeh, A., & Amjadi, S. (2025). Development and characterization of a double-layer smart packaging system consisting of polyvinyl alcohol electrospun nanofibers and gelatin film for fish fillet. *Food Chemistry*, *462*, 140985. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140985>.
- Kaya, M., Khadem, S. Y., Cakmak, M. M. S., Ilk, S., Akyuz, L., Salaberria, M., Labidi, J., Hamasaeed, A., & Deligoz, E. (2018). Antioxidative and antimicrobial edible chitosan films blended with stem, leaf and seed extracts of *Pistacia terebinthus* for active food packaging. *RSC Advances*, *8*, 3941–3950. <https://doi.org/10.1039/C7RA12492D>.
- Khan, S., Wang, H., Shu, Y., Zhang, Z., & Liang, T. (2023). Characterization of a novel bioactive film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. Gum (ASKG) complexed with β -cyclodextrin/curcumin (β -CD/CUR) inclusion complex and its application in meat preservation. *Food Hydrocolloids*, *136*, 108296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108296>.

- Kowalczyk, D., Kordowska-Wiater, M., Nowak, J., & Baraniak, B. (2015). Characterization of films based on chitosan lactate and its blends with oxidized starch and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 77, 350-359. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.04.039>.
- Li, J. H., Miao, J., Wu, J. L., Chen, S. F., & Zhang, Q. Q. (2014). Preparation and characterization of active gelatin-based films incorporated with natural antioxidants. *Food Hydrocolloids*, 37, 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.009>.
- Lima, D. A. S., Grisi, C. V. B., Florentino, G. I. B., Santos, M. M. F., Madruga, M. S., & Da Silva, F. A. P. (2024). Preparation and characterization of sustainable active packaging based on myofibrillar proteins and protein hydrolysates from the cutting by-product of *Scomberomorus brasiliensis* filleting on the band saw machine. *Food Chemistry*, 460, 140490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140490>.
- Lin, L., Mei, C., Shi, C., Li, C., Abdel-Samie, M. A., & Cui, H. (2023). Preparation and characterization of gelatin active packaging film loaded with eugenol nanoparticles and its application in chicken preservation. *Food Bioscience*, 53, 102778. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102778>.
- Liu, F., Chiou, B. S., Avena-Bustillos, R. J., Zhang, Y., Li, Y., McHugh, T. H., & Zhong, F. (2017). Study of combined effects of glycerol and transglutaminase on properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 65, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.008>.
- Lou, L., Chen, H., & Zhang, L. (2024). Biodegradable gelatin/pectin films containing cellulose nanofibers and biguanide polymers: Characterization and application in sweet cherry packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 274, 133530. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.10.088>.

- Maan, A. A., Ahmed, Z. F. R., Khan, M. K. I., Riaz, A., & Nazir, A. (2021). Aloe vera gel, an excellent base material for edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, *116*, 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.006>.
- Mandal, S., & Mandal, M. (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *5*(6), 421-428. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(15\)30098-9](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30098-9).
- Manzoor, A., & Ahmad, S. (2024). Flaxseed gum based biocomposite film modified with betel leaf extract: A novel packaging material for oxidative stability of meat patties. *Meat Science*, *209*, 109401. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109401>.
- Matteis, V., Cascione, M., Costa, D., Martano, S., Manno, D., Cannavale, A., ... & Rinaldi, R. (2023). Aloe vera silver nanoparticles addition in chitosan films: Improvement of physicochemical properties for eco-friendly food packaging material. *Journal of Materials Research and Technology*, *24*, 1015-1033. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.100>.
- Mechchate, H., Es-Safi, I., Amagnouje, A., Boukhira, S., Alotaibi, A., Al-Zharani, M., ... & Bousta, D. (2021). Antioxidant, anti-inflammatory and antidiabetic properties of LC-MS/MS identified polyphenols from coriander seeds. *Molecules*, *26*(2), 487. <https://doi.org/10.3390/molecules26020487>.
- Medina-Jaramillo, C., Ochoa-Yepes, O., Bernal, C., & Famá, L. (2017). Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydrate Polymers*, *176*, 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.058>.
- Nguyen, Q. D., Tran, T. T. V., Nguyen, N. N., Nguyen, T. P., & Lien, T. N. (2023). Preparation of gelatin/carboxymethyl cellulose/guar gum edible films enriched with methanolic extracts from shallot wastes and its application in the microbiological control of raw beef. *Food Packaging and Shelf Life*, *37*, 101091. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101091>.

- Rangaraj, V. M., Rambabu, K., Banat, F., & Mittal, V. (2021). Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience*, *43*, 101251. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>.
- Rosmini, M. R., Perlo, F., Pérez-Álvarez, J. A., Pagán-Moreno, M. J., Gago-Gago, A., López-Santoveña, F., & Aranda-Catalá, V. (1996). TBA test by an extractive method applied to 'paté'. *Meat Science*, *42*(1), 103-110. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00076-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00076-X).
- Roy, S., Priyadarshi, R., Ezati, P., & Rhim, J. W. (2021). Curcumin and its uses in active and smart food packaging applications—A comprehensive review. *Food Chemistry*, *375*, 131885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131885>.
- Santos, E. N., Sousa, T. C. A., Santana Neto, D. C., Grisi, C. V. B., Ferreira, V. C. S., & Silva, F. A. P. (2022). Edible active film based on gelatin and *Malpighia emarginata* waste extract to inhibit lipid and protein oxidation in beef patties. *Food Science and Technology-LWT*, *154*, 112837. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.112837>.
- Shankar, S., Wang, L. F., & Rhim, J. W. (2019). Effect of melanin nanoparticles on the mechanical, water vapor barrier, and antioxidant properties of gelatin-based films for food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*, *21*, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100363>.
- Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, *24*(8), 770–775. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.03.003>.
- Sun, F., Shan, P., Liu, B., Li, Y., Wang, K., Zhuang, Y., ... & Li, H. (2024). Gelatin-based multifunctional composite films integrated with dialdehyde carboxymethyl cellulose and coffee leaf extract for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, *263*, 130302. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.12.102>.

- Waterhouse, A. (2006). Folin-Ciocalteu micro method for total phenol in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 3-5.
- Wu, J., Ge, S., Liu, H., Wang, S., Chen, S., Wang, J., ... & Zhang, Q. (2014). Properties and antimicrobial activity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin-chitosan films incorporated with oregano essential oil for fish preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 2(1), 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.02.001>.
- Zamuz, S., López-Pedrouso, M., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Domínguez, H., & Franco, D. (2018). Application of hull, bur and leaf chestnut extracts on the shelf-life of beef patties stored under MAP: Evaluation of their impact on physicochemical properties, lipid oxidation, antioxidant, and antimicrobial potential. *Food Research International*, 112, 263-273. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.048>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos com a pesquisa, verifica-se que o extrato da semente de coentro apresenta boas propriedades antioxidantes, com alto conteúdo de compostos fenólicos. A aplicação do filme e do revestimento foi efetiva na prevenção das alterações das propriedades físico-químicas e oxidação lipídica durante o armazenamento refrigerado das almôndegas ovinas. Entretanto, a aplicação do extrato via revestimento ativo foi mais efetiva na extensão da vida útil das almôndegas. Portanto, o desenvolvimento do filme e do revestimento à base de gelatina e gel da babosa incorporado com o extrato da semente de coentro pode ser uma alternativa promissora para conservação de carnes ovinas e seus derivados.