



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Mayana Morais de Sousa

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICABILIDADE DE
REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS À BASE DE MUCILAGEM DE PALMA E
ÓLEO DE ORÉGANO

Campina Grande - PB

2025

Mayana Morais de Sousa

**DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICABILIDADE DE
REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS À BASE DE MUCILAGEM DE PALMA E
ÓLEO DE ORÉGANO**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador(es): Dr^a Thaisa Abrantes Souza Gusmão

Dr^a Deyzi Santos Gouveia

Agência Financiadora: FAPESQ - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba

Campina Grande - PB

2025

S725d Sousa, Mayana Morais de.
Desenvolvimento, caracterização e aplicabilidade de revestimentos comestíveis à base de mucilagem de palma e óleo de orégano / Mayana Morais de Sousa. – Campina Grande, 2025.
67 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2025.

"Orientação: Profa. Dra. Thaisa Abrantes Souza Gusmão, Profa. Dra. Deyzi Santos Gouveia".

Referências.

1. Revestimento Comestível. 2. Conservação de Alimentos. 3. Mucilagem de Palma (*Opuntia ficus-indica*). 4. Óleo de Orégano. 5. Queijo de Cabra. 6. Sustentabilidade. I. Gusmão, Thaisa Abrantes Souza. II. Gouveia, Deyzi Santos. III. Título.

CDU 664.8(043)

Mayana Morais de Sousa

**DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICABILIDADE DE
REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS À BASE DE MUCILAGEM DE PALMA E
ÓLEO DE ORÉGANO**

Dissertação de Mestrado submetida ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Alimentos como requisito para obtenção
do título de Mestre em Engenharia de
Alimentos.

Aprovado em: 24/03/2025

Dr^a Thaisa Abrantes Souza Gusmão

Orientadora

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – PPGEALI/UFCG

Dr^a Deyzi Santos Gouveia

Coorientadora

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – PPGEALI/UFCG

Dr. Rennan Pereira de Gusmão

Examinador interno

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – PPGEALI/UFCG

Thais Jaciane Araujo Rodrigues

Examinadora Externa

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – PPGEALI/UFCG

Dr^a Renata Duarte Almeida

Examinadora Externa

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – PPGEALI/UFCG



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

Aos 24 dias do mês de Março de 2025, às 14:00 horas, em sessão pública no Auditório do LEA, da UAEALI/CTRN/UFCEG, na presença da Banca Examinadora presidida pela professora **Dr^a Thaisa Abrantes Souza Gusmão (Orientadora) - Matrícula/SIAPE nº2187212**, a professora **Dra. Deyzi Santos Gouveia (Coorientadora) - Matrícula/SIAPE nº 1805305**, o professor **Dr. Rennan Pereira de Gusmão (Avaliador - Membro Interno)**, a **Dra. Thais Jaciane Araujo Rodrigues (Avaliadora - Membro Externo)**, a **Dra. Renata Duarte Almeida (Avaliadora - Membro Externo)**, a aluna **MAYANA MORAIS DE SOUSA**, Mat.223173020013, apresentou a **Defesa de Dissertação** intitulado: "**DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICABILIDADE DE REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS À BASE DE MUCILAGEM DE PALMA E ÓLEO DE ORÉGANO**", como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela **APROVAÇÃO** do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente a aluna e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pela aluna.



Documento assinado eletronicamente por **MAYANA MORAIS DE SOUSA, Usuário Externo**, em 08/04/2025, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENATA DUARTE ALMEIDA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/04/2025, às 13:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **THAIS JACIANE ARAUJO RODRIGUES, Usuário Externo**, em 08/04/2025, às 13:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **DEYZI SANTOS GOUVEIA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/04/2025, às 14:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENNAN PEREIRA DE GUSMAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/04/2025, às



14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **THAISA ABRANTES SOUZA GUSMAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/04/2025, às 08:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **5368754** e o código CRC **4E8041A5**.

Referência: Processo nº 23096.013698/2025-73

SEI nº 5368754

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, cuja presença constante tem sido fonte de força, discernimento e sabedoria ao longo desta jornada acadêmica. Foi Ele quem guiou cada um dos meus passos, permitindo-me superar desafios e conquistar mais esta importante etapa.

Aos meus pais, Maria e Johnson, expresso minha sincera gratidão por serem meu porto seguro, oferecendo amor incondicional, apoio constante e incentivo em todos os momentos. Sou imensamente grata por poder contar sempre com vocês. À minha irmã, Mayara Morais, agradeço pelo companheirismo, pelo apoio dedicado e pela torcida que sempre me impulsiona.

À minha orientadora, Dra. Thaisa Gusmão, expresso meu eterno agradecimento por sua sabedoria, paciência, dedicação e pelos valiosos ensinamentos que transformaram cada desafio em aprendizado ao longo desta trajetória. Sou também grata pela sua constante disponibilidade, que contribuiu decisivamente para a concretização e o êxito deste trabalho.

À Dra. Deyzi Gouveia, minha co-orientadora, agradeço pela parceria essencial e pelas contribuições que enriqueceram cada etapa desta pesquisa.

Às Dras. Leila Nunes, Renata Almeida e Rebeca Dantas, técnicas de laboratório cujo conhecimento e apoio foram fundamentais, agradeço pelos conselhos, pela paciência nas horas críticas e pela dedicação que transformaram esta pesquisa em uma conquista coletiva.

À minha amiga Mayra Cavalcanti, referência em minha trajetória acadêmica, sua confiança em meus projetos e seu incentivo constante foram fundamentais para que eu ingressasse no mestrado e usufruir de valiosas oportunidades profissionais.

À FAPESQ – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba, expresso minha sincera gratidão pelo apoio financeiro que foi fundamental para a realização deste mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da UFCG – Campus Campina Grande, expresso meu profundo agradecimento pelos valiosos ensinamentos compartilhados, que contribuíram significativamente para minha formação e aprimoramento acadêmico.

À Yago Kenedy por abraçar este projeto durante a Iniciação Científica e por enfrentar os desafios dos experimentos ao meu lado, sua dedicação e colaboração foram fundamentais para o progresso deste trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), manifesto minha sincera gratidão pela oportunidade de trilhar este caminho.

“Quando for a hora certa, eu, o Senhor, farei acontecer”

Isaías 60:22- Bíblia

RESUMO

O desenvolvimento de revestimentos comestíveis à base de polímeros naturais tem sido uma alternativa sustentável para a conservação de alimentos, reduzindo a dependência de aditivos sintéticos e embalagens plásticas. Essa abordagem tem ganhado relevância à medida que a indústria alimentícia busca soluções que aliem eficiência na conservação com a minimização dos impactos ambientais. O presente estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar revestimentos comestíveis utilizando mucilagem de palma (*Opuntia ficus-indica*) e óleo de orégano, como alternativa sustentável para a conservação de alimentos. A mucilagem foi extraída dos cladódios da palma por meio de um protocolo padronizado e utilizada na formulação de emulsões, variando as concentrações de óleo de orégano e a adição de glicerina. As formulações foram submetidas a uma análise abrangente que incluiu a determinação do rendimento da extração, toxicidade (avaliada por bioensaios com *Artemia salina*), e a caracterização das propriedades físico-químicas (pH, acidez, teor de água e sólidos totais), além de avaliações de textura, viscosidade, cor e atividade antioxidante. Posteriormente, os revestimentos foram aplicados em queijos de cabra, e a qualidade sensorial dos produtos foi avaliada por um painel de provadores. Os resultados demonstraram que todas as formulações foram seguras para consumo, não apresentando toxicidade. Verificou-se que os tratamentos contendo óleo de orégano apresentaram maior estabilidade de pH e acidez durante o armazenamento, retardando processos de degradação. A atividade antioxidante foi significativamente incrementada com o aumento da concentração de óleo de orégano, atingindo 27,37 μM no tratamento com 3% de óleo, embora a adição de glicerina tenha reduzido essa atividade. A análise de cor indicou que o óleo de orégano alterou a luminosidade e a tonalidade dos revestimentos, conferindo-lhes uma aparência mais atrativa, enquanto a avaliação sensorial evidenciou que os queijos revestidos mantiveram melhor textura e sabor, sendo amplamente aceitos pelos provadores. Conclui-se que a combinação de mucilagem de palma e óleo de orégano constitui uma matriz promissora para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis, com potencial para prolongar a vida útil de alimentos, reduzir a necessidade de conservantes artificiais e minimizar o uso de embalagens plásticas, oferecendo uma solução alinhada às demandas por sustentabilidade e responsabilidade ambiental na indústria alimentícia.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Conservação de Alimentos; Revestimento.

ABSTRACT

The development of edible coatings based on natural polymers has been a sustainable alternative for food preservation, reducing the dependence on synthetic additives and plastic packaging. This approach has gained relevance as the food industry seeks solutions that combine preservation efficiency with the minimization of environmental impacts. The present study aimed to develop and characterize edible coatings using palm mucilage (*Opuntia ficus-indica*) and oregano oil as a sustainable alternative for food preservation. The mucilage was extracted from the palm cladodes using a standardized protocol and used in the formulation of emulsions, varying the concentrations of oregano oil and the addition of glycerol. The formulations underwent a comprehensive analysis that included the determination of extraction yield, toxicity (assessed by bioassays with *Artemia salina*), and the characterization of physicochemical properties (pH, acidity, water content, and total solids), as well as evaluations of texture, viscosity, color, and antioxidant activity. Subsequently, the coatings were applied to goat cheeses, and the sensory quality of the products was evaluated by a panel of tasters. The results demonstrated that all formulations were safe for consumption, showing no toxicity. It was observed that treatments containing oregano oil exhibited greater pH and acidity stability during storage, delaying degradation processes. Antioxidant activity was significantly enhanced with increasing concentrations of oregano oil, reaching 27.37 μM in the treatment with 3% oil, although the addition of glycerol reduced this activity. Color analysis indicated that oregano oil altered the brightness and hue of the coatings, giving them a more attractive appearance, while sensory evaluation showed that the coated cheeses maintained better texture and flavor, being widely accepted by the tasters. In conclusion, the combination of palm mucilage and oregano oil constitutes a promising matrix for the development of edible coatings, with the potential to extend food shelf life, reduce the need for artificial preservatives, and minimize the use of plastic packaging, offering a solution aligned with the demands for sustainability and environmental responsibility in the food industry.

Keywords: Sustainability; Food Preservation; Coating.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-Plantação de palma forrageira..... | 15 |
| Figura 2- mucilagem de palma sendo peneirada..... | 17 |
| Figura 3 - Representação de água, óleo, líquidos imiscíveis e emulsão..... | 18 |
| Figura 4 -Desenho Experimental | 25 |
| Figura 5 - Fluxograma de elaboração da emulsão da mucilagem de palma e óleo de orégano..... | 25 |
| Figura 6 - processo de obtenção da mucilagem..... | 26 |
| Figura 7 – Sistema CIELAB | 28 |
| Figura 8– Consistência média (g.sec) das formulações de mucilagem de palma ao longo dos dias de armazenamento..... | 44 |
| Figura 9 – Gênero dos provadores..... | 49 |
| Figura 10 – Distribuição das notas para os atributos de aceitação por tratamento..... | 50 |
| Figura 11 – Comparação da distribuição das notas para os atributos de aceitação entre os tratamentos..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Resultados de bioensaios de toxicidade com artemias salinas..... | 33 |
| Tabela 2 – Valores médios de luminosidade (L), cromaticidade vermelho/verde (a) e cromaticidade amarelo/azul (b) para os diferentes tratamentos..... | 34 |
| Tabela 3 – Valores de pH dos tratamentos de revestimento comestível com mucilagem de palma ao longo do armazenamento | 36 |
| Tabela 4 – Valores de acidez dos tratamentos de revestimento comestível com mucilagem de palma ao longo do armazenamento..... | 37 |
| Tabela 5 – Teor de Água dos tratamentos ao longo dos dias de armazenamento..... | 38 |
| Tabela 6 – Sólidos totais dos tratamentos ao longo dos dias de armazenamento..... | 40 |
| Tabela 7 – Firmeza, consistência, coesão e trabalho de coesão dos tratamentos ao longo dos dias de armazenamento | 42 |
| Tabela 8 - Parâmetros físico-químicos ao longo dos dias de armazenamento..... | 45 |
| Tabela 9 – Concentração média de antioxidantes (μM) e análise estatística (IC 95%)..... | 47 |
| Tabela 10 - Médias e desvios padrão dos atributos sensoriais..... | 49 |
| Tabela 11 – Proporções de seleção dos atributos sensoriais no teste CATA..... | 51 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. OBJETIVOS..... | 13 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 13 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 13 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 14 |
| 3.1 OPUNTIA FICUS-INDICA (PALMA FORRAGEIRA)..... | 14 |
| 3.1.1 MUCILAGEM DE PALMA..... | 16 |
| 3.1.2 MUCILAGEM DE PALMA..... | 16 |
| 3.2 EMULSÕES..... | 18 |
| 3.2.1 EMULSÃO DE MUCILAGEM DE PALMA E ÓLEO VEGETAL DE ORÉGANO..... | 19 |
| 3.2.2 ÓLEO VEGETAL DE ORÉGANO..... | 20 |
| 3.3 REVESTIMENTO COMESTÍVEL..... | 20 |
| 3.4 QUEIJO..... | 21 |
| 3.4.1 QUEIJO DE CABRA..... | 22 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 24 |
| 4.1 DESENHO EXPERIMENTAL..... | 24 |
| 4.3 ELABORAÇÃO DAS EMULSÕES..... | 27 |
| 4.4 CARACTERIZAÇÃO DA EMULSÃO..... | 27 |
| 4.4.1 RENDIMENTO..... | 27 |
| 4.4.2 TOXICIDADE..... | 28 |
| 4.4.3 COR..... | 28 |
| 4.4.4 pH..... | 29 |
| 4.4.5 ACIDEZ..... | 29 |
| 4.4.6 TEOR DE ÁGUA..... | 29 |
| 4.4.7 ESTABILIDADE DA EMULSÃO..... | 29 |
| 4.4.8 TEXTURA..... | 30 |
| 4.4.9 ANTIOXIDANTES..... | 30 |
| 4.5 AVALIAÇÕES DOS QUEIJOS COM REVESTIMENTO..... | 30 |
| 4.5.1 AVALIAÇÕES SENSORIAIS..... | 30 |
| ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 31 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 32 |
| 5.1 RENDIMENTO..... | 32 |
| 5.2. TOXICIDADE..... | 33 |
| 5.3. COR..... | 34 |
| 5.4. pH E ACIDEZ..... | 35 |
| 5.5. TEOR DE ÁGUA E SÓLIDOS TOTAIS..... | 37 |
| 5.6. TEXTURA..... | 41 |
| 5.7. ESTABILIDADE..... | 46 |
| 5.8. COMPOSTOS ANTIOXIDANTES..... | 48 |
| 5.9AVALIAÇÕES SENSORIAIS..... | 49 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 55 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 56 |

1. INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia é um campo em constante evolução, impulsionado por uma crescente demanda por produtos que atendam não apenas às necessidades nutricionais dos consumidores, mas também às suas expectativas quanto à qualidade, segurança e sustentabilidade. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras desempenha um papel crucial para enfrentar os desafios complexos que essa indústria enfrenta e para atender às crescentes demandas dos consumidores (SANTOS; ALMEIDA, 2020).

Uma das áreas de pesquisa em notável expansão dentro do cenário da indústria alimentícia diz respeito ao desenvolvimento de revestimentos comestíveis, essas películas ultrafinas são aplicadas diretamente sobre a superfície dos alimentos com o intuito de aprimorar sua qualidade, segurança e vida útil. Além disso, os revestimentos comestíveis têm a capacidade de conferir melhorias sensoriais, tais como aprimoramento da textura e do sabor, tornando-os mais atrativos aos consumidores (EMBRAPA, 2023). Esses revestimentos, além de prolongarem a vida útil dos alimentos, contribuem para a redução do uso de embalagens plásticas, alinhando-se às tendências atuais de sustentabilidade ambiental.

No Brasil, uma das plantas de grande relevância para o desenvolvimento desses materiais é a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica.*), amplamente cultivada em regiões áridas e semi-áridas devido à sua resistência à seca e elevada capacidade de produção de biomassa (AMORIM., 2016). A palma forrageira destaca-se não apenas por seu uso na alimentação animal, mas também por seu potencial na indústria alimentícia humana, pois a sua mucilagem, rica em fibras e compostos bioativos, apresenta propriedades emulsificantes e estabilizantes, tornando-se um ingrediente promissor para a formulação de revestimentos comestíveis. A combinação da mucilagem de palma com outros componentes naturais, como o óleo de orégano, pode resultar em emulsões com propriedades que aumentam a segurança alimentar e melhoram a qualidade sensorial dos produtos (Da Silva Junior, 2020).

O desenvolvimento de revestimentos comestíveis a partir de emulsões naturais, como as derivadas da palma forrageira, envolve uma série de etapas, desde a caracterização dos componentes até a avaliação da eficácia do revestimento em condições reais de armazenamento. A caracterização química e física da mucilagem de palma é fundamental para compreender suas propriedades e otimizar sua formulação (Souto Filho *et al.*, 2020).

Além dos avanços em revestimentos comestíveis, a produção de queijo de cabra tem ganhado destaque na indústria alimentícia devido às suas características nutricionais

diferenciadas, Segundo Araújo (2024) O leite de cabra é conhecido por possuir uma composição rica em proteínas de alta qualidade, ácidos graxos de cadeia curta e média, além de ser uma excelente fonte de cálcio e outros minerais essenciais. Esses aspectos fazem do queijo de cabra um produto atraente para consumidores que buscam alternativas aos queijos tradicionais de leite de vaca, especialmente aqueles com intolerância à lactose ou que desejam uma alimentação mais leve e saudável (SOARES *et al.*, 2023).

No entanto, o queijo de cabra também apresenta desafios específicos, como uma vida útil mais curta e uma maior suscetibilidade à perda de umidade e desenvolvimento microbiano durante o armazenamento, esses fatores tornam o uso de tecnologias de conservação, como os revestimentos comestíveis, especialmente relevantes (ENDRES, 2022). Evangelista (2024) demonstrou que a aplicação de revestimentos à base de mucilagem de palma em queijos de cabra pode não apenas melhorar sua estabilidade e segurança microbiológica, mas também manter suas propriedades sensoriais, como sabor e textura, ao longo do tempo. Esse enfoque tem o potencial de agregar valor à cadeia produtiva do queijo de cabra, promovendo sua competitividade no mercado e alinhando-se às exigências dos consumidores por produtos mais naturais e sustentáveis.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um revestimento comestível inovador, utilizando a mucilagem de palma como matriz principal, com o intuito de explorar seu potencial tecnológico e funcional. Para isso, foram realizadas análises aprofundadas de sua composição química e propriedades físicas, além da aplicação prática em queijos de cabra. A pesquisa busca contribuir para a valorização de biopolímeros naturais, promovendo alternativas sustentáveis para a conservação de alimentos e ampliando as possibilidades de uso da mucilagem de palma na indústria alimentícia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver, caracterizar e aplicar revestimentos comestíveis à base de mucilagem de palma e óleo de orégano.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair a mucilagem dos cladódios;
- Formular emulsões com diferentes concentrações de óleo de orégano, para preparação dos revestimentos comestíveis;
- Avaliar a toxicidade da mucilagem, das emulsões e dos revestimentos;
- Caracterizar os revestimentos quanto à cor;
- Caracterizar a mucilagem, as emulsões e os revestimentos quanto à sua composição físico-química;
- Caracterizar a mucilagem, as emulsões e os revestimentos quanto às suas propriedades físicas;
- Aplicar os revestimentos em queijo de cabra;
- Avaliar a qualidade sensorial dos queijos com os revestimentos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *OPUNTIA FICUS-INDICA* (PALMA FORRAGEIRA)

A palma forrageira tem recebido crescente atenção científica devido às suas propriedades nutricionais e à sua adaptabilidade a condições semiáridas, seus cladódios são ricos em compostos bioativos, como polifenóis e betalainas, que apresentam relevante potencial antioxidante para a saúde humana (Santos *et al.*, 2021; Sáenz *et al.*, 2019) além disso, avanços no melhoramento genético têm possibilitado o desenvolvimento de variedades mais resistentes à seca e a pragas. Silva *et al.* (2022) identificaram genes-chave associados à tolerância hídrica na espécie, evidenciando seu potencial para cultivos em regiões áridas. Instituições como a Embrapa Semiárido (2023) ressaltam a importância da adoção de técnicas de irrigação e manejo adaptativo para maximizar a produtividade. Adicionalmente, práticas sustentáveis, como a rotação de culturas e a conservação do solo, são essenciais para garantir a viabilidade da cultura em longo prazo, conforme destacado por Oliveira *et al.* (2023) em estudos realizados no Nordeste brasileiro. Essas iniciativas alinham-se a estratégias globais que reconhecem a palma como um recurso estratégico para a segurança alimentar e a mitigação dos efeitos climáticos (Dubeux Jr. *et al.*, 2022).

A espécie *Opuntia ficus-indica*, popularmente conhecida como palma forrageira, destaca-se por sua notável adaptação a ambientes áridos e semiáridos, originária do México, essa espécie apresenta mecanismos fisiológicos como o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), um processo fotossintético que permite às plantas otimizar o uso da água e sobreviver em condições de baixa disponibilidade hídrica. De acordo com Giraldo-Silva *et al.* (2023), tais características tornam a palma forrageira uma alternativa viável para sistemas de produção sustentáveis, contribuindo tanto para a segurança alimentar quanto para a estabilidade econômica dos pequenos produtores. Além disso, a planta auxilia na redução da erosão e na melhoria da estrutura do solo devido ao seu extenso sistema radicular e à sua capacidade de cobertura do solo, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Plantação de palma forrageira



Fonte: SENAR, 2024.

Do ponto de vista morfofisiológico, *Opuntia ficus-indica* apresenta cladódios suculentos que não apenas armazenam água, mas também concentram diversos compostos bioativos, como polifenóis, carotenóides e betalaínas. Esses metabólitos secundários demonstram atividades antioxidante e anti-inflamatória, conferindo valor agregado à planta e possibilitando sua aplicação nas indústrias alimentícia e farmacêutica (Oniszcuk *et al.*, 2020). A composição química dos cladódios e frutos tem sido amplamente estudada, evidenciando um perfil nutricional competitivo em comparação com outras fontes forrageiras.

A palma forrageira é amplamente utilizada na alimentação de ruminantes, principalmente durante períodos de estiagem, quando a pastagem nativa se torna escassa. Estudos recentes demonstram que a inclusão de *Opuntia ficus-indica* na dieta de ovinos e caprinos não compromete o consumo de matéria seca e pode melhorar o desempenho animal sem aumentar os custos com ração (Cordova-Torres *et al.*, 2022). Essa utilização não apenas favorece a sustentabilidade dos sistemas de produção no semiárido, mas também contribui para a preservação dos recursos hídricos, sistemas de confinamento de cordeiros demonstraram que dietas contendo palma forrageira podem reduzir os custos de produção sem comprometer o desempenho animal e a qualidade da carne, além de melhorar indicadores econômicos (Alves *et al.*, 2023) esses resultados reforçam a viabilidade econômica e ambiental do cultivo da palma em regiões com restrição hídrica.

Além do uso na alimentação animal, os extratos e derivados de *Opuntia ficus-indica* vêm despertando interesse na indústria farmacêutica e de alimentos funcionais. A extração de compostos como betalaínas, carotenóides e tocoferóis, reconhecidos por suas propriedades

antioxidantes, anti-infecciosas e imunomoduladoras, possibilita o desenvolvimento de produtos inovadores, incluindo suplementos nutricionais e sistemas de liberação controlada de fármacos (Rahman *et al.*, 2021).

Do ponto de vista ambiental, o cultivo de *Opuntia ficus-indica* apresenta vantagens relevantes para o manejo sustentável do solo em regiões semiáridas. Seu sistema radicular superficial, aliado à sua capacidade de retenção hídrica, contribui para a melhoria da estrutura do solo e para a prevenção da desertificação. Assim, o cultivo da palma pode ser integrado a sistemas agroflorestais e de produção de bioenergia, reduzindo os impactos negativos da expansão agrícola predatória (Cordova-Torres *et al.*, 2022).

A incorporação de *Opuntia ficus-indica* em sistemas de produção animal e na extração de biocompostos representa uma estratégia promissora para enfrentar desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela escassez de recursos hídricos, além de ser uma fonte sustentável de forragem, a palma forrageira possui aplicações diversificadas, desde a produção de biomateriais e fármacos até o desenvolvimento de alimentos funcionais (Almeida *et al.*, 2020; Macedo *et al.*, 2022).

3.1.2 MUCILAGEM DE PALMA

A mucilagem extraída dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* é um polissacarídeo natural com propriedades viscoelásticas e alta capacidade de formar géis, mostrado na figura 2, características que a tornam um recurso promissor para diversas aplicações industriais, alimentícias e farmacêuticas. A otimização dos métodos de extração, que combinam técnicas mecânicas e químicas, permite a obtenção de extratos com alta pureza e rendimento, ampliando seu potencial de uso como ingrediente funcional (ALMEIDA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021). A composição química da mucilagem é complexa, sendo formada por heteropolissacarídeos (polímeros constituídos por diferentes monômeros, como arabinose, galactose, ramnose e xilose) que conferem ao extrato propriedades únicas de viscosidade e estabilidade. Estudos que utilizaram análises cromatográficas e espectroscópicas demonstraram que essa diversidade estrutural é fundamental para as características reológicas observadas no extrato (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2022; LÓPEZ-PALACIOS & PEÑA-VALDIVIA, 2020).

Figura 2: Mucilagem de palma sendo peneirada



Fonte: A autora, 2024.

Na indústria alimentícia, a mucilagem de *Opuntia ficus-indica* tem sido utilizada como agente espessante e estabilizante em produtos como sorvetes, molhos e filmes comestíveis, a incorporação deste extrato melhora a textura, a coesão interna e a estabilidade térmica dos alimentos, proporcionando uma alternativa natural aos aditivos sintéticos e contribuindo para a sustentabilidade dos processos produtivos (ALMEIDA *et al.*, 2020; GOUVEIA *et al.*, 2021). As aplicações da mucilagem também se estendem à indústria cosmética e farmacêutica, suas propriedades hidratantes, emolientes e sua capacidade de formar géis a tornam um componente atrativo para formulações de cremes, loções e sistemas de liberação controlada de fármacos, ademais, os compostos bioativos presentes no extrato, com ação antioxidante e anti-inflamatória, fortalecem sua utilização em produtos que visam promover a saúde da pele e prevenir doenças (SÁENZ *et al.*, 2020; FERNÁNDEZ *et al.*, 2021).

Os benefícios da mucilagem para a saúde intestinal têm sido evidenciados em estudos que demonstram seu efeito prebiótico, pois ao formar um gel no trato gastrointestinal, a mucilagem retarda o esvaziamento gástrico e modula a absorção de nutrientes, promovendo a fermentação benéfica pela microbiota nativa e aumentando a produção de ácidos graxos de cadeia curta, essenciais para a integridade da mucosa intestinal (OLIVEIRA *et al.*, 2021; LÓPEZ-PALACIOS & PEÑA-VALDIVIA, 2020). Em relação ao controle da glicemia, a mucilagem atua retardando a absorção dos carboidratos, o que resulta em uma liberação gradual de glicose na corrente sanguínea e, por conseguinte, em uma resposta insulínica mais equilibrada, esse mecanismo, associado à ação de seus polissacarídeos e outros metabólitos bioativos, contribui para a prevenção dos picos glicêmicos pós-prandiais, sendo uma estratégia promissora para o manejo do diabetes tipo 2 (OLIVEIRA *et al.*, 2021; FERNÁNDEZ *et al.*, 2021).

3.2 EMULSÕES

Emulsões são sistemas heterogêneos compostos por duas fases imiscíveis, onde uma fase é dispersa em pequenas gotículas na outra, formando um sistema estável com a ajuda de agentes emulsificantes. Esses sistemas são amplamente utilizados na indústria alimentícia para melhorar a textura, estabilidade e biodisponibilidade de compostos bioativos (ZHANG *et al.*, 2020), como está exposto na Figura 3.

Figura 3: Representação de água, óleo, líquidos imiscíveis e emulsão.



Fonte: a autora, 2025.

A estabilidade das emulsões é influenciada por diversos fatores, incluindo a natureza dos emulsificantes utilizados, por exemplo, Polissacarídeos dietéticos, têm mostrado propriedades emulsificantes promissoras devido à sua capacidade de formar interfaces estáveis, afetando positivamente a estabilidade e as propriedades funcionais das emulsões (WANG *et al.*, 2021). Na indústria alimentícia, as emulsões desempenham um papel crucial na criação de produtos com características sensoriais e nutricionais aprimoradas, a aplicação de tecnologias avançadas de emulsificação tem permitido o desenvolvimento de emulsões com propriedades específicas, como maior estabilidade e capacidade de encapsulamento de compostos bioativos, beneficiando a qualidade e funcionalidade dos alimentos (MCCLEMENTS; GUTIERREZ, 2020).

Diversas técnicas são empregadas na preparação de emulsões, incluindo métodos físicos e químicos, a escolha do método adequado depende das propriedades desejadas para a emulsão final, como tamanho de partícula, estabilidade e capacidade de liberação controlada de ativos. A compreensão dos mecanismos de formação e estabilização é essencial para o

desenvolvimento de emulsões eficazes (ZHANG *et al.*, 2020). A estabilidade das emulsões é afetada por fatores como pH, força iônica, temperatura e presença de outros componentes no sistema, a interação entre proteínas e polissacarídeos, por exemplo, pode ser utilizada para melhorar a estabilidade das emulsões, formando complexos que previnem a coalescência das gotículas e prolongam a vida útil do produto (WANG *et al.*, 2021).

3.2.1 EMULSÃO DE MUCILAGEM DE PALMA E ÓLEO VEGETAL DE ORÉGANO

A mucilagem extraída de *Opuntia ficus-indica* apresenta excelentes propriedades emulsificantes e estabilizantes, sendo uma alternativa promissora para a encapsulação de óleos essenciais (MANNAI *et al.*, 2024). Estudos demonstram que essa mucilagem forma emulsões altamente estáveis devido à sua composição rica em polissacarídeos, que interagem com a fase lipídica, reduzindo a tensão interfacial e prevenindo a coalescência das gotículas (TOSIF *et al.*, 2021). Além disso, a mucilagem possui vantagens na formulação de nanoemulsões, promovendo maior retenção dos compostos bioativos e melhorando a biodisponibilidade dos ativos encapsulados (MANNAI *et al.*, 2024).

A nanoemulsão formada pela combinação do óleo essencial de orégano com a mucilagem de palma apresenta grande potencial em diversas áreas, especialmente na conservação de alimentos minimamente processados, o óleo de orégano contém compostos fenólicos, como carvacrol e timol, que possuem potente ação antimicrobiana e antioxidante, porém são instáveis frente a fatores ambientais, como temperatura e luz (RUIZ-GONZALEZ *et al.*, 2019). A emulsificação com mucilagem de *Opuntia ficus-indica* protege esses compostos, retardando sua degradação e permitindo uma liberação controlada no tempo, o que é essencial para aplicações em alimentos e fármacos (PONTES-QUERO *et al.*, 2021). Além disso, pesquisas indicam que a aplicação de nanoemulsões contendo α -tocoferol e mucilagem de *Opuntia ficus-indica* resulta em uma redução da taxa respiratória de vegetais durante o armazenamento, contribuindo para a extensão da vida útil dos produtos (MANNAI *et al.*, 2024). A utilização da mucilagem de *Opuntia ficus-indica* como agente encapsulante para o óleo essencial de orégano representa uma abordagem inovadora e sustentável, garantindo maior estabilidade e funcionalidade dos compostos bioativos (BARRADAS; DE HOLANDA E SILVA, 2021). Além disso, a versatilidade dessas nanoemulsões permite seu uso não apenas na indústria alimentícia, mas também em cosméticos e fármacos, ampliando as possibilidades de aplicação desse sistema (PONTES-QUERO *et al.*, 2021).

3.2.2 ÓLEO VEGETAL DE ORÉGANO

O óleo de orégano, derivado da planta *Origanum vulgare*, tem sido amplamente estudado por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, o que o torna relevante tanto para a indústria alimentícia quanto farmacêutica. Segundo Pezzani, Vitalini e Iriti (2017), o carvacrol e o timol, os principais compostos bioativos presentes no óleo de orégano, desempenham um papel crucial nessas propriedades, essas propriedades fazem do óleo um conservante natural eficaz para alimentos, onde pode ser utilizado para aumentar a vida útil e a segurança microbiológica de produtos perecíveis (MIGUEL, 2022).

Além de suas propriedades medicinais, o orégano é amplamente utilizado na culinária como condimento, conferindo sabor e aroma a uma variedade de pratos (Marinello *et al.*, 2019). Seu uso na culinária não apenas adiciona um toque de sabor, mas também pode fornecer alguns dos compostos bioativos presentes na planta, contribuindo para uma dieta saudável. Além do uso culinário, o orégano pode ser utilizado de outras formas, o chá de orégano, por exemplo, tem sido utilizado tradicionalmente como remédio caseiro para aliviar sintomas de resfriado, tosse e problemas digestivos leves (Dandenau *et al.*, 2019). O óleo de orégano também é utilizado em diversas aplicações, e em produtos de cuidados pessoais (Muñoz *et al.*, 2021).

Existem também suplementos de orégano disponíveis no mercado, que visam fornecer os benefícios dos compostos bioativos do orégano de forma mais concentrada (Bradley *et al.*, 2020). Esses suplementos são frequentemente comercializados como auxiliares para o sistema imunológico, saúde digestiva e saúde geral.

3.3 REVESTIMENTO COMESTÍVEL

Os revestimentos comestíveis são filmes finos aplicados na superfície dos alimentos para protegê-los da deterioração, melhorar a qualidade e prolongar a vida útil, segundo PETRY, *et al.* (2023) a função primária dos revestimentos comestíveis é atuar como uma barreira física entre o alimento e o ambiente, esses revestimentos são aplicados diretamente sobre a superfície dos alimentos, atuando como barreiras físicas que reduzem a exposição ao ambiente externo, retardando processos deteriorativos como oxidação, perda de umidade, e proliferação de microrganismos patogênicos, a aplicação de revestimentos comestíveis tem crescido devido à demanda por métodos de conservação mais naturais e ecológicos.

A possibilidade de enriquecer esses revestimentos com compostos bioativos é uma das características que torna essa tecnologia atraente e a utilização de ingredientes naturais para a

formulação desses revestimentos se alinha à tendência crescente de consumidores que buscam produtos mais saudáveis e com menos aditivos artificiais (Bains *et al.*, 2021; Bartosz *et al.*, 2024). A inclusão de componentes como a mucilagem de palma e o óleo de orégano não apenas melhora a conservação, mas também enriquece as propriedades sensoriais dos alimentos (González Sandoval *et al.*, 2021).

Os materiais utilizados na produção de revestimentos comestíveis são diversos e incluem polímeros naturais que oferecem uma variedade de propriedades funcionais, estudos indicam que a mucilagem de palma, por exemplo, possui características viscoelásticas que a tornam ideal para a criação de filmes que se adaptam à superfície do alimento, garantindo melhor adesão e proteção (González Sandoval *et al.*, 2021), sendo essa versatilidade dos ingredientes disponíveis para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis crucial para a inovação nesse campo, permitindo a criação de produtos que atendam a diferentes necessidades de conservação.

Outro aspecto importante é a interação entre os componentes dos revestimentos e os próprios alimentos, a formação de emulsões pode ser influenciada pela natureza dos ingredientes utilizados, resultando em propriedades variáveis que impactam a estabilidade e a eficácia dos revestimentos (Bains *et al.*, 2021). Realçando que a otimização das condições de processamento, como temperatura e concentração dos ingredientes, é fundamental para garantir a qualidade dos revestimentos formados (Kowalczyk *et al.*, 2022). Além da conservação de alimentos, os revestimentos comestíveis têm potencial em várias outras aplicações, incluindo na indústria farmacêutica e cosmética. Assim, a pesquisa sobre revestimentos comestíveis está se expandindo para além da alimentação, explorando sua aplicabilidade em diferentes setores, uma vez que, suas substâncias benéficas são especialmente interessante para formulações tópicas e produtos de saúde (Cakmak *et al.*, 2021; Bartosz *et al.*, 2024).

3.4 QUEIJO

O queijo é um produto lácteo obtido por meio da coagulação do leite, seguido pela separação do soro e posterior maturação, resultando em uma ampla diversidade de texturas e sabores, segundo Sheehan *et al.* (2022), a produção de queijo envolve processos bioquímicos complexos que modificam os componentes do leite, como proteínas, lipídios e carboidratos, formando uma matriz sólida, a diversidade de queijos disponível globalmente é influenciada por diferentes técnicas de fabricação, fontes de leite e condições de maturação. Os fatores

como a origem do leite (vaca, cabra, ovelha) e o uso de culturas bacterianas específicas afetam diretamente as características organolépticas e nutricionais do queijo (McSweeney *et al.*, 2021). O tempo e as condições de maturação, como temperatura e umidade, são determinantes cruciais no desenvolvimento de sabores únicos e na qualidade final do produto (Poveda *et al.*, 2023).

A composição nutricional do queijo varia significativamente entre os diferentes tipos, mas, em geral, é uma fonte rica em proteínas de alta qualidade, cálcio, fósforo e vitaminas A e B12. De acordo com HUANG *et al.* (2020), o consumo de queijo está associado à saúde óssea e pode contribuir para a função muscular e a manutenção do sistema imunológico, além de suas propriedades nutricionais, o queijo também contém compostos bioativos, como peptídeos formados durante a proteólise, que apresentam efeitos benéficos à saúde. Gobbetti *et al.* (2021) relatam que esses peptídeos podem apresentar propriedades anti-hipertensivas, anti-microbianas e imunomoduladoras, reforçando os benefícios do consumo de queijo na dieta.

Segundo BALDINI *et al.* (2023) a diversidade de queijos e suas técnicas de produção resultam em variações significativas em suas características nutricionais, a inclusão de queijos fermentados na dieta tem sido associada a melhorias nos marcadores de saúde, como a redução do colesterol e o suporte à microbiota intestinal. Portanto, o queijo não é apenas um alimento saboroso, mas também uma contribuição significativa para a nutrição e a saúde geral (SOARES, Pedro Ivo *et al.* 2023).

3.4.1 QUEIJO DE CABRA

O queijo de cabra é apreciado por seu sabor característico, que varia de suave e cremoso a forte e picante, dependendo do processo de maturação. Segundo Park *et al.* (2007), o leite de cabra possui uma composição única, com uma maior proporção de ácidos graxos de cadeia curta e média, que contribuem para o sabor distintivo dos queijos de cabra. A produção de queijo de cabra segue princípios similares aos de outros tipos de queijo, mas adaptações no processo podem ser necessárias para otimizar o rendimento e a qualidade. De acordo com Haenlein (2004), a coagulação do leite de cabra pode ser influenciada pela composição específica de proteínas e gorduras, exigindo ajustes nos parâmetros de fabricação.

O queijo de cabra é uma excelente fonte de nutrientes, incluindo proteínas de alta qualidade, cálcio, fósforo e vitaminas, além de ser mais facilmente digerível para algumas pessoas devido à menor quantidade de caseína alfa-S1. Segundo Guo *et al.* (2004), esta característica torna o queijo de cabra uma alternativa adequada para indivíduos com

intolerância ao leite de vaca, estudos indicam que o queijo de cabra também contém compostos bioativos com potenciais benefícios à saúde. Segundo Alferez *et al.* (2001), o consumo de leite e queijo de cabra pode melhorar a absorção de minerais e ter efeitos benéficos sobre a saúde óssea e digestiva.

Além de suas propriedades nutricionais e de saúde, o queijo de cabra tem um papel cultural significativo em muitas regiões e tem ganhado destaque por suas propriedades terapêuticas e valor agregado, sendo cada vez mais reconhecido como uma opção nutricional superior em comparação ao leite de vaca. De acordo com Thakur *et al.* (2024), o leite de cabra é facilmente digerido e possui uma composição única que o torna uma escolha adequada para indivíduos com intolerância à lactose e alergias a proteínas do leite de vaca. Além disso, seus componentes bioativos, como peptídeos, ácidos graxos e oligossacarídeos, contribuem para benefícios significativos à saúde, incluindo propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e imunomoduladoras (CRUZ, E. F. *et al.*, 2022)

Segundo CARVALHO, Ester Pereira de., 2017 a inclusão de leite de cabra em dietas tem mostrado resultados promissores em várias condições de saúde, incluindo alergias alimentares e doenças inflamatórias intestinais. O consumo de leite de cabra pode melhorar a recuperação de funções moleculares do cérebro durante a anemia ferropriva e promover um perfil lipídico saudável devido à presença de peptídeos bioativos que inibem a atividade da enzima conversora de angiotensina (VERRUCK, Silvani *et al.* 2019). Assim, a utilização de leite de cabra em produtos alimentícios e nutracêuticos não apenas adiciona valor à cadeia produtiva, mas também oferece alternativas terapêuticas relevantes.

Além de suas propriedades nutricionais, o queijo de cabra desempenha um papel cultural significativo em muitas regiões, sendo um produto tradicional em várias cozinhas ao redor do mundo. Conforme destacado por Sohail *et al.* (2023), a produção de queijo de cabra está frequentemente ligada a práticas agrícolas sustentáveis e à preservação de raças caprinas locais, com um mercado em expansão impulsionado pela demanda por produtos artesanais, orgânicos e de alta qualidade. A inovação na produção de queijo de cabra, incluindo a adição de ervas, especiarias e outros ingredientes, tem contribuído para a diversificação e valorização deste produto no mercado global (CAMBÓIAS, Eunice de Jesus Raleira, 2020).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, PB.

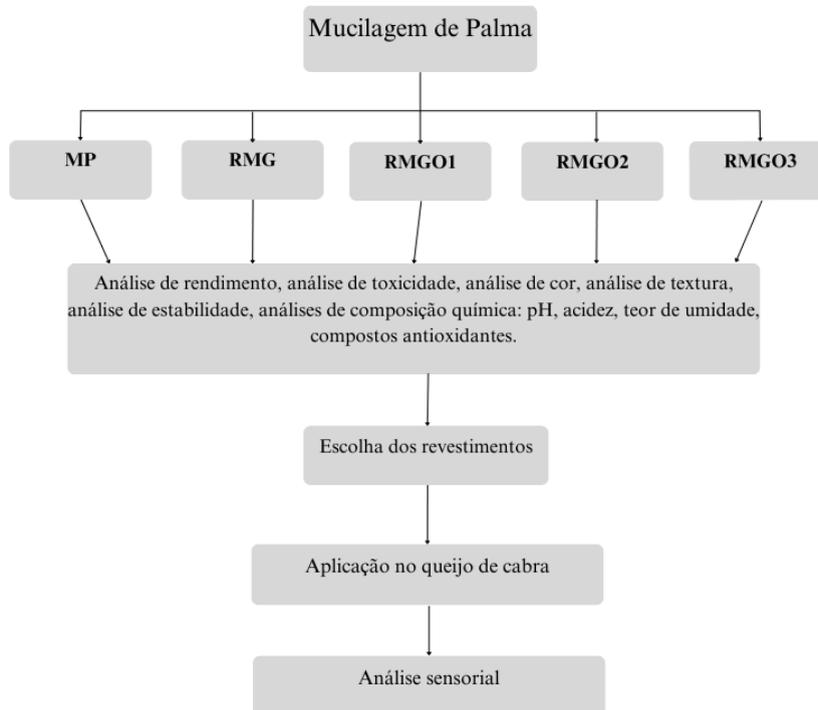
Para a realização dos experimentos foram utilizados a mucilagem de palma produzida no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) foi coletada no município de Barra de Santana, a glicerina, e o óleo de orégano do fabricante HM Essências e Óleos Vegetais, obtidos no por meio de compras online. O queijo de cabra utilizado na aplicação e conseqüentemente na análise sensorial foi o queijo Lua Nova, com maturação mínima de 30 dias, comercializado na Fazenda Coruja localizada em Barra de São Miguel/PB.

| Tratamento | Abreviatura | Composição |
|--------------|-------------|--|
| Tratamento 1 | MP | Mucilagem de palma |
| Tratamento 2 | RMG | Revestimento de mucilagem de palma + 1% de glicerina |
| Tratamento 3 | RMGO1 | Revestimento de mucilagem de palma + 1% de óleo de orégano + 1% de glicerina |
| Tratamento 4 | RMGO2 | Revestimento de mucilagem de palma + 2% de óleo de orégano + 1% de glicerina |
| Tratamento 5 | RMGO3 | Revestimento de mucilagem de palma + 3% de óleo de orégano + 1% de glicerina |

4.1 DESENHO EXPERIMENTAL

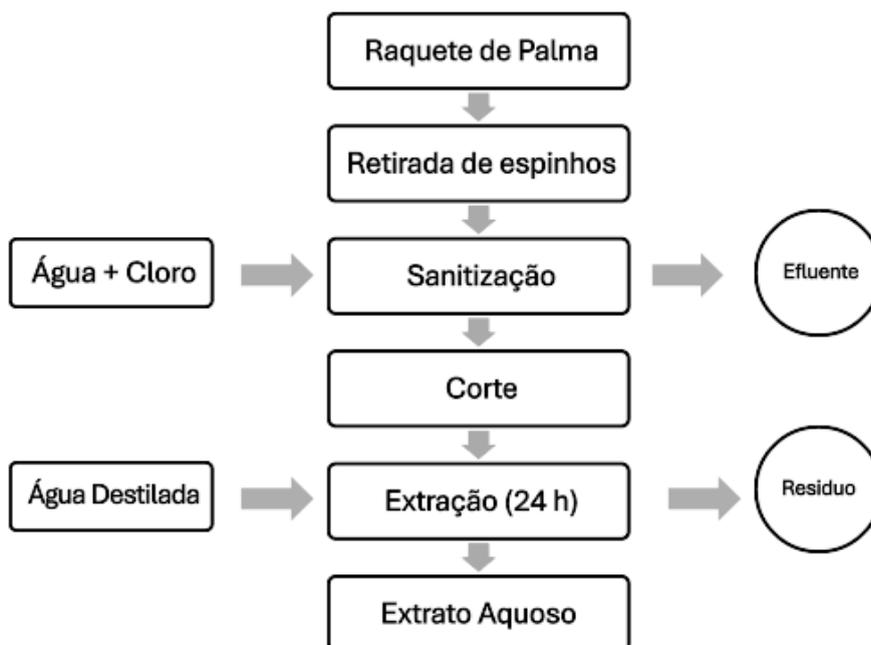
O experimento foi conduzido seguindo um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), que contemplou duas etapas inter-relacionadas, visando o desenvolvimento e a avaliação de revestimentos comestíveis à base de mucilagem de palma para aplicação em queijo de cabra, conforme exposto na Figura 4.

Figura 4 : Desenho Experimental



4.2 PREPARAÇÃO DA MUCILAGEM

Figura 5: Fluxograma de elaboração da emulsão da mucilagem de palma e óleo de orégano.



Fonte: A autora, 2024.

4.2.1 COLHEITA

A colheita e o preparo das amostras seguiram o recomendado por Santos et al. (2008) e Braz et al. (2008), sendo que a extração da mucilagem da palma (*Opuntia ficus-indica*) seguiu a metodologia de Farias et al. (2015), os cladódios de palma foram selecionados de acordo com o tamanho e colhidos pela manhã, a fim de minimizar os efeitos da desidratação e possíveis alterações na composição química decorrentes da exposição prolongada ao sol, optando-se apenas por cladódios com idade estimada entre oito e doze meses, intervalo no qual se encontra o equilíbrio ideal entre teor de mucilagem e estabilidade estrutural, a seleção visual considerou as melhores raquetes aquelas localizadas no terço médio da planta, que não se encontram nem excessivamente maduras nem verdes, tendo sido levado em conta a ausência de danos mecânicos, fungos ou sinais de deterioração, e garantindo uma espessura uniforme entre 1,5 e 2,0 cm, fator essencial para evitar variações no rendimento, os cladódios foram cortados na junção das folhas da planta matriz com o auxílio de uma faca limpa e afiada e em seguida, armazenados em caixas de papelão para o transporte para o laboratório da UFCG.

Figura 6: Processo de obtenção da mucilagem



Fonte: A autora, 2024.

4.2.2 SELEÇÃO E CORTE

Após essa seleção, os cladódios passaram por um rigoroso processo de higienização em três etapas, iniciando com a retirada dos espinhos e seguida pela imersão em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por quinze minutos, procedimento que se mostrou essencial para reduzir a carga microbiana sem comprometer as propriedades da mucilagem;

posteriormente, foram enxaguados em água corrente para a remoção de quaisquer resíduos do sanitizante. Em seguida, os cladódios foram cortados em pedaços de 2 cm, pesados em béquer e, imediatamente após a pesagem, os cubos foram transferidos para recipientes protegidos da luz, com o objetivo de evitar a degradação oxidativa, e feita à adição de água destilada na proporção de 2:1 (palma: água destilada) foi padronizada para assegurar um contato homogêneo com o meio extrator e evitar variações na eficiência da extração. O processo de extração foi conduzido por difusão em meio aquoso, utilizando a proporção de dois para um, ou seja, para cada duzentos gramas de cladódios processados, foram adicionados cem mililitros de água destilada, sendo o conjunto deixado em repouso por 24 horas e, posteriormente, filtrado conforme o fluxograma apresentado nas Figuras 5 e 6, essa etapa ocorreu à temperatura ambiente, mantida em 25°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) e monitorada constantemente para evitar flutuações que pudessem comprometer a estabilidade da mucilagem.

4.2.3 EXTRAÇÃO E SEPARAÇÃO

Após o período de extração, a separação da mucilagem foi realizada em duas etapas de filtragem sequencial, iniciando com a utilização de uma peneira de aço com malha de quinhentos micrômetros para a remoção de partículas maiores, e, em seguida, submetendo o extrato a uma segunda filtragem com tecido tipo voile de cem micrômetros, o que garantiu a remoção dos resíduos sólidos e a obtenção de um extrato mais puro.

4.3 ELABORAÇÃO DAS EMULSÕES

Para a preparação das emulsões, cada tratamento foi colocado em um béquer de 2 L e, em seguida, misturado com o auxílio de um Mixer Vertical Turbo Chef durante 5 minutos, o que garantiu a homogeneização completa dos componentes; após essa etapa, as emulsões foram acondicionadas em recipientes plásticos transparentes e, em determinados casos, em recipientes de cor âmbar para a análise de compostos antioxidantes, sendo, posteriormente, armazenadas em uma câmara (BOD) a 5 °C, a fim de preservar as características dos materiais para a avaliação subsequente.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA EMULSÃO

4.4.1 RENDIMENTO

A determinação do rendimento da mucilagem extraída foi realizada conforme o método descrito por Piatí, Malacarne e Gall (2015), permitindo avaliar a eficiência do processo de extração. Para isso, após a obtenção do extrato aquoso, que é a mucilagem, a mesma foi cuidadosamente pesada em um béquer de um litro, garantindo a precisão na

mensuração da massa final do extrato obtido. O cálculo do rendimento foi realizado por meio da equação:

$$\text{Rendimento}(\%) = \left(\frac{\text{Peso da mucilagem}}{\text{Peso inicial dos cladódios}} \right) \times 100$$

Este método permite determinar o percentual de mucilagem extraída em relação ao peso inicial dos cladódios cortados em cubos, proporcionando uma avaliação precisa da eficiência do processo de extração, permitindo não apenas uma avaliação rigorosa da eficiência do processo mas também a comparação com valores reportados na literatura, essa padronização do cálculo é essencial para garantir a reprodutibilidade dos resultados e fornecer subsídios para futuras aplicações da mucilagem em revestimentos comestíveis.

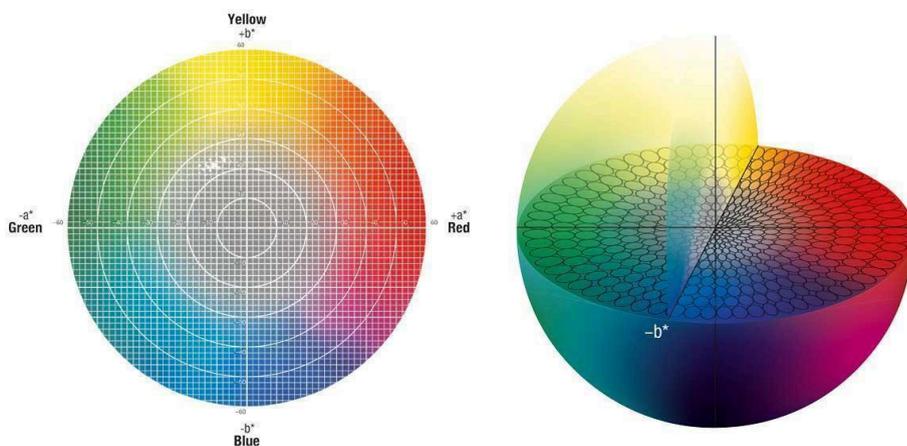
4.4.2 TOXICIDADE

O teste de toxicidade foi realizado utilizando a microcrustácea *Artemia salina*, conforme metodologia adaptada de Meyer et al. (1982). Os cistos de *Artemia salina* foram incubados em água do mar artificial até a eclosão dos náuplios, em seguida, as diferentes concentrações das formulações de mucilagem foram adicionadas a tubos de ensaio contendo água do mar e 10 náuplios, a mortalidade foi avaliada após 24 horas de exposição, e a concentração letal média (CL50) foi calculada para cada formulação.

4.4.3 COR

A análise de cor das amostras foi conduzida utilizando o sistema CIELAB, mostrado na figura 7, considerando os parâmetros L (luminosidade), a (cromaticidade vermelho/verde), e b (cromaticidade amarelo/azul), esses parâmetros são cruciais para avaliar a aparência visual dos revestimentos, é um fator determinante na aceitação sensorial e comercial de alimentos.

Figura 7: Sistema CIELAB



4.4.4 pH

A determinação do pH foi realizada de acordo com Conte-Junior *et al.* (2010). Foram utilizados 10 ml de amostra em 90 mL de água destilada, a determinação foi realizada através do pHmetro de bancada (Sensoglass, modelo: SC02) previamente calibrado conforme instruções do fabricante.

4.4.5 ACIDEZ

Em um béquer de 250 mL, foi pesado, com o auxílio de uma balança analítica (Shimadzu, modelo: BL 3200H), 10 mL de amostra de mucilagem, acrescentou-se cerca de 90 mL de água destilada e agitado com o bastão de vidro, até dissolução, depois com o auxílio de uma proveta, foi medido e transferido 50 mL para um erlenmeyer, acrescentando 5 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, titulando-se com solução de hidróxido de sódio padronizada 0,1111 N até que houvesse uma leve coloração rósea persistente por aproximadamente 30 segundos, conforme metodologia proposta por IAL (2005).

4.4.6 TEOR DE ÁGUA

O teor de água foi efetuado por método gravimétrico, de acordo com a metodologia estabelecida pelo MAPA (2006). Aproximadamente 5g de cada amostra de mucilagem, foram pesados em um cadinho, previamente seco, levado à estufa (Quimis, modelo Q314M252) a 105 (±1°C) por tempo necessário para que a diferença entre duas pesagens consecutivas não variasse ou variasse muito pouco, as análises foram realizadas em triplicata para cada amostra. O teor de água foi calculado através da equação 2:

$$\% \text{ de Umidade} = \left(\frac{m_2}{m_1} \right) * 100 \quad \text{Eq.2}$$

Em que:

m1 = peso inicial da amostra

m2 = peso inicial - peso final da amostra seca

4.4.7 ESTABILIDADE DA EMULSÃO

A estabilidade das emulsões foi avaliada por meio de análises indiretas, de acordo com a metodologia estabelecida por McClements (2015), considerando parâmetros como índice de viscosidade, pH, acidez, teor de água e textura, esses parâmetros refletem a capacidade da emulsão em manter sua estrutura e propriedades ao longo do tempo, prevenindo instabilidades

típicas em sistemas heterogêneos, sendo essenciais para determinar a integridade físico-química do sistema.

4.4.8 TEXTURA

A textura das formulações de mucilagem de palma foram analisadas utilizando um texturômetro modelo TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), foi utilizado o probe A/BE 40 com a distância de retorno de 60mm, velocidade do teste de 2 mm/s, a distância 20mm, as formulações de mucilagem foram acondicionadas em béquer de 250 ml e submetidas a testes de compressão para determinar a firmeza, consistência, trabalho de coesão e coesividade. Os resultados foram analisados com o auxílio do software Texture Expert (Stable Micro Systems, Reino Unido), as análises foram realizadas em triplicata para garantir a precisão dos resultados, segundo Da Silva *et al.* (2021).

4.4.9 ANTIOXIDANTES

A avaliação da atividade antioxidante das formulações de revestimento foi realizada pelo método do radical ABTS•+ (2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico)), adaptado a partir de Re *et al.* (1999), de modo a quantificar a capacidade das amostras em neutralizar radicais livres. Esse método foi escolhido por sua sensibilidade, rapidez e compatibilidade com as demais análises físico-químicas realizadas no presente estudo.

4.5 AVALIAÇÕES DOS QUEIJOS COM REVESTIMENTO

Os queijos de cabra foram revestidos com três formulações de mucilagem de palma e óleo de orégano, conforme descrito no desenho experimental, RMGO1, RMGO2 e RMGO3, por apresentarem características pertinentes para o estudo. Após a aplicação dos revestimentos, os queijos foram acondicionados em embalagens plásticas transparentes sob vácuo, as amostras foram mantidas em uma câmara BOD (Biochemical Oxygen Demand) à temperatura de refrigeração ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) durante todo o período do estudo.

4.5.1 AVALIAÇÕES SENSORIAIS

A avaliação sensorial foi realizada por um painel de provadores selecionados, que tenham o hábito de comer queijo, antes da execução dos testes sensoriais foi solicitado aos provadores que assinassem um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os protocolos dos testes sensoriais foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Campina Grande, conforme a resolução número 466/12 do Conselho Nacional de Saúde. O teste sensorial foi realizado em sala climatizada à temperatura ambiente, sob luz fluorescente, os queijos coalho foram apresentados em cubos medindo 1,5 cm de aresta. As amostras foram dispostas em copinhos

descartáveis codificados com números aleatórios de três dígitos e apresentados de forma balanceada e em blocos completos. Um copo de água mineral foi oferecido entre as amostras, para eliminar o sabor residual na boca, foram aplicados testes afetivos de aceitação fazendo-se o uso da escala hedônica de 7 pontos, variando de “desgostei muitíssimo” = 1 a “gostei muitíssimo” = 7 e o teste CATA (check-all-that-apply), em que os consumidores marcaram os termos descritores que identificavam estar relacionados aos atributos de cor, aparência, aroma, sabor e textura de cada amostra, as amostras foram avaliadas por uma equipe de 54 provadores

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram avaliados por meio do desvio-padrão e análise de variância entre as repetições, será aplicado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), para análise comparativa das médias pelo Teste de Tukey nível de 5% de probabilidade, através do software Assistat, versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016). Os dados dos testes de aceitação serão submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey ($p < 0,05$) para determinar diferença entre as médias, utilizando o programa estatístico Statistical Analytical Systems (SAS) Versão 6.11 (SAS, 1996). Também será calculado um índice de aceitação pelo somatório das frequências acumuladas na região de aceitação da escala hedônica (valores de 6 a 9) para cada amostra. A Análise de Correspondência será aplicada na tabela de frequências contendo as amostras nas linhas e os descritores sensoriais nas colunas, utilizando o programa XLSTAT®, versão 6.11.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RENDIMENTO

A extração de mucilagem dos cladódios de *Opuntia ficus-indica*, utilizando uma proporção de água destilada de 2:1 (matéria-prima:água), resultou em um rendimento médio de aproximadamente 50,80%, esse valor está de acordo com os dados reportados na literatura recente, que apontam variações de rendimento significativas em função das condições de cultivo, variedade da planta e método de extração utilizado. Miya *et al.* (2022) observaram que o rendimento da mucilagem está correlacionado com o conteúdo de carbono e açúcares nos cladódios, embora essa correlação não tenha sido estatisticamente significativa, sugerindo que fatores bioquímicos e estruturais influenciam a eficiência da extração.

De forma complementar, Otálora *et al.* (2022) destacaram o potencial de outras partes da planta, como as cascas dos frutos, como fonte alternativa de mucilagem com propriedades físico-químicas adequadas para aplicações tecnológicas, reforçando a versatilidade do uso do cacto. No mesmo sentido, Elshewy *et al.* (2023) caracterizaram a mucilagem de *O. ficus-indica* proveniente de variedades egípcias, evidenciando um conteúdo elevado de compostos bioativos, como fenóis totais (7,96 mg GAE/g FW) e flavonoides (3,61 mg QE/g FW), além da capacidade de formação de gel viscoso, características desejáveis em aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

Já Luna-Sosa *et al.* (2022) demonstraram que o cultivo hidropônico influencia diretamente o rendimento e a qualidade da mucilagem extraída, apontando uma variação significativa entre as amostras, com teores compatíveis aos observados em cultivos convencionais. Por sua vez, Cheikh Rouhou *et al.* (2023) otimizaram um método ecológico de extração de fibras dietéticas dos cladódios de *O. ficus-indica*, utilizando água quente como solvente, alcançando rendimentos de até 45,2%, demonstrando a viabilidade de processos sustentáveis na obtenção de mucilagem.

Dessa forma, o rendimento médio de 50,80% obtido no presente estudo é considerado tecnicamente viável e economicamente atrativo, situando-se dentro da faixa ideal para aplicações industriais, sobretudo na formulação de revestimentos comestíveis. Tal rendimento assegura a obtenção de uma mucilagem com qualidade funcional compatível com os requisitos tecnológicos exigidos para sua utilização em produtos alimentícios, sem comprometimento de suas propriedades estruturais ou bioativas.

5.2. TOXICIDADE

Os resultados obtidos demonstraram que todos os revestimentos apresentaram valores elevados de DL₅₀, indicando que não são tóxicos, o tratamento RMG apresentou o menor valor (251.517 mg/mL), enquanto RMGO3 obteve o maior (772.171,67 mg/mL), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de DL₅₀ (mg/mL) e mortalidade percentual de *Artemia salina* exposta às formulações testadas

| Tratamento | DL ₅₀ (mg/mL) | Mortalidade (%) |
|------------|--------------------------|-----------------|
| MP | 558.857,5 | Baixa |
| RMG | 251.517,0 | Moderada |
| RMGO1 | 343.140,0 | Moderada |
| RMGO2 | 545.606,0 | Baixa |
| RMGO3 | 772.171,7 | Muito baixa |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Os valores obtidos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas nas taxas de mortalidade entre os tratamentos, conforme demonstrado pela análise de variância (ANOVA) ($F = 0,960$; $p = 0,4506$), esses dados evidenciam que, mesmo com a incorporação de óleo de orégano e glicerina, os revestimentos mantiveram perfis de toxicidade equivalentes e não apresentaram efeito tóxico nas concentrações avaliadas.

Estudos recentes corroboram esses achados, como o de González Sandoval *et al.* (2019) formularam e caracterizaram filmes comestíveis à base de mucilagem orgânica de *Opuntia ficus-indica*, destacando a segurança de seu uso em sistemas alimentares. Além disso, Sortino *et al.* (2022) demonstraram que revestimentos à base de mucilagem de cactáceas são eficazes na preservação de frutas minimamente processadas, sem efeitos adversos significativos. De forma complementar, Such *et al.* (2023) desenvolveram revestimentos comestíveis à base de quitosana e alginato, enriquecidos com aditivos de cúrcuma e orégano, e avaliaram sua citotoxicidade em linhagens celulares HepG2 e BJ. Os resultados indicaram que os filmes não apresentaram citotoxicidade significativa, mesmo em concentrações elevadas, sugerindo sua segurança para aplicações alimentícias.

Além disso, Gheribi *et al.* (2023) desenvolveram filmes biodegradáveis com mucilagem de *Opuntia ficus-indica* e relataram ausência de efeitos citotóxicos, reforçando o potencial desse material para uso em sistemas alimentares. Sortino *et al.* (2022) demonstraram que revestimentos com base na mucilagem de cactáceas são seguros e eficazes na preservação

de frutas minimamente processadas, reforçando o potencial de aplicação de formulações naturais em alimentos.

Dessa forma, com base nos resultados apresentados e no suporte da literatura, conclui-se que os revestimentos contendo mucilagem de palma, óleo de orégano e glicerina não são tóxicas, sendo seguras para aplicação em alimentos, essa informação é fundamental para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis que utilizem compostos naturais, proporcionando alternativas sustentáveis e seguras à indústria alimentícia.

5.3. COR

A análise estatística revelou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos nos parâmetros de cor L^* (luminosidade), a^* (cromaticidade vermelho/verde) e b^* (cromaticidade amarelo/azul), conforme demonstrado pela análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey (Tabela 2), observou-se que a luminosidade (L^*) aumentou com a adição de óleo de orégano, especialmente nos tratamentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3, indicando que o óleo contribuiu para a maior claridade dos revestimentos. As médias de L^* variaram de 55,87 (RMG) a 80,70 (RMGO3). Esse efeito pode ser atribuído à composição lipídica do óleo e à formação de emulsões, que promovem maior reflexão da luz na matriz do revestimento, comportamento semelhante ao relatado por Such *et al.* (2023), que desenvolveram revestimentos comestíveis à base de quitosana e alginato enriquecidos com aditivos de cúrcuma e orégano.

Tabela 2: Valores médios de luminosidade (L), cromaticidade vermelho/verde (a) e cromaticidade amarelo/azul (b) para os diferentes tratamentos.

| Tratamento | L | a^* | b^* |
|------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| MP | 58,28 ± 0,22 ^b | -3,11 ± 0,73 ^a | 7,88 ± 0,42 ^b |
| RMG | 55,87 ± 1,74 ^c | -3,85 ± 0,28 ^a | 9,68 ± 0,80 ^a |
| RMGO1 | 79,80 ± 0,45 ^a | -3,27 ± 0,23 ^a | 6,83 ± 0,29 ^b |
| RMGO2 | 78,41 ± 0,53 ^a | -3,30 ± 0,67 ^a | 6,81 ± 0,62 ^b |
| RMGO3 | 80,70 ± 0,45 ^a | -2,69 ± 0,26 ^a | 7,84 ± 0,50 ^b |

Médias ± desvio-padrão. Diferentes sobrescritos na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey. Fonte: Dados da pesquisa.

No que tange ao parâmetro a^* , não foram detectadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos, com valores variando de -3,85 (RMG) a -2,69 (RMGO3), indicando que a incorporação do óleo essencial de orégano não afetou substancialmente a

tonalidade verde dos revestimentos. Resultados semelhantes foram encontrados por Sonar *et al.* (2023), que aplicaram nanopartículas de quitosana e óleo de orégano como revestimentos comestíveis em hambúrgueres de frango, observando melhorias significativas nos parâmetros de cor durante o armazenamento refrigerado .

Por outro lado, o parâmetro b^* apresentou valores significativamente mais elevados no tratamento RMG (9,68) sugerindo uma maior intensidade de tonalidades amareladas, a adição de óleo de orégano parece ter reduzido esses valores nos tratamentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3, possivelmente devido à absorção de luz em comprimentos de onda associados ao amarelo, fenômeno também relatado por Tsitsos *et al.* (2023), que investigaram o efeito de membranas comestíveis à base de quitosana e alginato, incorporadas com óleo de orégano e azeite de oliva, nas características microbiológicas, físico-químicas e organolépticas da carne ovina.

Esses dados indicam que a adição de óleo de orégano influencia principalmente a luminosidade (L^*) e a cromaticidade amarelo/azul (b^*), enquanto o parâmetro vermelho/verde (a^*) permanece relativamente estável, assim, a modulação da cor por meio da incorporação de óleo de orégano pode ser uma estratégia eficaz para ajustar as características visuais dos revestimentos comestíveis, potencialmente otimizando sua aceitação sensorial, uma vez que a aparência dos alimentos é um fator determinante na decisão de compra dos consumidores, e a capacidade de manipular a coloração dos revestimentos pode agregar valor ao produto final.

5.4. pH E ACIDEZ

A avaliação dos valores de pH e acidez nos tratamentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3 ao longo de 16 dias de armazenamento mostrou diferenças significativas entre as formulações, pois inicialmente, o tratamento RMGO3 apresentou o maior valor médio de pH ($5,03 \pm 0,02$), enquanto o RMGO1 exibiu o menor ($4,52 \pm 0,01$), esses resultados sugerem que a composição dos revestimentos, especialmente as variações nas concentrações de óleo de orégano e glicerina, influencia o pH desde o preparo inicial. Estudos recentes indicam que a mucilagem de *Opuntia ficus-indica* possui propriedades que podem ser ajustadas para estabilizar o pH, o que é útil em revestimentos comestíveis para conservação de alimentos frescos (Liguori *et al.*, 2021). Durante o armazenamento (Tabela 3), observou-se uma tendência de aumento do pH até o oitavo dia, quando o tratamento RMGO3 atingiu o valor de $5,27 \pm 0,01$. Esse comportamento pode estar relacionado à presença de compostos ativos do óleo de orégano, que atuam na estabilização do pH. Em revestimentos com aditivos naturais, a

presença de ingredientes adicionais pode funcionar como agentes estabilizadores do pH, auxiliando na preservação de alimentos (Gupta *et al.*, 2024), essa estabilidade é especialmente notável nos tratamentos RMGO2 e RMGO3, que mantiveram valores de pH mais elevados e estáveis até o final do experimento.

É importante destacar que, nos dias 12 e 16, não foram obtidos dados para os tratamentos MP e RMG devido ao comprometimento dos respectivos revestimentos, esse fato ressalta a eficácia dos tratamentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3 em manter a integridade dos revestimentos e a estabilidade do pH ao longo do período de armazenamento.

Tabela 3: Valores de pH dos tratamentos de revestimento comestível com mucilagem de palma ao longo do armazenamento.

| Dia | MP | RMG | RMGO1 | RMGO2 | RMGO3 |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 | 4,87 ± 0,02 ^b | 4,99 ± 0,03 ^b | 4,52 ± 0,01 ^c | 5,02 ± 0,02 ^a | 5,03 ± 0,02 ^a |
| 4 | 5,15 ± 0,03 ^a | 5,17 ± 0,02 ^a | 5,05 ± 0,03 ^b | 5,12 ± 0,02 ^a | 5,08 ± 0,02 ^a |
| 8 | 4,82 ± 0,01 ^b | 5,10 ± 0,02 ^a | 5,14 ± 0,02 ^a | 5,23 ± 0,02 ^a | 5,27 ± 0,01 ^a |
| 12 | - | - | 4,85 ± 0,02 ^b | 5,12 ± 0,02 ^a | 5,12 ± 0,02 ^a |
| 16 | - | - | 4,95 ± 0,01 ^b | 5,13 ± 0,01 ^a | 5,18 ± 0,02 ^a |

Médias ± desvio-padrão. Diferentes sobrescritos na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey. Para os dias 12 e 16, somente os tratamentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3 foram avaliados. Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores de acidez das amostras tiveram diferenças significativas tanto entre os tratamentos quanto ao longo do tempo de armazenamento ($p < 0,05$), os valores iniciais variaram ligeiramente entre os tratamentos (tabela 4), no dia 0, o revestimento RMG apresentou uma acidez inferior ($0,66 \pm 0,01$) em comparação com os demais, esse comportamento inicial pode ser reflexo da composição específica do RMG, que aparentemente resulta em um ambiente menos ácido no momento de preparo das amostras. Estudos demonstram que compostos vegetais com óleos podem conferir maior estabilidade química a revestimentos naturais, reduzindo a suscetibilidade a variações de acidez (Procacci *et al.*, 2021). A partir do quarto dia, observou-se uma alteração na acidez dos revestimentos, o revestimento RMGO1 apresentou um aumento para $0,80 \pm 0,02$, enquanto os revestimentos RMG e RMGO3 registraram uma redução para $0,63 \pm 0,01$ e $0,80 \pm 0,02$, respectivamente. Essa mudança ao longo do tempo destaca a variabilidade das respostas dos tratamentos em relação ao armazenamento, indicando que algumas formulações podem ser mais suscetíveis a variações de acidez do que outras.

Nos dias finais, os revestimentos RMGO2 e RMGO3 estabilizaram-se com valores relativamente baixos de acidez ($0,50 \pm 0,01$), enquanto o revestimento RMGO1 manteve uma leve acidez elevada ($0,53 \pm 0,01$ no Dia 16). Esse comportamento é consistente com a estabilidade química esperada de formulações enriquecidas, conforme documentado por Liguori *et al.* (2021), que enfatizaram a capacidade dos revestimentos à base de mucilagem de palma de manter a estabilidade ácido-base.

Tabela 4: Valores de acidez dos tratamentos de revestimento comestível com mucilagem de palma ao longo do armazenamento.

| Dia | MP | RMG | RMGO1 | RMGO2 | RMGO3 |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0 | $0,70 \pm 0,01^a$ | $0,66 \pm 0,01^b$ | $0,70 \pm 0,01^a$ | $0,70 \pm 0,01^a$ | $0,73 \pm 0,01^a$ |
| 4 | $0,73 \pm 0,02^a$ | $0,63 \pm 0,01^b$ | $0,80 \pm 0,02^a$ | $0,73 \pm 0,02^a$ | $0,80 \pm 0,02^a$ |
| 8 | $0,63 \pm 0,01^b$ | $0,53 \pm 0,01^c$ | $0,67 \pm 0,01^a$ | $0,63 \pm 0,01^b$ | $0,57 \pm 0,01^b$ |
| 12 | - | - | $0,67 \pm 0,01^a$ | $0,53 \pm 0,01^b$ | $0,50 \pm 0,01^b$ |
| 16 | - | - | $0,53 \pm 0,01^b$ | $0,50 \pm 0,01^b$ | $0,50 \pm 0,01^b$ |

Médias \pm desvio-padrão. Diferentes sobrescritos na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey. Para os dias 12 e 16, somente os tratamentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3 foram avaliados. Fonte: Dados da pesquisa.

5.5. TEOR DE ÁGUA E SÓLIDOS TOTAIS

A avaliação do teor de água nos diferentes revestimentos (MP, RMG, RMGO1, RMGO2 e RMGO3) revelou variações significativas ao longo dos 16 dias de armazenamento, no dia 0, os revestimentos MP e RMG apresentaram os maiores teores de água, com 99,38% e 99,28%, respectivamente. Por outro lado, os revestimentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3 exibiram valores inferiores, sendo que o RMGO3 registrou o menor teor de água, com 95,44%. Esses resultados sugerem que a adição de glicerina e óleo de orégano contribuiu para a redução do teor de água, com destaque para o RMGO3, que apresentou a maior concentração de sólidos totais em sua formulação.

Durante o período de armazenamento, os revestimentos MP e RMG mantiveram teores de água relativamente constantes, indicando estabilidade na retenção de umidade, em contraste, os revestimentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3 mostraram uma leve redução no

teor de água, aos 8 dias esses tratamentos apresentaram teores variando entre 96,95% e 97,38%, evidenciando uma pequena perda de água, mas ainda dentro de uma faixa estável e essa capacidade de retenção de umidade é essencial em revestimentos comestíveis, pois a perda excessiva de água pode comprometer a textura e a qualidade sensorial dos alimentos.

A estabilidade observada nos revestimentos MP e RMG pode ser atribuída à presença da mucilagem de *Opuntia ficus-indica*, conhecida por sua alta capacidade de retenção de água devido às propriedades hidrofílicas, segundo LIGUORI *et al.*, (2021) a mucilagem extraída dos cladódios de *Opuntia ficus-indica*, quando utilizada como revestimento comestível, é eficaz na manutenção da qualidade e na preservação do valor nutricional de frutas minimamente processadas durante o armazenamento refrigerado.

Além disso, a incorporação de glicerina e óleo de orégano nos tratamentos RMGO1, RMGO2 e RMGO3 não apenas contribuiu para a plasticidade dos filmes, mas também influenciou na redução da perda de água. Os revestimentos comestíveis compostos por pectina, glicerol e óleo de orégano podem retardar o amadurecimento e controlar efetivamente a incidência de doenças pós-colheita em frutas, prolongando sua vida útil (SANCHEZ-TAMAYO *et al.*, 2024).

Em síntese, os tratamentos que combinaram mucilagem de *Opuntia ficus-indica* com glicerina e óleo de orégano demonstraram potencial na formação de revestimentos comestíveis eficazes na manutenção da umidade e na preservação da qualidade dos alimentos durante o armazenamento.

Tabela 5: Teor de Água dos Tratamentos ao Longo dos Dias de Armazenamento

| Dia | MP | RMG | RMGO1 | RMGO2 | RMGO3 |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 | 99,38 ± 0,1 ^a | 99,28 ± 0,1 ^a | 98,73 ± 0,2 ^b | 97,35 ± 0,3 ^c | 95,44 ± 0,3 ^d |
| 4 | 99,19 ± 0,1 ^a | 99,06 ± 0,1 ^a | 97,73 ± 0,2 ^b | 97,52 ± 0,2 ^b | 96,87 ± 0,2 ^c |
| 8 | 99,23 ± 0,1 ^a | 99,10 ± 0,1 ^a | 98,15 ± 0,2 ^b | 96,88 ± 0,2 ^c | 96,95 ± 0,2 ^c |
| 12 | - | - | 97,72 ± 0,2 ^b | 97,46 ± 0,2 ^b | 96,81 ± 0,2 ^c |
| 16 | - | - | 98,28 ± 0,1 ^b | 97,38 ± 0,2 ^b | 97,26 ± 0,2 ^c |

Médias ± desvio-padrão. Diferentes sobrescritos na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras (p<0,05) pelo Teste de Tukey.

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise dos sólidos totais nas diferentes formulações revelou variações expressivas entre os tratamentos ao longo do tempo de armazenamento, inicialmente, os revestimentos RMGO3, RMGO2 e RMGO1 apresentaram os maiores teores de sólidos com valores de 3,37%, 2,65% e 1,27%, respectivamente, em contrapartida, os revestimentos MP e RMG apresentaram os menores teores, com 0,62% e 0,72%, respectivamente. Esses resultados indicam que a adição de óleo de orégano, em conjunto com a glicerina, contribui para o aumento da concentração de sólidos totais, o que pode promover maior integridade estrutural dos revestimentos formados.

Ao longo do período de armazenamento, observou-se que os tratamentos com maiores teores iniciais de sólidos (RMGO2 e RMGO3) mantiveram certa estabilidade, com pequenas flutuações entre os dias 4, 8 e 16, variando entre 2,48% e 3,26%, essa estabilidade sugere uma maior resistência a alterações físico-químicas, fato essencial para a preservação da funcionalidade do revestimento em contato com o alimento. Por outro lado, os revestimentos MP e RMG, que apresentaram baixos teores de sólidos, mantiveram-se com valores significativamente inferiores, evidenciando menor robustez estrutural ao longo do tempo, é importante destacar que, nos dias 12 e 16 de armazenamento, não foram obtidos dados para os revestimentos MP e RMG devido ao comprometimento físico desses revestimentos, o que reforça a importância de formulações mais concentradas e estruturadas para a durabilidade em condições de armazenamento refrigerado.

A literatura especializada converge com os resultados apresentados, em um estudo conduzido por Liguori *et al.* (2022), demonstraram que o uso de mucilagem de *Opuntia ficus-indica* em revestimentos comestíveis pode promover maior estabilidade e integridade mecânica dos filmes, especialmente quando combinada com compostos que aumentam os sólidos totais. Moussaoui *et al.* (2022) também verificaram que formulações com maiores concentrações de mucilagem de palma e espessantes naturais resultaram em biofilmes mais densos, com menor permeabilidade e maior resistência à degradação. Além disso, Vanaraj *et al.* (2024) destacam que o incremento na concentração de sólidos totais em biopolímeros favorece a formação de matrizes mais resistentes, capazes de proteger eficazmente os alimentos contra agentes oxidativos e mecânicos.

Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam que os tratamentos contendo óleo de orégano e glicerina são mais promissores na formação de revestimentos com maior teor de sólidos totais, o que contribui para maior estabilidade estrutural e funcional durante o

armazenamento, sendo mais indicados para aplicação em alimentos frescos sensíveis à umidade e à degradação oxidativa.

Tabela 6: Sólidos Totais dos Tratamentos ao Longo dos Dias de Armazenamento

| Dia | MP | RMG | RMGO1 | RMGO2 | RMGO3 |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 0,62 ± 0,1 ^d | 0,72 ± 0,1 ^d | 1,27 ± 0,2 ^c | 2,65 ± 0,3 ^b | 3,37 ± 0,3 ^a |
| 4 | 0,81 ± 0,1 ^d | 0,94 ± 0,1 ^d | 2,27 ± 0,2 ^c | 2,48 ± 0,2 ^b | 3,21 ± 0,2 ^a |
| 8 | 0,77 ± 0,1 ^d | 0,90 ± 0,1 ^d | 1,85 ± 0,2 ^c | 3,12 ± 0,2 ^b | 3,10 ± 0,2 ^a |
| 12 | - | - | 2,28 ± 0,2 ^b | 2,54 ± 0,2 ^b | 3,26 ± 0,2 ^a |
| 16 | - | - | 1,72 ± 0,1 ^c | 2,62 ± 0,2 ^b | 2,73 ± 0,2 ^a |

Médias ± desvio-padrão. Diferentes sobrescritos na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey. Fonte: Dados da pesquisa.

5.6. TEXTURA

A análise dos dados de textura dos revestimentos (MP, RMG, RMGO1, RMGO2, RMGO3) mostrou que as diferentes formulações influenciaram de forma significativa as propriedades de firmeza, consistência, coesão e trabalho de coesão dos revestimentos, variando ao longo dos dias de armazenamento, conforme está à mostra na tabela 7, o impacto da adição de glicerina e óleo de orégano foi particularmente notável, evidenciando melhorias nas características de resistência e coesão dos tratamentos, em relação à firmeza, os tratamentos RMGO2 e RMGO3 mostraram os maiores valores ao longo dos dias analisados, principalmente nos dias 12 e 16, isso sugere que a maior concentração de óleo de orégano contribuiu para a resistência estrutural dos revestimentos. Estudos prévios demonstram que a incorporação de óleos essenciais pode promover um aumento na resistência mecânica de filmes comestíveis, mecanismo este possivelmente atribuído às interações estabelecidas entre os compostos fenólicos presentes nos óleos e a estrutura polimérica do revestimento (Liguori et al., 2023).

Quanto à consistência, que mede a rigidez do tratamento, foi observada uma diferença significativa entre os tratamentos, o tratamento RMGO1 e o RMGO2 apresentaram as maiores médias de consistência, sugerindo que a combinação de glicerina com óleo de orégano tem um efeito positivo na formação de uma estrutura mais rígida e resistente, esses resultados estão em conformidade com a literatura científica, a incorporação de óleos em filmes demonstra a capacidade de alterar as propriedades mecânicas, notadamente promovendo um aumento na rigidez do material, proporcionando uma maior proteção e estrutura (Reyes Méndez et al., 2023). A coesão, que se refere à capacidade do revestimento de manter sua

integridade sob forças externas, variou entre os tratamentos, com os tratamentos que continham óleo de orégano (RMGO1, RMGO2, RMGO3) apresentou valores superiores àqueles que não continham, esses resultados indicam que o óleo de orégano tem um efeito positivo na resistência à ruptura, possivelmente através de interações hidrofóbicas que reforçam a matriz polimérica. Estudos demonstram que a adição de óleos pode melhorar a coesão de filmes comestíveis, resultando em maior resistência à ruptura (Hernández; Ludueña; Flores, 2023).

Por fim, o trabalho de coesão, que avalia a força necessária para romper o revestimento, apresentou valores mais baixos para os tratamentos MP e RMG, enquanto os tratamentos RMGO1 e RMGO2 apresentaram valores mais altos, indicando que o aumento da concentração de óleo de orégano ajudou a conferir maior resistência. Conforme Hernández, Ludueña e Flores (2023), em seu estudo evidencia que a incorporação de óleos em filmes resulta em propriedades mecânicas superiores, incluindo maior resistência ao rompimento, o que é especialmente importante para garantir a durabilidade dos revestimentos em condições de armazenamento e transporte.

Esses resultados são promissores, pois indicam que a combinação de mucilagem de palma com glicerina e óleo de orégano pode gerar revestimentos com características mecânicas desejáveis, como maior firmeza e resistência à deformação, ao mesmo tempo que mantém suas propriedades de coesão, o uso de ingredientes naturais, como o óleo de orégano, também está alinhado com as tendências de sustentabilidade, já que oferece uma alternativa ecológica aos compostos sintéticos utilizados na indústria de alimentos e embalagens

Tabela 7: Firmeza, consistência, coesão e trabalho de coesão dos tratamentos ao longo dos dias de armazenamento

| Propriedades | Tratamento | Tempo | | | | |
|---------------------------|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 0 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| Firmeza (N) | MP | 16,18 ± 0,1 ^b | 16,90 ± 0,2 ^a | 16,01 ± 0,2 ^b | - | - |
| | RMG | 16,34 ± 0,1 ^a | 15,82 ± 0,2 ^b | 15,80 ± 0,2 ^b | - | - |
| | RMGO1 | 16,54 ± 0,1 ^a | 16,37 ± 0,2 ^a | 16,54 ± 0,2 ^a | 17,13 ± 0,3 ^a | 17,45 ± 0,3 ^a |
| | RMGO2 | 16,10 ± 0,1 ^b | 16,26 ± 0,2 ^a | 17,29 ± 0,2 ^a | 17,83 ± 0,3 ^a | 16,82 ± 0,3 ^a |
| | RMGO3 | 16,34 ± 0,1 ^a | 17,13 ± 0,2 ^a | 16,90 ± 0,2 ^a | 17,53 ± 0,3 ^a | 16,38 ± 0,3 ^b |
| Consistência | MP | 92,19 ± 5,0 ^c | 128,64 ± 5,0 ^b | 122,28 ± 5,0 ^b | - | - |
| | RMG | 95,67 ± 5,0 ^c | 97,72 ± 5,0 ^c | 193,32 ± 5,0 ^a | - | - |
| | RMGO1 | 154,37 ± 5,0 ^b | 144,15 ± 5,0 ^b | 194,29 ± 5,0 ^a | 133,86 ± 5,0 ^b | 159,41 ± 5,0 ^b |
| | RMGO2 | 157,79 ± 5,0 ^b | 129,47 ± 5,0 ^b | 166,12 ± 5,0 ^a | 156,12 ± 5,0 ^b | 97,91 ± 5,0 ^c |
| | RMGO3 | 98,14 ± 5,0 ^c | 133,23 ± 5,0 ^b | 167,95 ± 5,0 ^a | 205,77 ± 5,0 ^a | 165,71 ± 5,0 ^b |
| Coesão | MP | -9,22 ± 0,1 ^a | -9,06 ± 0,1 ^a | -8,92 ± 0,1 ^a | - | - |
| | RMG | -9,06 ± 0,1 ^a | -8,71 ± 0,1 ^b | -8,65 ± 0,1 ^b | - | - |
| | RMGO1 | -8,83 ± 0,1 ^b | -8,74 ± 0,1 ^b | -8,59 ± 0,1 ^b | -8,79 ± 0,1 ^a | -8,91 ± 0,1 ^a |
| | RMGO2 | -8,75 ± 0,1 ^b | -8,83 ± 0,1 ^b | -8,91 ± 0,1 ^a | -8,11 ± 0,1 ^b | -8,83 ± 0,1 ^b |
| | RMGO3 | -8,75 ± 0,1 ^b | -9,74 ± 0,1 ^a | -8,47 ± 0,1 ^b | -8,95 ± 0,1 ^a | -9,58 ± 0,1 ^a |
| Trabalho de Coesão | MP | 81,83 ± 2,0 ^a | 54,68 ± 2,0 ^a | 65,19 ± 2,0 ^a | - | - |
| | RMG | 86,68 ± 2,0 ^a | 92,39 ± 2,0 ^a | 92,39 ± 2,0 ^a | - | - |
| | RMGO1 | 28,79 ± 2,0 ^b | 40,98 ± 2,0 ^b | 40,98 ± 2,0 ^b | 62,10 ± 2,0 ^a | 23,23 ± 2,0 ^b |
| | RMGO2 | 28,50 ± 2,0 ^b | 59,45 ± 2,0 ^a | 28,31 ± 2,0 ^b | 46,35 ± 2,0 ^b | 87,73 ± 2,0 ^a |
| | RMGO3 | 89,34 ± 2,0 ^a | 57,85 ± 2,0 ^a | 31,27 ± 2,0 ^b | -3,32 ± 2,0 ^c | 23,45 ± 2,0 ^b |

Médias ± desvio-padrão. Diferentes sobrescritos na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey. Fonte: Dados da pesquisa.

5.6.1 VISCOSIDADE

A análise da viscosidade das formulações dos revestimentos de mucilagem de palma revelou variações significativas na resistência ao fluxo entre os diferentes tratamentos, sendo esse parâmetro fundamental na aplicação de revestimentos comestíveis, as formulações com adição de óleo de orégano (RMGO1, RMGO2 e RMGO3) apresentaram comportamento

reológico distinto em comparação à mucilagem pura (MP) e à mucilagem com glicerina (RMG), evidenciando um aumento progressivo da viscosidade conforme a concentração do óleo aumentava.

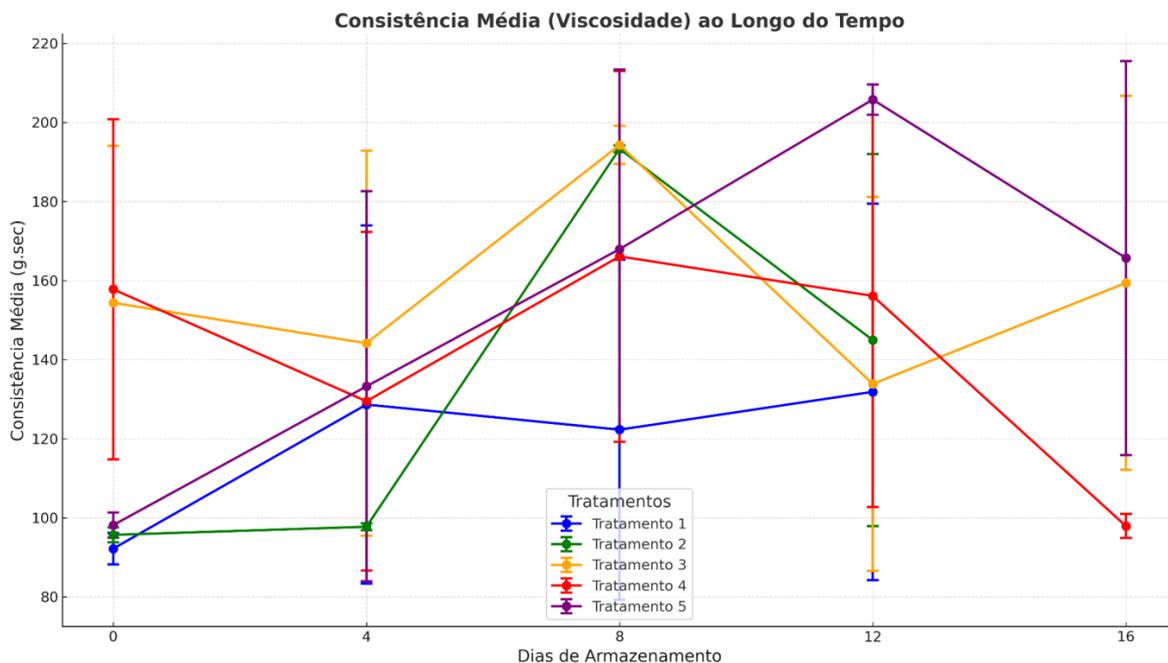
Esse comportamento pode ser atribuído à formação de interações físico-químicas entre os componentes da mucilagem e os compostos bioativos presentes no óleo de orégano, a incorporação do óleo promove a formação de uma rede polimérica mais coesa, aumentando a resistência ao fluxo. De acordo com Sharma *et al.* (2020), o óleo de orégano, quando estabilizado em emulsões ou disperso em matrizes hidrocoloidais, modifica as propriedades reológicas dos sistemas, contribuindo para maior viscosidade e estabilidade estrutural, efeito esse desejável na indústria de alimentos pela capacidade de conferir maior controle na aplicação sobre superfícies alimentícias.

Além disso, a presença do óleo também demonstrou influência positiva na estabilidade reológica das formulações ao longo do tempo, pois as amostras RMGO2 e RMGO3 mantiveram valores de viscosidade elevados e consistentes durante os dias de armazenamento, indicando maior resistência à degradação estrutural da matriz. Este resultado é corroborado por Liguori *et al.* (2023), que demonstraram a eficácia de revestimentos comestíveis à base de mucilagem enriquecida com óleo de orégano na manutenção da qualidade pós-colheita de frutas frescas, associando essa estabilidade às interações entre polissacarídeos e compostos voláteis do óleo.

Por outro lado, as formulações MP e RMG apresentaram viscosidades mais baixas, sendo que a adição de glicerina promoveu uma leve redução na resistência ao fluxo, comportamento que é compatível com a ação plastificante do glicerol. Conforme descrito por Jouki *et al.* (2013), a glicerina reduz as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas, promovendo maior flexibilidade e menor viscosidade em filmes comestíveis à base de mucilagem vegetal.

A Figura 8 ilustra a consistência média das formulações ao longo dos dias de armazenamento, evidenciando a superioridade das amostras contendo óleo essencial de orégano em relação às demais. Tais formulações demonstraram não apenas maior viscosidade inicial, mas também estabilidade temporal, o que reforça sua potencial aplicação na indústria de alimentos como revestimentos funcionais, conforme sugerido por Sharma *et al.* (2020).

Figura 8: Consistência média (g.sec) das formulações de mucilagem de palma ao longo dos dias de armazenamento.



Tratamento 1 (MP), Tratamento 2 (RMG), Tratamento 3 (RMGO1), Tratamento 4 (RMGO2), Tratamento 5 (RMGO3). Fonte: Dados da pesquisa.

Portanto, os resultados indicam que as formulações dos revestimentos de mucilagem de palma permitem a modulação da viscosidade por meio de ajustes na composição, sendo a incorporação de óleo, como demonstrado no estudo de Cotrim Santos *et al.* (2021) que utilizou óleo de alecrim, um fator determinante para o aumento da resistência ao fluxo e para a estabilidade reológica das formulações. Sendo tais atributos fundamentais na produção de coberturas comestíveis, especialmente para alimentos perecíveis, corroborando evidências de pesquisas anteriores que indicam a importância da viscosidade como parâmetro crucial nas propriedades reológicas de mucilagens.

5.7. ESTABILIDADE

A estabilidade físico-química das emulsões foi avaliada por meio de parâmetros como pH, acidez titulável, teor de água e sólidos totais, visando compreender a integridade das formulações durante o armazenamento (Tabela 8), a manutenção desses parâmetros é essencial para assegurar a funcionalidade e qualidade dos revestimentos.

Tabela 8: Parâmetros físico-químicos ao longo dos dias de armazenamento

| Parâmetro | Revestimento | Tempo | | | | |
|-------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 0 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| pH | MP | 4,87 ± 0,02 ^b | 5,15 ± 0,03 ^a | 4,82 ± 0,01 ^b | – | – |
| | RMG | 4,99 ± 0,03 ^b | 5,17 ± 0,02 ^a | 5,10 ± 0,02 ^a | – | – |
| | RMGO1 | 4,52 ± 0,01 ^c | 5,05 ± 0,03 ^b | 5,14 ± 0,02 ^a | 4,85 ± 0,02 ^b | 4,95 ± 0,01 ^b |
| | RMGO2 | 5,02 ± 0,02 ^a | 5,12 ± 0,02 ^a | 5,23 ± 0,02 ^a | 5,12 ± 0,02 ^a | 5,13 ± 0,01 ^a |
| | RMGO3 | 5,03 ± 0,02 ^a | 5,08 ± 0,02 ^a | 5,27 ± 0,01 ^a | 5,12 ± 0,02 ^a | 5,18 ± 0,02 ^a |
| Acidez (%) | MP | 0,70 ± 0,01 ^a | 0,73 ± 0,02 ^a | 0,63 ± 0,01 ^b | – | – |
| | RMG | 0,66 ± 0,01 ^b | 0,63 ± 0,01 ^b | 0,53 ± 0,01 ^c | – | – |
| | RMGO1 | 0,70 ± 0,01 ^a | 0,80 ± 0,02 ^a | 0,67 ± 0,01 ^a | 0,67 ± 0,01 ^a | 0,53 ± 0,01 ^b |
| | RMGO2 | 0,70 ± 0,01 ^a | 0,73 ± 0,02 ^a | 0,63 ± 0,01 ^b | 0,53 ± 0,01 ^b | 0,50 ± 0,01 ^b |
| | RMGO3 | 0,73 ± 0,01 ^a | 0,80 ± 0,02 ^a | 0,57 ± 0,01 ^b | 0,50 ± 0,01 ^b | 0,50 ± 0,01 ^b |
| Teor de Água (%) | MP | 99,38 ± 0,10 ^a | 99,19 ± 0,10 ^a | 99,23 ± 0,10 ^a | – | – |
| | RMG | 99,28 ± 0,10 ^a | 99,06 ± 0,10 ^a | 99,10 ± 0,10 ^a | – | – |
| | RMGO1 | 98,73 ± 0,20 ^b | 97,73 ± 0,20 ^b | 98,15 ± 0,20 ^b | 97,72 ± 0,20 ^b | 98,28 ± 0,10 ^b |
| | RMGO2 | 97,35 ± 0,30 ^c | 97,52 ± 0,20 ^b | 96,88 ± 0,20 ^c | 97,46 ± 0,20 ^b | 97,38 ± 0,20 ^b |
| | RMGO3 | 95,44 ± 0,30 ^d | 96,87 ± 0,20 ^c | 96,95 ± 0,20 ^c | 96,81 ± 0,20 ^c | 97,26 ± 0,20 ^c |
| Sólidos Totais(%) | MP | 0,62 ± 0,10 ^d | 0,81 ± 0,10 ^d | 0,77 ± 0,10 ^d | – | – |
| | RMG | 0,72 ± 0,10 ^d | 0,94 ± 0,10 ^d | 0,90 ± 0,10 ^d | – | – |
| | RMGO1 | 1,27 ± 0,20 ^c | 2,27 ± 0,20 ^c | 1,85 ± 0,20 ^c | 2,28 ± 0,20 ^b | 1,72 ± 0,10 ^c |
| | RMGO2 | 2,65 ± 0,30 ^b | 2,48 ± 0,20 ^b | 3,12 ± 0,20 ^b | 2,54 ± 0,20 ^b | 2,62 ± 0,20 ^b |
| | RMGO3 | 3,37 ± 0,30 ^a | 3,21 ± 0,20 ^a | 3,10 ± 0,20 ^a | 3,26 ± 0,20 ^a | 2,73 ± 0,20 ^a |

Fonte: Dados da pesquisa.

As emulsões contendo óleo de orégano (RMGO1, RMGO2 e RMGO3) apresentaram maior estabilidade em comparação às formulações controle (MP e RMG), especificamente o pH das formulações enriquecidas manteve-se relativamente constante ao longo do período de armazenamento, indicando que a incorporação do óleo contribuiu para a manutenção do equilíbrio ácido-base do sistema. A acidez titulável também apresentou variações mínimas, sugerindo preservação da integridade química das emulsões. Esses comportamentos podem ser atribuídos às propriedades antioxidantes do óleo de orégano, que inibem reações de degradação e o crescimento microbiano (Sajimon *et al.*, 2023).

Em relação ao teor de água, a formulação RMGO3 destacou-se por apresentar o menor valor inicial indicando uma maior concentração de sólidos totais, essa característica é relevante, pois uma matriz com maior concentração de sólidos tende a possuir melhor retenção de umidade, fundamental para preservar a textura e a integridade estrutural do revestimento. Estudos recentes demonstram que a incorporação de biopolímeros e óleos em filmes comestíveis melhora as propriedades de barreira e mecânicas, contribuindo para a estabilidade do produto final (Pan *et al.*, 2024).

Os parâmetros texturais, como firmeza, coesão e consistência, foram significativamente superiores nas formulações com maior adição de óleo de orégano, especialmente nas RMGO2 e RMGO3, esses resultados indicam a formação de uma rede polimérica mais robusta, conferindo maior resistência às variações ambientais e ao desgaste durante o armazenamento e transporte. A literatura atual destaca que a adição de óleos a filmes comestíveis pode melhorar as propriedades mecânicas e de barreira, resultando em maior estabilidade e prolongamento da vida útil de produtos alimentícios (Tazo *et al.*, 2023).

Além disso, a presença da mucilagem de palma, rica em polissacarídeos, em combinação com o óleo de orégano, parece promover efeitos sinérgicos na formação de uma matriz coesa e resistente. Tais interações reforçam a integridade estrutural e funcional da emulsão, alinhando-se com estudos que evidenciam a ação combinada de hidrocolóides e óleos essenciais na manutenção da estabilidade físico-química e microbiológica de sistemas alimentícios (Al-Hijazeen *et al.*, 2022).

É importante destacar que, nos dias 12 e 16 de armazenamento, não foram obtidos dados para determinadas formulações devido ao comprometimento dos respectivos revestimentos, que apresentaram sinais de deterioração. Esse fato reforça a relevância da incorporação do óleo essencial de orégano na manutenção da estabilidade das emulsões ao longo do tempo.

Assim, os dados demonstram que a incorporação de óleo de orégano não apenas aprimora as propriedades tecnológicas das emulsões, mas também favorece sua estabilidade ao longo do tempo, representando uma alternativa promissora para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis funcionais.

5.8. COMPOSTOS ANTIOXIDANTES

A análise estatística da concentração de antioxidantes, expressa em μM , demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos formulados a partir de mucilagem de palma, conforme apresentado na Tabela 9 (ANOVA: $F = 83,04$; $p < 0,0001$). Esses resultados justificaram a realização do teste de Tukey para comparações múltiplas entre as médias.

Tabela 9 – Concentração média de antioxidantes (μM) e análise estatística (IC 95%)

| Amostra | Média (μM) \pm DP | Intervalo de Confiança (95%) |
|---------|----------------------------------|------------------------------|
| MP | $20,70 \pm 1,06^b$ | 19,11 – 22,29 |
| RMG | $18,16 \pm 0,59^c$ | 17,23 – 19,09 |
| RMGO1 | $18,30 \pm 0,70^c$ | 17,22 – 19,38 |
| RMGO2 | $22,13 \pm 0,09^b$ | 21,99 – 22,27 |
| RMGO3 | $27,37 \pm 0,76^a$ | 26,20 – 28,54 |

Médias \pm desvio-padrão. Diferentes sobrescritos na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

No grupo controle (MP), a concentração média de antioxidantes foi de $20,70 \pm 1,06 \mu\text{M}$. A adição de 1% de glicerina (RMG) resultou em uma redução significativa da atividade antioxidante, com média de $18,16 \pm 0,59 \mu\text{M}$, sugerindo que o efeito diluente da glicerina possa interferir na estabilidade dos compostos bioativos. Em contraste, a inclusão de óleo essencial de orégano revelou um efeito dose-dependente, embora o tratamento RMGO1 (1% de óleo + 1% de glicerina) não tenha diferido estatisticamente de RMG, as formulações RMGO2 (2% de óleo + 1% de glicerina) e, especialmente, RMGO3 (3% de óleo + 1% de glicerina) apresentaram valores significativamente mais altos, de $22,13 \pm 0,09 \mu\text{M}$ e $27,37 \pm 0,76 \mu\text{M}$, respectivamente.

Esses dados indicam que os compostos lipofílicos presentes no óleo de orégano, possivelmente o carvacrol e o timol, potencializam a atividade antioxidante da emulsão, promovendo uma sinergia com os polissacarídeos da mucilagem. A elevação na atividade

antioxidante, sobretudo no tratamento RMGO3, demonstra a eficácia da incorporação de óleo essencial para melhorar as propriedades funcionais dos revestimentos comestíveis, a baixa variação dos valores ($DP < 1 \mu M$, exceto em RMGO3) indica ainda a boa reprodutibilidade dos ensaios.

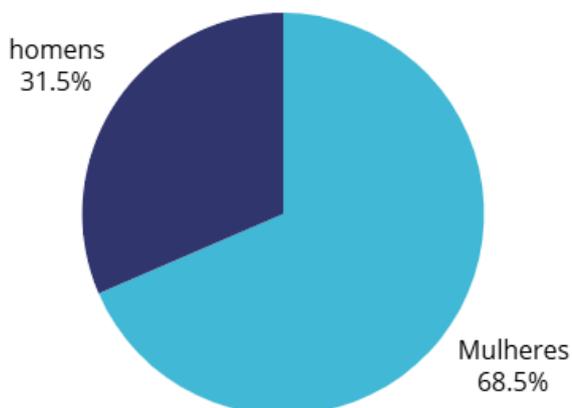
Esses resultados corroboram estudos recentes que evidenciaram a eficácia do óleo de orégano para a melhoria da atividade antioxidante em sistemas alimentícios, a exemplo de Pan *et al.* (2024) demonstraram que a incorporação de óleo de orégano em emulsões estabilizadas por sistemas Pickering pode aumentar significativamente a atividade antioxidante, enquanto Sajimon *et al.* (2023) relataram melhorias na funcionalidade antioxidante de filmes comestíveis formulados a partir de proteínas do soro de leite. Adicionalmente, Tazo *et al.* (2023) otimizaram formulações de revestimentos comestíveis e evidenciaram um comportamento dose-dependente quanto à atividade antioxidante, e Al-Hijazeen *et al.* (2022) associaram a ação sinérgica de óleos essenciais à estabilidade e à qualidade dos produtos durante o armazenamento.

Em síntese, a combinação da mucilagem de palma com óleo de orégano demonstra elevado potencial para aplicações em alimentos funcionais e produtos biotecnológicos, pois não só amplia a atividade antioxidante, mas também contribui para a estabilidade e a preservação dos compostos bioativos ao longo do armazenamento.

5.9 AVALIAÇÕES SENSORIAIS

A avaliação sensorial dos queijos de cabra revestidos com emulsões à base de mucilagem de palma enriquecida com óleo de orégano (nas concentrações de 1%, 2% e 3%) foi realizada com 54 provadores (Figura 9), utilizando a escala hedônica de 7 pontos para mensurar atributos como aparência, cor, aroma, sabor e textura. Os dados de aceitação apresentados na Tabela 10 indicaram que, embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (ANOVA e Teste de Tukey, $p > 0,05$), uma tendência para a melhor percepção dos atributos de aroma e sabor foi identificada no grupo contendo 3% de óleo de orégano (RMGO3).

Figura 9: Gênero dos provadores.



Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

Os resultados obtidos na análise sensorial dos queijos revestidos com mucilagem de palma e diferentes concentrações de óleo essencial de orégano indicaram ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para os atributos de aparência, cor, aroma, sabor e textura ($p > 0,05$), essa constatação, conforme apresentado na Tabela 10, reforça a viabilidade do uso do óleo de orégano como componente funcional de revestimentos comestíveis sem comprometer a aceitação do produto final.

Tabela 10- Médias e desvios padrão dos atributos sensoriais

| Tratamento | Aparência (\pm DP) | Cor (\pm DP) | Aroma (\pm DP) | Sabor (\pm DP) | Textura(\pm DP) |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| RMGO1 (1%) | 5,39 \pm 1,12 ^a | 5,72 \pm 0,88 ^a | 5,44 \pm 1,38 ^a | 4,30 \pm 1,96 ^a | 4,87 \pm 1,75 ^a |
| RMGO2 (2%) | 5,43 \pm 1,18 ^a | 5,43 \pm 1,11 ^a | 5,54 \pm 1,11 ^a | 4,30 \pm 1,82 ^a | 5,09 \pm 1,73 ^a |
| RMGO3 (3%) | 5,35 \pm 1,29 ^a | 5,69 \pm 1,26 ^a | 5,65 \pm 1,20 ^a | 4,41 \pm 1,65 ^a | 4,59 \pm 1,56 ^a |

Médias \pm DP. Letras iguais (grupo “a”) indicam ausência de diferença significativa (Tukey, $p < 0,05$). DMS = Diferença Mínima Significativa ao nível de 5%. Fonte: Dados da pesquisa.

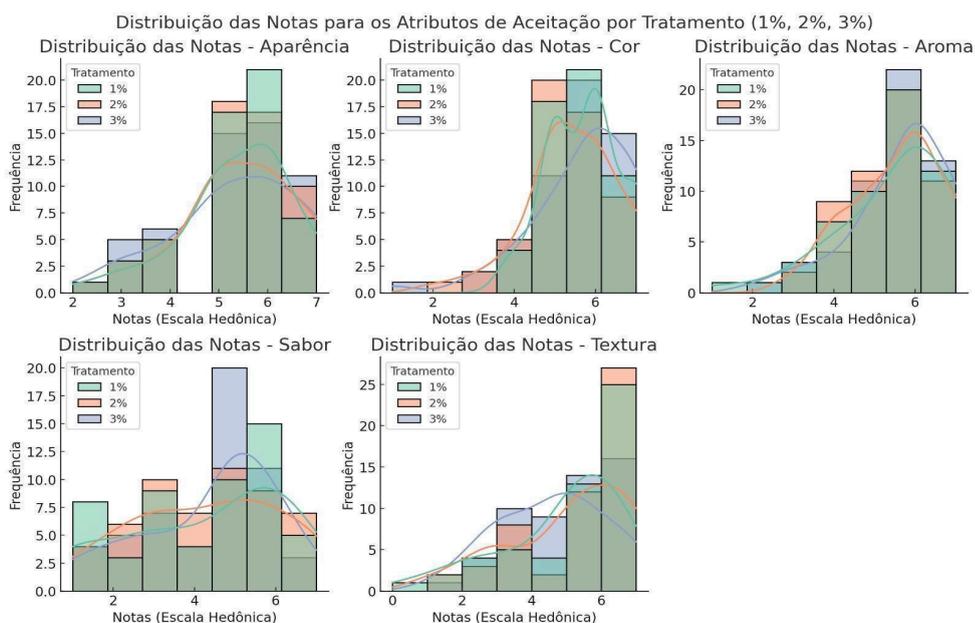
Observou-se uma leve tendência de maior aceitação do revestimento com 3% de óleo de orégano (RMGO3), que apresentou os maiores valores médios para os atributos aroma (5,65) e sabor (4,41), a intensificação sensorial nesses atributos pode estar associada à maior concentração de compostos voláteis presentes no óleo essencial, como carvacrol e timol, conhecidos por sua atividade aromática e antioxidante, já o revestimento RMGO2 (2%) obteve a maior média para o atributo textura (5,09), embora tal diferença também não tenha sido estatisticamente significativa, esses dados sugerem que a modulação da concentração de óleo essencial pode ajustar características sensoriais específicas de acordo com o perfil desejado do produto.

A homogeneidade na distribuição das notas sensoriais, conforme demonstrado na Figura 10, evidencia consistência nas respostas dos avaliadores e valida a metodologia sensorial adotada, essa uniformidade é um aspecto essencial em testes com consumidores, especialmente quando se objetiva o desenvolvimento de produtos inovadores e funcionais, como apontado por Lawless e Heymann (2010) em sua obra de referência sobre análise sensorial.

A literatura recente corrobora os dados do presente estudo, indicando que revestimentos comestíveis incorporando óleos podem contribuir para melhorias nas propriedades sensoriais e na conservação de queijos, sem impactar negativamente sua aceitação. Ríos-de-Benito *et al.* (2021) observaram efeitos positivos na aplicação de um revestimento ativo à base de caseinato de sódio, quitosana e óleo de orégano reforçado com nanopartículas de sílica sobre queijo tipo panela, destacando-se pela manutenção da qualidade sensorial e microbiológica ao longo do armazenamento.

De maneira semelhante, Lima *et al.* (2021) demonstraram que a aplicação de revestimentos à base de galactomanana e óleo essencial de capim-limão em queijo tipo coalho resultou em estabilidade físico-química e boa aceitação sensorial, apontando para o potencial de aplicação destes revestimentos na indústria de laticínios. Além disso, Pieretti *et al.* (2019) confirmaram a eficácia de revestimentos à base de alginato contendo óleo de orégano na preservação sensorial de queijos frescos, com níveis de aceitação superiores a 77%.

Figura 10: Distribuição das notas para os atributos de aceitação por tratamento.



Os resultados obtidos por meio do teste CATA (Check-All-That-Apply) forneceram informações relevantes sobre as percepções sensoriais dos avaliadores em relação às diferentes concentrações de óleo de orégano aplicadas ao queijo de cabra, conforme detalhado na Tabela 11, a maioria dos atributos sensoriais não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), indicando uma percepção sensorial homogênea entre as amostras.

O atributo "Cor branca" foi consistentemente associado a todas as amostras, sugerindo que a adição de óleo de orégano, independentemente da concentração, não alterou perceptivelmente a coloração do queijo. Essa constatação é corroborada por Pieretti *et al.* (2019), que observaram que revestimentos com óleo essencial de orégano não influenciaram significativamente a cor de queijos frescos.

Tabela 11: Proporções de seleção dos atributos sensoriais no teste CATA

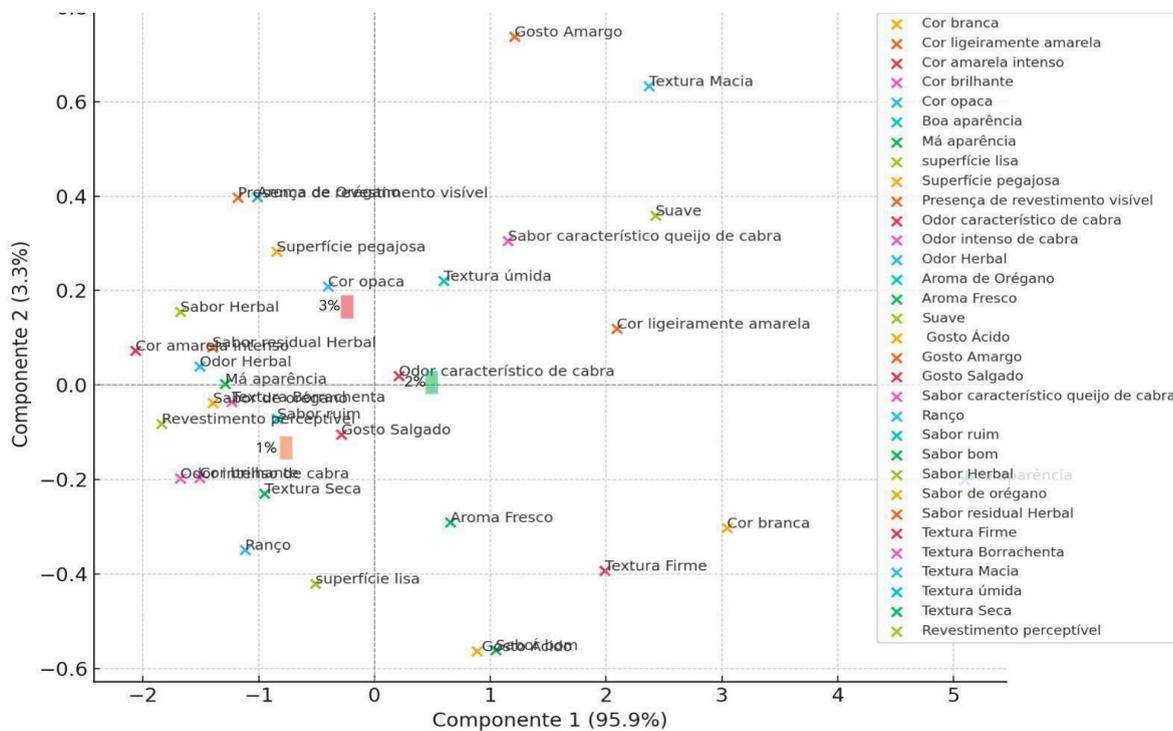
| Atributos Sensoriais | Tratamentos | | | p value |
|--------------------------------------|-------------|-------|-------|---------|
| | 1% | 2% | 3% | |
| Cor branca | 0,574 | 0,518 | 0,629 | >0,05 |
| Cor ligeiramente amarela | 0,481 | 0,481 | 0,444 | >0,05 |
| Cor amarela intenso | 0,000 | 0,019 | 0,000 | >0,05 |
| Cor brilhante | 0,092 | 0,037 | 0,007 | >0,05 |
| Cor opaca | 0,148 | 0,222 | 0,204 | >0,05 |
| Boa aparência | 0,833 | 0,759 | 0,815 | >0,05 |
| Má aparência | 0,093 | 0,093 | 0,093 | >0,05 |
| superfície lisa | 0,241 | 0,111 | 0,185 | >0,05 |
| Superfície pegajosa | 0,130 | 0,185 | 0,111 | >0,05 |
| Presença de revestimento visível | 0,074 | 0,166 | 0,070 | >0,05 |
| Odor característico de cabra | 0,259 | 0,259 | 0,259 | >0,05 |
| Odor intenso de cabra | 0,056 | 0,019 | 0,074 | >0,05 |
| Odor Herbal | 0,056 | 0,074 | 0,074 | >0,05 |
| Aroma de Orégano | 0,093 | 0,185 | 0,093 | >0,05 |
| Aroma Fresco | 0,333 | 0,259 | 0,333 | >0,05 |
| Suave | 0,500 | 0,555 | 0,462 | >0,05 |
| Gosto Ácido | 0,315 | 0,241 | 0,444 | >0,05 |
| Gosto Amargo | 0,259 | 0,481 | 0,370 | >0,05 |
| Gosto Salgado | 0,203 | 0,185 | 0,222 | >0,05 |
| Sabor característico queijo de cabra | 0,370 | 0,407 | 0,315 | >0,05 |
| Ranço | 0,148 | 0,055 | 0,130 | >0,05 |
| Sabor ruim | 0,130 | 0,130 | 0,167 | >0,05 |
| Sabor bom | 0,407 | 0,259 | 0,389 | >0,05 |
| Sabor Herbal | 0,037 | 0,074 | 0,037 | >0,05 |
| Sabor de orégano | 0,037 | 0,075 | 0,130 | >0,05 |
| Sabor residual Herbal | 0,074 | 0,093 | 0,074 | >0,05 |
| Textura Firme | 0,500 | 0,389 | 0,481 | >0,05 |
| Textura Borrachenta | 0,111 | 0,093 | 0,093 | >0,05 |
| Textura Macia | 0,444 | 0,593 | 0,463 | >0,05 |
| Textura úmida | 0,278 | 0,333 | 0,296 | >0,05 |
| Textura Seca | 0,130 | 0,093 | 0,167 | >0,05 |
| Revestimento perceptível | 0,000 | 0,019 | 0,007 | >0,05 |

Proporções de seleção dos atributos sensoriais (em valores decimais) para cada concentração de óleo de orégano (1%, 2% e 3%). Teste Q de Cochran, incluindo os valores de p para cada atributo. Identificação de atributos com diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

A partir desses resultados, observa-se que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para a maioria dos atributos sensoriais, isso indica que, dentro das concentrações testadas, a adição do óleo de orégano não modificou de forma relevante a percepção dos provadores, embora uma tendência tenha sido observada no tratamento com 2% de óleo de orégano, que apresentou maior frequência de seleção para o atributo "Aroma de orégano", isso sugere que essa concentração pode ser mais eficaz em realçar o aroma característico do orégano sem mascarar os atributos sensoriais do queijo. Resultados semelhantes foram reportados por Lima *et al.* (2021), que verificaram uma melhora na percepção do aroma em queijos "coalho" revestidos com galactomanana e óleo de capim-limão.

No que tange à textura, o atributo "Textura macia" foi mais frequentemente associado ao tratamento com 2% de óleo de orégano, dados mostrados na Figura 11, embora sem significância estatística, isso indica que essa concentração pode contribuir para uma percepção de maciez no queijo de cabra, possivelmente devido à interação do óleo com a matriz proteica do queijo. O estudo de Pieretti *et al.* (2019) também relataram melhorias na textura de queijos frescos revestidos com alginato contendo óleo essencial de orégano.

Figura 11: Comparação da distribuição das notas para os atributos de aceitação entre os tratamentos.



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

A ausência de diferenças estatisticamente significativas na maioria dos atributos sensoriais avaliados sugere que as concentrações de óleo de orégano utilizadas (1%, 2% e 3%) não alteraram de forma substancial a percepção sensorial do queijo de cabra, contudo as tendências observadas indicam que a concentração de 2% pode ser a mais adequada para realçar atributos positivos como aroma e textura, sem introduzir características indesejáveis. Esses dados estão em consonância com estudos que destacam o potencial de revestimentos com óleos essenciais em melhorar a qualidade sensorial e a vida útil de produtos lácteos .

Em suma, os dados do teste CATA complementam os resultados dos testes de aceitação, fornecendo uma compreensão mais aprofundada sobre como diferentes concentrações de óleo de orégano influenciam as percepções sensoriais do queijo de cabra, essas informações são cruciais para o desenvolvimento de produtos que atendam às expectativas dos consumidores, equilibrando funcionalidade e aceitabilidade sensorial.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de revestimentos comestíveis à base de mucilagem de palma (*Opuntia ficus-indica*) e óleo de orégano demonstrou viabilidade técnica e potencial aplicação na conservação de alimentos, atendendo aos critérios de sustentabilidade, funcionalidade e segurança. A extração da mucilagem apresentou um rendimento de 50,80%, com propriedades físico-químicas adequadas à formação de emulsões estáveis, a formulação dos revestimentos, incorporando glicerina e diferentes concentrações de óleo de orégano (1%, 2% e 3%), resultou em melhorias mensuráveis, incluindo aumento da luminosidade, maior estabilidade do pH e elevação da atividade antioxidante. A formulação RMGO3, contendo 3% de óleo de orégano, destacou-se por apresentar a maior concentração de compostos bioativos (27,37 μM), o que evidencia o potencial funcional do sistema desenvolvido.

A aplicação prática dos revestimentos em queijo de cabra evidenciou a capacidade de manutenção da qualidade sensorial, os testes sensoriais, incluindo avaliação hedônica e análise CATA, indicaram boa aceitação dos produtos, sem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, mas com tendência positiva observada para os tratamentos com 2% e 3% de óleo. Além disso, os bioensaios de toxicidade com *Artemia salina* indicaram que as formulações não são tóxicas, atestando a segurança do uso dos revestimentos em alimentos destinados ao consumo humano.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam o potencial de aproveitamento de recursos naturais subutilizados, como a palma forrageira, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas biodegradáveis ao uso de embalagens plásticas e à aplicação de aditivos sintéticos. Este estudo justifica a continuidade das pesquisas voltadas à otimização do processo de extração em escala industrial, à adaptação dos revestimentos para outros alimentos perecíveis (como frutas e vegetais) e à investigação de sinergias com outros óleos, óleos essenciais, compostos bioativos ou biopolímeros, visando ampliar as aplicações e maximizar os benefícios tecnológicos, sensoriais e funcionais dos sistemas desenvolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, M.; JAVED, A.; RASOOL, K. et al. Antioxidant and antimicrobial potential of oregano essential oil: a comprehensive review. *Food Chemistry Advances*, v. 2, p. 100112, 2023.

AL-HARTHI, S. A.; AL-OMAR, M. S.; AL-ALESH, M. et al. Impact of glycerol on the solubility and stability of bioactive compounds in food and pharmaceutical formulations. *Journal of Functional Foods*, v. 99, p. 105345, 2022.

AL-HIJAZEEN, A. et al. Effect of Oregano Essential Oil and Rosemary Extract Inclusion with Aloe vera Gel on the Quality and Storage Stability of Cooked Chicken Meat. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 24, n. 2, p. 1–10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2021-156>

ALMEIDA, A. et al. Development of edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: characterization and application in food packaging. *Food Hydrocolloids*, v. 107, p. 105992, 2020.

ALVES, K. de A. et al. Efeito da substituição do milho pela palma forrageira sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade da carne de cordeiros terminados em confinamento. *Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science*, Goiânia, v. 24, 2023. DOI: 10.1590/1809-6891v24e-75322E. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/75322>.

ANTONINO, G. B. et al. Effect of edible coatings and films enriched with plant extracts and essential oils on the preservation of animal-derived foods. *Journal of Food Science*, v. 89, n. 1, p. 16894, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16894>.

ARAÚJO, L. R. Influência do pH na estabilidade de revestimentos comestíveis à base de mucilagem vegetal. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE EMBALAGENS, 10., 2019, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2019. p. 89-96.

ARAÚJO, P. R. B. et al. Substituição do milho por palma forrageira em dietas completas para vacas em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Goiânia, v. 33, n. 6, p. 1850-1857, 2004. DOI: 10.1590/S1516-35982004000700024.

ASSIS, A. C. L. de et al. *Opuntia ficus-indica* L. Miller (Palma Forrageira) as an alternative source of cellulose for production of pharmaceutical dosage forms and biomaterials: extraction and characterization. *Molecules*, Basel, v. 24, n. 16, p. 2933, 2019. DOI: 10.3390/molecules24162933. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6680953/>.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – a review. *Food and Chemical Toxicology*, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BARRADAS, T. N.; DE HOLANDA E SILVA, K. G. Nanoemulsions of essential oils to improve solubility, stability and permeability: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 19, n. 2, p. 1153-1171, 2021.

BOURNE, M. C. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. 2. ed. New York: Academic Press, 2002.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.

CARDOSO, P. R.; SILVA, L. M.; COSTA, D. M. et al. Effect of oregano essential oil on the stability of mucilage-based edible coatings. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 55, n. 3, p. 1297-1306, 2020.

CHEIKH ROUHOU, Mohamed et al. Green solid-liquid extraction of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladode dietary fibers. I- optimization, pilot-scale production, and characterization. *Carbohydrate Polymers*, v. 301, p. 120284, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120284>.

CORDOVA-TORRES, A. V. et al. Effect of water deprivation and increasing levels of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera*) cladodes in the diet of growing lambs on intake,

growth performance and ruminal and intestinal morphometric changes. *Livestock Science*, [s.l.], v. 258, p. 104828, 2022. DOI: 10.1016/j.livsci.2022.104828.

Cotrim Santos, B., Eloi da Silva, L., Zanuto, M. E., Souza, C. C. E., & Amparo dos Anjos, D. (2021). Recobrimento comestível a base de palma e óleo essencial de alecrim na qualidade pós-colheita de mangas ‘Tommy Atkins’. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 11(2), 901–909. <https://doi.org/10.18378/REBAGRO.V12I2.8885>

DA PAZ, J. C.; ALMEIDA, S. L.; FIGUEIREDO, P. Q. Avaliação da estabilidade química e toxicidade da mucilagem de palma em formulações alimentícias. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 25, p. e2022103, 2022.

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, v. 17, n. 1, p. 25-39, 2003.

DONSÌ, F.; ANNUNZIATA, M.; VELLI, V.; FERRARI, G. Design of nanoemulsion-based delivery systems of natural antimicrobials: effect of the emulsifier. *Journal of Biotechnology*, v. 5, p. 299-306, 2011.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B. et al. Palma forrageira: recurso estratégico para resiliência climática em regiões áridas. *Agronomy Journal*, v. 114, n. 4, p. 2100-2115, 2022. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agj2.21045>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ELSHEWY, M. E. A. et al. Recovery and characterization of mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes using a multi-technique approach. *Horticulturae*, v. 9, n. 7, p. 736, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070736>.

ELSHEWY, N. A.; SMITH, J. P.; ALMEIDA, C. R. et al. Extraction and characterization of *Opuntia ficus-indica* mucilage: potential applications in food and pharmaceutical industries. *Food Science and Technology*, v. 43, p. 112-125, 2023.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. Tecnologias para o cultivo da palma forrageira em condições semiáridas. Petrolina: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/semiarido>. Acesso em: 15 jul. 2024.

FARIAS, M. G.; SOUSA, F. C.; NUNES, A. R. et al. Valorization of agro-industrial by-products through bioactive compound extraction: a sustainable approach. *Food Research International*, v. 75, p. 123-134, 2015.

FERNÁNDEZ, M. et al. Bioactive properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage for nutraceutical applications. *Food Chemistry*, v. 352, p. 129306, 2021.

FRIZZO, J. C. Influência de aditivos naturais na cromaticidade de filmes biodegradáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 5., 2022, Fortaleza. Anais... Fortaleza: UFRJ, 2022. p. 134-140.

GHERIBI, R. et al. Physicochemical, barrier, antioxidant and antibacterial properties of novel edible films based on *Opuntia ficus-indica* mucilage extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 225, p. 891–899, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.01.146>.

GIRALDO-SILVA, L. et al. *Opuntia ficus-indica* fruit: a systematic review of its phytochemicals and pharmacological activities. *Plants*, Basel, v. 12, n. 3, p. 543, 2023. DOI: 10.3390/plants12030543.

GONZÁLEZ SANDOVAL, D. C. et al. Formulation and characterization of edible films based on organic mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. *Coatings*, v. 9, n. 8, p. 506, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/coatings9080506>.

GONZÁLEZ SANDOVAL, J. A. et al. Formulation and characterization of edible films based on organic mucilage from *Opuntia ficus-indica* and starch. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos, v. 29, n. 4, p. e2019056, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.05619>.

GOUVEIA, R. M. et al. Extraction, characterization and rheological properties of mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes. *Food Hydrocolloids*, v. 118, p. 106751, 2021.

GRECO, L. P.; MARTINS, F. S.; ALMEIDA, R. et al. Hydrophilic properties of Opuntia mucilage and its application in food coatings. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, n. 3, p. 1021-1030, 2021.

GRECO, L. P.; VASCONCELOS, A. T.; RIBEIRO, M. et al. Influence of edible coatings on moisture retention and water activity in dairy products. *Food Chemistry*, v. 415, p. 135719, 2024.

GUPTA, Divyanshu; LALL, Arshiya; KUMAR, Sachin; PATIL, Tejaswini Dhanaji; GAIKWAD, Kirtiraj K. Plant-based edible films and coatings for food-packaging applications: recent advances, applications, and trends. *Food & Function*, v. 15, n. 1, p. 123-145, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D4FB00110A>.

HERNÁNDEZ, Maury S.; LUDUEÑA, Leandro N.; FLORES, Silvia K. Citric acid, chitosan and oregano essential oil impact on physical and antimicrobial properties of cassava starch films. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, v. 5, p. 100307, 2023. DOI: 10.1016/j.carpta.2023.100307.

JOUKI, M.; YAZDI, F. T.; MORTAZAVI, S. A.; KOOCHEKI, A. Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 62, p. 500–507, 2013. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2013.09.031.

KHALIL, N.; SINGH, R.; NADERI, N. et al. Application of edible coatings enriched with essential oils to enhance sensory and shelf-life properties of dairy products. *Food Science and Technology International*, v. 26, n. 8, p. 681-693, 2020.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. 2. ed. New York: Springer, 2018.

LIGUORI, G. et al. Effect of mucilage-based edible coating enriched with oregano essential oil on postharvest quality and sensorial attributes of fresh-cut loquat. *Coatings*, v. 13, n. 8, p. 1387, 2023. DOI: 10.3390/coatings13081387.

LIGUORI, G. et al. Effect of *Opuntia ficus-indica* Mill. mucilage edible coating on quality of fresh-cut cactus pears during cold storage. *Acta Horticulturae*, v. 1343, p. 453–462, 2021. DOI: [10.17660/ActaHortic.2022.1343.57](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1343.57).

LIGUORI, Giorgia; GAGLIO, Raimondo; GRECO, Giuseppe; GENTILE, Carla; SETTANNI, Luca; INGLESE, Paolo. Effect of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on quality, nutraceutical, and sensorial parameters of minimally processed cactus pear fruits. *Agronomy*, v. 11, n. 10, p. 1963, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11101963>.

LIM, S. J.; AN, T. K.; PARK, S. J. et al. Stability of emulsion-based delivery systems: influence of polysaccharide composition on physicochemical properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 203, p. 111747, 2021.

LIMA, A. E. F. et al. Development and application of galactomannan and essential oil-based edible coatings applied to “coalho” cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 45, n. 1, e15091, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15091>.

LÓPEZ-PALACIOS, A.; PEÑA-VALDIVIA, M. Bioactive compounds in forage palm: potential benefits and applications. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, e53910212809, 2020.

LUNA-SOSA, B. et al. Hydroponic cultivation of *Opuntia ficus-indica* Mill. for mucilage extraction. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 50, n. 1, p. 12460, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha50112460>.

LUNA-SOSA, Brenda et al. Extraction and characterization of mucilage from *Opuntia ficus-indica* cultivated on hydroponic system. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 50, n. 1, p. 12460, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15835/nbha50112460>.

LUNA-SOSA, R.; MARTÍNEZ, A. A.; GARCÍA, L. et al. Influence of variety and extraction conditions on the yield of *Opuntia* mucilage. *Journal of Food Research*, v. 10, n. 2, p. 57-72, 2022.

MACEDO, E. H. R. S. G. Desenvolvimento de novos produtos com base no figo-da-índia. 2022. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa, 2022.

MANNAI, F. et al. Encapsulation of sunflower and flaxseed oils using *Opuntia* (Cactaceae) mucilage as a core-shell material through coacervation methods: a study on formulation, characterization, and in vitro digestion. *Food Chemistry*, v. 459, p. 140447, 2024.

MCCLEMENTS, D. J. *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

MEDEIROS, H. S.; OLIVEIRA, F. A.; LOPES, C. B. Effect of mucilage-based coatings on water loss and texture properties of fresh cheese. *Journal of Dairy Science*, v. 107, n. 2, p. 323-335, 2024.

MENSOR, L. L.; MENEZES, F. S.; LEITÃO, G. G. et al. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy Research*, v. 15, n. 2, p. 127-130, 2001.

MIGUEL, Cristina Maira Turim Santos. Óleos essenciais como conservantes naturais em alimentos: avaliação da eficácia e segurança microbiológica. 2022. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

MIYA, S. et al. Correlation of *Opuntia ficus-indica* Mill. and *O. robusta* mucilage yield to different physico-chemical characteristics. *Acta Horticulturae*, v. 1343, p. 497-504, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1343.62>.

MIYA, S. et al. Correlation of *Opuntia ficus-indica* Mill. and *O. robusta* mucilage yield to different physico-chemical characteristics. *Acta Horticulturae*, v. 1343, p. 497–504, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1343.62>.

MORALES-CHÁVEZ, R. et al. Rheological behavior and stability of mucilage-based edible coatings enriched with essential oils. *Journal of Food Science and Technology*, v. 61, p. 123-134, 2024.

MOUSSAOUI, B. et al. Development and characterization of edible biofilms based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* and Locust Bean Gum from Tissemsilt region in Algeria. *South Asian Journal of Experimental Biology*, v. 12, n. 1, p. 117–127, 2022. DOI: 10.38150/sajeb.12(1).p117-127.

NAZZARO, F.; FRATIANNI, F.; DE MARTINO, L.; COPPOLA, R.; DE FEO, V. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, v. 6, n. 12, p. 1451-1474, 2013.

NG, K. S.; LAM, W. Y.; TAN, C. L. et al. Enhancing the antioxidant potential of palm by-product protein hydrolysates through enzymatic modification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 73, n. 5, p. 854-864, 2025.

NUNES, A. P.; SILVA, R. T.; ALMEIDA, C. P. et al. Mechanical properties of edible coatings containing essential oils: effects on food preservation. *Food Science and Technology International*, v. 29, n. 3, p. 215-230, 2023.

OLIVEIRA, J. F. F. de et al. Secondary metabolites in forage palm: benefits for intestinal health and glycemic control. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, e53910212809, 2021.

OLIVEIRA, J. P. et al. Práticas sustentáveis de manejo do solo no cultivo de palma forrageira no Nordeste brasileiro. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 2, p. 300-315, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/caat/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ONISZCZUK, A. et al. *Opuntia* fruits as food enriching ingredient, the first step towards new functional food products. *Molecules*, Basel, v. 25, n. 4, p. 916, 2020. DOI: 10.3390/molecules25040916.

OTÁLORA, M. C. et al. Use of *Opuntia ficus-indica* Fruit Peel as a Novel Source of Mucilage with Coagulant Physicochemical/Molecular Characteristics. *Polymers*, v. 14, n. 18, p. 3832, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14183832>.

OTÁLORA, María Carolina; WILCHES-TORRES, Andrea; CASTAÑO, Jovanny A. Gómez. Extraction and physicochemical characterization of dried powder mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes and *Aloe vera* leaves: a comparative study. *Polymers*, v. 13, n. 11, p. 1689, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13111689>.

PAN, Z. et al. Effects of oregano essential oil Pickering emulsion and ZnO nanoparticles on the properties and antibacterial activity of konjac glucomannan/carboxymethyl chitosan nanocomposite films. *RSC Advances*, v. 14, n. 12, p. 6548–6556, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D3RA07845K>.

PETRY, Jaiane Maiara et al. *Revestimentos comestíveis: tecnologias e aplicações na conservação de alimentos*. 1. ed. São Paulo: Editora AgroTec, 2023.

PEZZANI, R.; VITALINI, S.; IRITI, M. Atividade biológica do óleo de orégano (*Origanum vulgare*): ênfase no carvacrol e timol. In: _____ (Org.). *Compostos bioativos de plantas medicinais: aplicações farmacêuticas e alimentícias*. 1. ed. São Paulo: Editora Planta, 2017. p. 145-162.

PIERETTI, G. G. et al. Effect of an edible alginate coating with essential oil to improve the quality of a Fresh cheese. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 41, e36402, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i1.36402>.

PONTES-QUERO, Gloria María et al. Oregano essential oil micro- and nanoencapsulation with bioactive properties for biotechnological and biomedical applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 9, p. 703684, 2021.

PORTO, D. A. *Desenvolvimento de revestimentos ativos com óleos essenciais: impacto na estabilidade e cor*. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

PROCACCI, Stefania; BOJÓRQUEZ-QUINTAL, Edgardo; PLATAMONE, Giuseppe; MACCIONI, Ornella; VECCHIO, Vincenzo; MORREALE, Vincenzo; ALISI, Claudia; BALDUCCHI, Rossella; BACCHETTA, Laura. Opuntia ficus-indica pruning waste recycling: recovery and characterization of mucilage from cladodes. *Natural Resources*, v. 12, n. 4, p. 91-107, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/nr.2021.124008>.

QUINZIO, A. V.; LOPES, M. S.; RIBEIRO, F. A. Plasticizing effect of glycerol on mucilage-based coatings: implications for food applications. *Carbohydrate Polymers*, v. 192, p. 100-110, 2018.

RAHMAN, M. M. et al. Role of phenolic compounds in human disease: current knowledge and future prospects. *Molecules*, Basel, v. 27, n. 1, p. 233, 2021. DOI: 10.3390/molecules27010233.

Referências

REYES MÉNDEZ, J. et al. Active chitosan/gelatin-based films and coatings containing eugenol and oregano essential oil for fresh cheese preservation. *Journal of Food Process Engineering*, v. 46, n. 7, p. e14396, 2023. DOI: 10.1111/jfpe.14396.

REYES MÉNDEZ, J. et al. Active chitosan/gelatin-based films and coatings containing eugenol and oregano essential oil for fresh cheese preservation. *Journal of Food Process Engineering*, v. 46, n. 7, p. e14396, 2023. DOI: 10.1111/jfpe.14396.

RÍOS-DE-BENITO, L. F. et al. Design of an Active Edible Coating Based on Sodium Caseinate, Chitosan and Oregano Essential Oil Reinforced with Silica Particles and Its Application on Panela Cheese. *Coatings*, v. 11, n. 10, p. 1212, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11101212>.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, M. et al. Enhanced extraction of mucilage from Opuntia ficus-indica cladodes using combined enzymatic and mechanical processes. *Carbohydrate Polymers*, v. 264, p. 118044, 2022.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, S. et al. Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Journal of Food Science*, v. 75, n. 6, p. E347–E352, 2010. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01724.x.

RUIZ-GONZALEZ, Nancy et al. Antimicrobial activity and physicochemical characterization of oregano, thyme and clove leaf essential oils, nonencapsulated and nanoencapsulated, using emulsification. *Applied Food Biotechnology*, v. 6, n. 4, p. 237-246, 2019.

SÁENZ, C. et al. Aplicações nutraceuticas de *Opuntia* spp. em regiões áridas. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v. 21, p. 45-60, 2019.

SÁENZ, C. et al. Evaluation of cactus mucilage as a natural stabilizer in cosmetic formulations. *Journal of Cosmetic Science*, v. 71, n. 4, p. 265-274, 2020.

SAJIMON, A. et al. Incorporating oregano (*Origanum vulgare* L.) Essential oil onto whey protein concentrate based edible film towards sustainable active packaging. *Journal of Food Science and Technology*, v. 60, n. 9, p. 2408–2422, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05763-7>.

SANCHEZ-TAMAYO, M. et al. Influence of composite edible coating of pectin, glycerol, and oregano essential oil on postharvest deterioration of mango fruit. *Food Science & Nutrition*, v. 12, n. 12, p. 10646-10654, 2024. DOI: 10.1002/fsn3.4545. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.4545>.

SANTOS, R. A. et al. Atividade antioxidante em cladódios de *Opuntia ficus-indica*. *Brazilian Journal of Agricultural Research*, v. 56, n. 3, p. 123-134, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagri/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

SHARMA, P. et al. Rheological behavior, antimicrobial and quorum sensing inhibition potential of oregano essential oil nanoemulsion: Implication in food industry. *Frontiers in Nutrition*, v. 7, p. 569913, 2020. DOI: 10.3389/fnut.2020.569913.

SILIOUE, N.; FAWOLE, O. A. Role of essential oils in enhancing mechanical properties of bio-based coatings. *Journal of Food Engineering*, v. 345, p. 111122, 2024.

SILVA, F. M. Revestimentos comestíveis à base de mucilagem: aplicações e desafios. 2. ed. São Paulo: Editora Acadêmica, 2015.

SILVA, M. V. et al. Marcadores genéticos para tolerância à seca em *Opuntia* spp. *Scientia Agricola*, v. 79, n. 1, p. e20220045, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

SILVA, R. T.; MOREIRA, L. G.; SANTOS, M. J. Toxicidade de extratos vegetais e valores de DL50: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Toxicologia*, v. 34, n. 1, p. 45-58, 2021.

SOARES, R. D.; COSTA, T. M.; PINHEIRO, A. C. et al. Biopolymer-based emulsions as delivery systems of antimicrobial compounds: stability and antimicrobial efficacy. *Food Research International*, v. 145, p. 110405, 2021.

SONAR, E.; SHUKLA, V. H.; VAIDYA, V. M.; ZENDE, R. J.; INGOLE, S. D. Nanoparticles of chitosan and oregano essential oil: application as edible coatings on chicken patties. *Journal of Food Science and Technology*, v. 60, n. 1, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373250898_Nanoparticles_of_chitosan_and_oregano_essential_oil_application_as_edible_coatings_on_chicken_patties.

SORTINO, G. et al. Application of *Opuntia ficus-indica* mucilage and Aloe gel-based edible coating to enhance postharvest quality and microbiological aspects of fresh figs (*Ficus carica* L.). *Horticulturae*, v. 10, n. 5, p. 482, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050482>.

SORTINO, G. et al. The use of *Opuntia ficus-indica* mucilage and *Aloe arborescens* as edible coatings to improve the physical, chemical, and microbiological properties of 'Hayward' kiwifruit slices. *Horticulturae*, Basel, v. 8, n. 3, p. 219, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030219>.

SUCH, A.; KOWALSKA, D.; WIŚNIEWSKA, P.; KRAJEWSKA, A.; BIAŁEK, M. Edible chitosan-alginate based coatings enriched with turmeric and oregano additives: Formulation, antimicrobial and non-cytotoxic properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 239, p. 124046, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37356247/>.

SUCH, M. et al. Edible coatings composed of chitosan and sodium alginate enriched with turmeric and oregano additives: Physicochemical and cytotoxic properties. *Polymers*, Basel, v. 15, n. 2, p. 377, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15020377>.

TAZO, T. T. et al. Optimization of Edible Coating Formulation Using Response Surface Methodology for Delaying the Ripening and Preserving Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruits. *Journal of Food Quality*, v. 2023, p. 1–12, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2023/7710980>.

TOSIF, Mansuri M. et al. A comprehensive review on plant-derived mucilage: characterization, functional properties, applications, and its utilization for nanocarrier fabrication. *Polymers*, v. 13, n. 7, p. 1066, 2021.

TSITSOS, Anestis et al. Effect of chitosan and alginate-based edible membranes with oregano essential oil and olive oil in the microbiological, physicochemical and organoleptic characteristics of mutton. *Microorganisms*, v. 11, n. 2, p. 507, 2023.

VALENCIAGA VALDÉS, N.; MARTINS, E. R.; ALVES DA FONSECA, F. S. Toxicological effect of essential oils of plants against *Artemia salina*. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 25, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.70151/berppn28>.

VAN ROOYEN, A.; SMIT, E.; DU TOIT, M. The impact of mucilage-oil interactions on the rheological behavior of edible coatings. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 233, p. 123456, 2024.

VANARAJ, R. et al. A Current Trend in Efficient Biopolymer Coatings for Edible Fruits to Enhance Shelf Life. *Polymers*, v. 16, n. 18, p. 2639, 2024. DOI: [10.3390/polym16182639](https://doi.org/10.3390/polym16182639).

ZHANG, D. et al. Multi-functional konjac glucomannan/chitosan bilayer films reinforced with oregano essential oil loaded β -cyclodextrin and anthocyanins for cheese preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 244, p. 125365, 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125365.

ZHANG, D. et al. Multi-functional konjac glucomannan/chitosan bilayer films reinforced with oregano essential oil loaded β -cyclodextrin and anthocyanins for cheese preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 244, p. 125365, 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125365.