

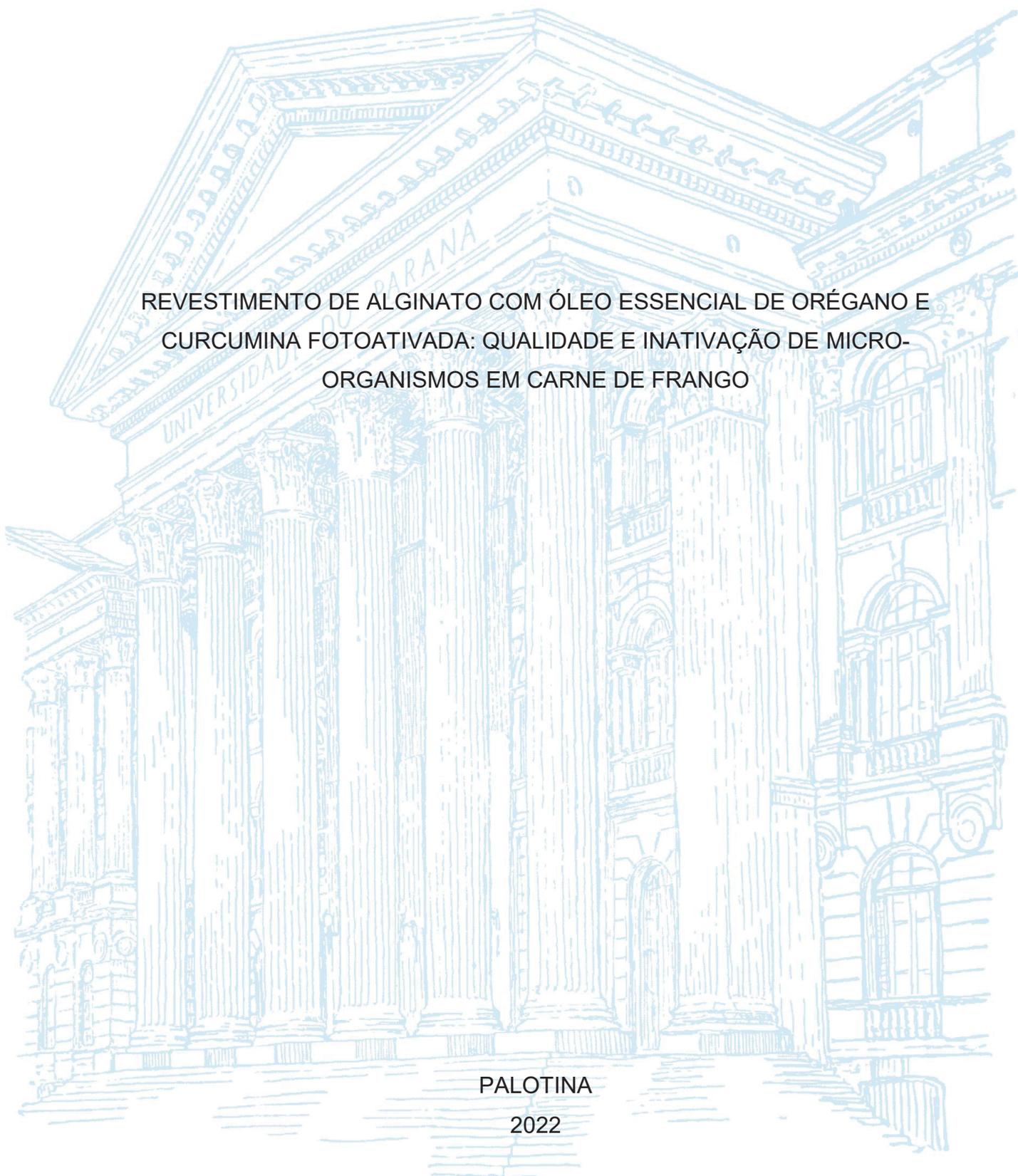
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANE FERREIRA FRIZZO

REVESTIMENTO DE ALGINATO COM ÓLEO ESSENCIAL DE ORÉGANO E
CURCUMINA FOTOATIVADA: QUALIDADE E INATIVAÇÃO DE MICRO-
ORGANISMOS EM CARNE DE FRANGO

PALOTINA

2022



ADRIANE FERREIRA FRIZZO

REVESTIMENTO DE ALGINATO COM ÓLEO ESSENCIAL DE ORÉGANO E
CURCUMINA FOTOATIVADA: QUALIDADE E INATIVAÇÃO DE MICRO-
ORGANISMOS EM CARNE DE FRANGO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência Animal, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Jovanir Inês Müller Fernandes.

Coorientadora: Profa. Dra. Laura Adriane de Moraes Pinto.

PALOTINA

2022

Universidade Federal do Paraná. Sistemas de Bibliotecas.
Biblioteca UFPR Palotina.

F921 Frizzo, Adriane Ferreira
Revestimento de alginato com óleo essencial de orégano
e curcumina fotoativada: qualidade e inativação de microorganismos
em carne de frango / Adriane Ferreira Frizzo.
– Palotina, PR, 2022.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor Palotina, PR, Programa de Pós-Graduação Ciência Animal.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Jovanir Inês Müller Fernandes.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Laura Adriane de Moraes Pinto.

1. Aceitação do consumidor. 2. Compostos bioativos.
3. Qualidade de carne. I. Fernandes, Jovanir Inês Müller.
II. Pinto, Laura Adriane de Moraes. III Universidade Federal
do Paraná. IV. Título.

CDU 636.5

Bibliotecária: Aparecida Pereira dos Santos – CRB 9/1653



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR PALOTINA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA ANIMAL -
40001016077P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIA ANIMAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ADRIANE FERREIRA FRIZZO** intitulada: **Revestimento de alginato com óleo essencial de orégano e curcumina fotoativada: qualidade e inativação de microrganismos em carne de frango**, sob orientação da Profa. Dra. JOVANIR INÊS MÜLLER FERNANDES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

PALOTINA, 07 de Março de 2022.

Assinatura Eletrônica
07/03/2022 17:49:17.0
JOVANIR INÊS MÜLLER FERNANDES
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
07/03/2022 16:49:02.0
JÉSSICA DE OLIVEIRA MONTESCHIO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA)

Assinatura Eletrônica
09/03/2022 11:08:35.0
MAGALI SOARES DOS SANTOS POZZA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ)

Assinatura Eletrônica
07/03/2022 16:29:34.0
LAURA ADRIANE DE MORAES PINTO
Coorientador(a) (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ)

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e aos meus amigos que me ajudaram a passar por cada etapa da minha formação acadêmica até este momento.

Agradeço a Professora Dra. Jovanir Inês Mülller Fernandes, por aceitar a orientação, e a Professora Dra. Laura Adriane de Moraes Pinto, pela coorientação, elaboração e execução de todas as etapas deste projeto. Ao agradecer a elas incluo todos os discentes que atuam no Laboratório de Aves e Suínos do setor Palotina, cruciais para a execução do projeto.

Agradeço a equipe do laboratório da Universidade Estadual de Maringá, que proporcionou a execução das análises microbiológicas nas suas instalações.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná, setor Palotina, e nela aos seus servidores técnicos e administrativos, que prontamente respondiam minhas dúvidas. A coordenadora do Programa de Pós-graduação, Professora Dra. Silvia Cristina Osaki, que teve um papel crucial para a defesa desta dissertação.

Em tempos turbulentos de vida em meio a pandemia e ataques a ciência, agradeço a possibilidade de concluir mais uma etapa da minha formação acadêmica em uma instituição de ensino pública, com um programa de pós-graduação renomado.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Adriane Ferreira Frizzo, filha de Veranil Ferreira dos Santos Frizzo e José Antonio Frizzo, nascida em 10 de setembro de 1995 no município de Ivaiporã, estado do Paraná. Médica veterinária formada no ano de 2018 pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* de Realeza, estado do Paraná. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Paraná – Setor de Palotina na linha de Microbiologia Aplicada à Produção Animal.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito protetor de um revestimento comestível de alginato, óleo essencial de orégano (OEO) e curcumina (CUR) fotoativada em peito de frango desossado armazenado refrigerado por sete dias, e sua influência nas características tecnológicas, microbiológicas e aceitação visual. As características do revestimento foram previamente analisadas quanto a sua atividade inibitória e microestrutura. Os tratamentos foram definidos Con – carne de peito de frango sem revestimento; Std – carne de peito de frango revestida com alginato; Cur – carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR; Óleo – carne de peito de frango com revestimento de alginato + OEO; Blend – carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR + OEO. Os peitos foram expostos em vitrine refrigerada (4°C) com iluminação por 7 dias, simulando as condições do mercado brasileiro. A oxidação lipídica, atividade antioxidante (ABTS e DPPH), cor instrumental, perda por cocção, textura e potencial antimicrobiano foram avaliadas aos 1, 3, 5 e 7 dias de armazenamento. A aceitação visual dos consumidores e sua intenção de compra também foram avaliadas. A avaliação das imagens do revestimento na microscopia demonstrou a formação de filme homogêneo, representado como uma fina camada no corte transversal em todos os tratamentos, e nos tratamentos com óleo essencial foi observado gotículas de óleo. A atividade antioxidante dos tratamentos contendo o OEO e CUR foi superior ($p < 0,05$) aos demais tratamentos, e foi possível observar menor oxidação lipídica ($p < 0,05$) nos resultados obtidos em Óleo, Cur e Blend. Não foram observadas diferenças ($p > 0,05$) entre os tratamentos para os parâmetros de pH, força de cisalhamento, a^* e L^* . Maiores valores de b^* ($p < 0,05$) foram encontrados nos tratamentos com CUR. A perda por cocção foi inferior ($p < 0,05$) nos tratamentos com adição da CUR, não diferindo do tratamento Con. As contagens de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Salmonella* spp. foram inferiores ($p < 0,05$) para Blend, Óleo e Cur, quando comparados aos demais tratamentos. Os consumidores preferiram os peitos de frango do tratamento Óleo. No entanto, a intenção de compra foi superior para Blend, não diferindo do tratamento Con. O uso da técnica de inativação fotodinâmica de microrganismos associada ao revestimento comestível com óleo essencial e curcumina apresenta resultados promissores quando utilizados em produtos estocados ou em exposição, possuindo potencial atividade antioxidante, contribuindo para a proteção contra a oxidação lipídica, além de demonstrar efetividade na eliminação de bactérias patogênicas e indicadoras, contribuindo positivamente com a aceitação visual da carne de frango e na intenção de compra pelos consumidores.

Palavras-chave: Aceitação do consumidor. Compostos bioativos. IFDMO. Qualidade de carne.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the protective effect of an edible coating of alginate, oregano essential oil (OEO) and photoactivated curcumin (CUR) on boneless chicken breast stored refrigerated for seven days, and its influence on the technological, microbiological and visual acceptance characteristics. The coating characteristics were previously analyzed in terms of their inhibitory activity and microstructure. The treatments were defined Con – uncoated chicken breast meat; Std – chicken breast meat coated with alginate; Cur – chicken breast meat with alginate coating + CUR; Oil – chicken breast meat with alginate coating + OEO; Blend – chicken breast meat with alginate coating + CUR + OEO. The breasts were exposed in a refrigerated display case (4°C) with lighting for 7 days, simulating the conditions of the Brazilian market. Lipid oxidation, antioxidant activity (ABTS and DPPH), instrumental color, cooking loss, texture and antimicrobial potential were evaluated at 1, 3, 5 and 7 days of storage. Consumers' visual acceptance and purchase intent were also evaluated. The evaluation of the coating images in microscopy showed the formation of a homogeneous film, represented as a thin layer in the cross section in all treatments, and in the treatments with essential oil, oil droplets were observed. The antioxidant activity of treatments containing OEO and CUR was higher ($p < 0.05$) than the other treatments, and it was possible to observe lower lipid oxidation ($p < 0.05$) in the results obtained in Oil, Cur and Blend. No differences ($p > 0.05$) were observed between treatments for the parameters of pH, shear force, a^* and L^* . Higher values of b^* ($p < 0.05$) were found in treatments with CUR. The cooking loss was lower ($p < 0.05$) in the treatments with the addition of CUR, not differing from the Con treatment. The counts of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. were lower ($p < 0.05$) for Blend, Oil and Cur, when compared to the other treatments. Consumers preferred the Oil treatment chicken breasts. However, the purchase intention was higher for Blend, not differing from the Con treatment. The use of the photodynamic inactivation of microorganisms technique associated with the edible coating with essential oil and curcumin presents promising results when used in stored or exposed products, having potential antioxidant activity, contributing to the protection against lipid oxidation, in addition to demonstrating effectiveness in the elimination of pathogenic and indicator bacteria, contributing positively to the visual acceptance of chicken meat and the purchase intention by consumers.

Keywords: Consumer acceptance. Bioactive compounds. PDIM. Meat quality.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS QUE FORMAM OS FILMES E REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS.....	19
FIGURA 2 - ESTRUTURA QUÍMICA DO CARVACROL.....	22
FIGURA 3 - ESTRUTURA QUÍMICA DA CUR.....	23
FIGURA 4 – DIAGRAMA DE JABLONSK: ESQUEMA DE TRANSFERÊNCIA DE ELÉTRONS PELOS MECANISMOS TIPO I E TIPO II COM PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO SINGLETO, ÂNIONS SUPERÓXIDOS E HIDROXILAS.	25
FIGURA 5 - DISPOSITIVO DE LED UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS <i>IN VITRO</i>	37
FIGURA 6 - FOTOGRAFIAS DOS TRATAMENTOS CON (A), STD (B), CUR (C), ÓLEO (D) E BLEND (E).	38
FIGURA 7 - VISÃO GERAL DA PREPARAÇÃO DA AMOSTRA E PROCEDIMENTO DE INOCULAÇÃO.	42
FIGURA 8 - PLACAS COM CONTAGEM BACTERIANA (A – Staphylococcus aureus ATCC 25923; B – Escherichia coli ATCC 25922; C – Salmonella Thyphimurium ATCC 14028).....	42
FIGURA 9 - MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS DE VARREDURA DOS FILMES (A e E) STD, (B e F) ÓLEO, (C e G) CUR e (D e H) BLEND.....	49
FIGURA 10 - MICROGRAFIAS DA SEÇÃO TRANSVERSAL DOS PEITOS SEM E COM COBERTURA. (A) CON, (B) STD, (C) CUR, (D) ÓLEO E (E) BLEND.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 1 - INTERAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS E O TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA ELIMINAÇÃO DOS RADICAIS ABTS (%) E DPPH (%) DE CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, DURANTE O ARMAZENAMENTO.54
- GRÁFICO 2 - INTERAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS E O TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA (TBARS) EXPRESSO COMO MG MALONALDEÍDO/KG DE CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, DURANTE O ARMAZENAMENTO.55
- GRÁFICO 3 - INTERAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS E O TEMPO DE ARMAZENAMENTO NO CRESCIMENTO MICROBIANO EM CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA DURANTE O ARMAZENAMENTO.61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - QUESTIONÁRIO SOBRE AS PREFERÊNCIAS DO CONSUMIDOR E HÁBITOS DE CONSUMO (N=221 CONSUMIDORES).....	44
TABELA 2 - EFEITO INIBITÓRIO IN VITRO DA CUR E DO OEO COM E SEM APLICAÇÃO DE IFDMO.....	47
TABELA 3 - ATIVIDADE ANTIOXIDANTE ABTS, ELIMINAÇÃO DE RADICAIS DPPH E OXIDAÇÃO LIPÍDICA DE CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA. .	53
TABELA 4 - EFEITO DO REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, NAS MUDANÇAS DE COR DA CARNE DE PEITO DE FRANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO.....	58
TABELA 5 - EFEITO DO REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, OS PARÂMETROS DE QUALIDADE PH, PERDAS POR COCÇÃO E FORÇA DE CISALHAMENTO EM CARNE DE PEITO DE FRANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO.	58
TABELA 6 - RESULTADOS DE CONTAGEM MICROBIANA NOS TRATAMENTOS E NOS DIAS DE ARMAZENAMENTO.....	60
TABELA 7 - RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO SOBRE PREFERÊNCIAS DO CONSUMIDOR E HÁBITOS DE CONSUMO (N=221 CONSUMIDORES).....	63
TABELA 8 - EFEITO DO REVESTIMENTO E DA INCLUSÃO DA CUR E OEO NA ACEITAÇÃO DE PEITO DE FRANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO PELO CONSUMIDOR (N=221 CONSUMIDORES).....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 CARACTERÍSTICAS DA CARNE DE FRANGO	17
2.2 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS	18
2.3 USO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM ALIMENTOS	20
2.3.1 Óleo Essencial de Orégano.....	22
2.4 CURCUMINA	23
2.5 INATIVAÇÃO FOTODINÂMICA DE MICRO-ORGANISMOS.....	24
REFERÊNCIAS	28
3 OBJETIVOS	31
3.1 OBJETIVO GERAL	31
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4 CAPÍTULO I – REVESTIMENTO DE ALGINATO COM ÓLEO ESSENCIAL DE ORÉGANO E CURCUMINA FOTOATIVADA: QUALIDADE E INATIVAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS EM CARNE DE FRANGO	32
4.1 INTRODUÇÃO	32
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.2.1 Materiais.....	34
4.2.2 Equipamentos e Especificações.....	35
4.2.3 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Efeito da Inativação Fotodinâmica em Carne de Frango	36
4.2.3.1 Caracterização dos revestimentos e preparo das amostras	37
4.2.3.2 Atividade antioxidante (DPPH e ABTS)	38
4.2.3.3 Oxidação lipídica	39
4.2.3.4 Cor instrumental	39
4.2.3.5 Medições de pH.....	40
4.2.3.6 Perda por cocção e força de cisalhamento.....	40
4.2.3.7 Análises microbiológicas	40
4.2.4 Aceitação Visual e Intenção de Compra.....	43
4.2.5 Análises Estatísticas	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46

5.1 POTENCIAL DE INATIVAÇÃO MICROBIANA <i>IN VITRO</i>	46
5.2 INATIVAÇÃO FOTODINÂMICA EM CARNE DE FRANGO	47
5.2.1 Caracterização do Revestimento	47
5.2.2 Atividade Antioxidante e Oxidação Lipídica.....	51
5.2.3 Cor Instrumental	55
5.2.4 Medições de pH, Força de Cisalhamento e Perda por Cocção.....	56
5.2.5 Análises Microbiológicas	59
5.2.6 Aceitação Visual do Consumidor e Intenção de Compra	62
6 CONCLUSÃO	64
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Considerada uma opção muito versátil para a alimentação humana, a carne de frango possui umidade em torno de 60% a 80%, teor de proteína entre 15% a 25%, vitaminas do complexo B e é acessível e muito bem aceita pelos consumidores de diferentes classes (SILVA, BUENO e ROCHA, 2019). Segundo o Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos em Pecuária, a carne de frango é a mais consumida pelos brasileiros desde 2007 (DEPEC, 2019). Ainda, 80% da população brasileira consome carne de frango no mínimo 2 a 3 vezes por semana (ABPA, 2021). A predileção é pelos cortes de frango, sendo o peito o corte preferido dos brasileiros (SILVA, BUENO e ROCHA, 2019).

A carne de frango apresenta pH relativamente neutro e alta atividade de água, o que contribui para a multiplicação de micro-organismos e a perecibilidade (MEHDIZADEH e LANGROODI, 2019; KATIYO et al., 2020). Assim, as condições de obtenção da carne e a forma de conservação são fatores determinantes para manutenção de sua vida de prateleira (KATIYO et al., 2020).

Visando o retardamento da atividade microbiana, das reações químicas e enzimáticas, métodos para a conservação como congelamento (SCATOLINI et al., 2011), resfriamento (KATIYO et al., 2020), desidratação e defumação (SCHMIDT et al., 2017), estresse causado por diminuição do pH (JASPAL et al., 2021), irradiação (HASSANZADEH et al., 2017), alta pressão hidrostática (CAP et al., 2020), nanotecnologia (LOVISON et al., 2017), ultrassom (GÓMEZ-SALAZAR et al., 2021), compostos bioativos (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021), inativação fotodinâmica de micro-organismos (GHATE, ZHOU e YUK, 2019), entre outros, são empregados para o prolongamento da qualidade da carne de frango e seus produtos.

Um dos métodos amplamente empregados na conservação de carnes é a refrigeração. Entretanto, temperaturas baixas não impedem o crescimento microbiano, quando utilizada de forma isolada apenas retardam a velocidade de proliferação, resultando em uma vida de prateleira reduzida, visto que, a deterioração microbiana ocorre especialmente pelos micro-organismos psicrotóxicos e leveduras, que causam alterações visuais e odoríferas (FRANCO e LANDGRAF, 2008; GHATE, ZHOU e YUK, 2019). Além disso, a carne de frango apresenta em

sua composição química, um alto teor de ácidos graxos insaturados, que podem sofrer processos de oxidação (KATIYO et al., 2020).

Processos tecnológicos não-térmicos, como ultrassom, campos elétricos pulsados, luz ultravioleta e inativação fotodinâmica, vêm sendo estudados em alimentos como aliados aos tradicionais métodos de conservação já empregados para manutenção e prolongamento da qualidade, podendo ser utilizados em substituição ou complemento na conservação dos alimentos (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

A manutenção do frio na cadeia de alimentos é um dos métodos mais utilizados para a conservação dos alimentos. Porém, baixas temperaturas não impedem o crescimento microbiano, apenas reduzem a velocidade de proliferação. Além disso, micro-organismos psicrófilos (por exemplo, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas* spp.), que causam doenças e deterioram os alimentos, conseguem manter o seu crescimento em condições de resfriamento (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

Juntamente aos fatores associados a conservação da carne de frango, a aparência e o odor são os fatores que mais influenciam na aceitabilidade do consumidor durante a compra, uma vez que estes são frequentemente associados a qualidade do produto (FRANCO e LANDGRAF, 2008).

Neste contexto, aumentar a vida de prateleira da carne de frango resfriada é um desafio crescente, para tal, revestimentos comestíveis, como o alginato (polissacarídeo), vem sendo aplicados buscando associar proteção contra influências físicas, químicas e biológicas, a outros ganhos tecnológicos como redução da desidratação, perda de massa, retardo na oxidação dos lipídios, visando a manutenção da qualidade (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

Visando potencializar os benefícios dos revestimentos, compostos com potencial bioativo têm sido empregados nessas matrizes (CORRÊA et al., 2020; VIEIRA et al., 2019). Óleos essenciais são conhecidos por possuírem propriedades antimicrobianas e antioxidantes, desejáveis na preservação da carne evitando a deterioração durante o seu período de armazenamento (SIMÕES e SPITZER, 2000). Dentre os diversos óleos essenciais empregados na área alimentícia, o óleo essencial de orégano (OEO) é conhecido por seu potencial antioxidante (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021) e atrativa palatabilidade em baixas concentrações

(LOVISON, 2017). Possui como componente majoritário o carvacrol, responsável por sua atividade antibacteriana e antifúngica (CUI et al., 2019).

A curcumina (CUR) é amplamente utilizada como tempero no preparo de alimentos (SARAIVA et al., 2021). A CUR é obtida dos rizomas da planta *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae), o açafrão. Possui propriedades antimicrobianas (CORRÊA et al., 2020), antioxidantes e anti-inflamatórias (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021), e é considerada segura pelo órgão de saúde dos Estados Unidos da América (USDA, 2021). Revestimentos comestíveis em conjunto com compostos bioativos podem contribuir para o aumento da vida de prateleira e consequentemente aceitação da carne de frango refrigerada pelos consumidores (FERNÁNDEZ-PAN, CARRIÓN-GRANDA e MATÉ, 2014).

Assim, revestimentos comestíveis em conjunto com compostos bioativos associados a uma nova tecnologia não-térmica de conservação, podem contribuir para o aumento da vida de prateleira e consequentemente aceitação da carne de frango refrigerada pelos consumidores (FERNÁNDEZ-PAN, CARRIÓN-GRANDA e MATÉ, 2014).

Dessa forma, o efeito protetor de um revestimento comestível de alginato, OEO e CUR fotoativada em peito de frango desossado foi investigado neste trabalho. A influência nas características tecnológicas, microbiológicas e sensoriais durante o armazenamento refrigerado sob condições comerciais foram avaliados no período de sete dias. Assim como, as características de potencial de inibição e a microestrutura da embalagem também foram avaliadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DA CARNE DE FRANGO

A produção de carne de frango no Brasil no ano de 2020 foi de 13,845 mil toneladas destinadas para o mercado interno (69%) e para a exportação (31%), registrando o maior valor na série histórica de dez anos (ABPA, 2021). No Brasil, a carne de frango é uma das mais apreciadas pelos consumidores, e o consumo *per capita* no ano foi de 45,27 kg/habitante no ano de 2020, com predileção aos cortes (ABPA, 2021), especialmente o peito de frango (SILVA, BUENO e ROCHA, 2019).

A carne de frango, atualmente, é a mais consumida no mundo, cerca de 23,6 kg/habitante em 2020. Até 2018, a carne suína era a mais consumida, representando 42,9% do consumo mundial. Em decorrência da peste suína na China, maior produtor e consumidor de carne suína, a oferta e consumo sofreram um grande impacto. As consequências dessa crise sanitária devem se estender por um longo período, mas criam grandes oportunidades para alavancar o comércio e consumo da carne de frango, devido ao ciclo curto de produção e a grande eficiência da cadeia na obtenção de grandes volumes, compatíveis com a necessidade mundial de proteína de origem animal (CNA, 2020; ABPA, 2021).

A boa aceitabilidade da carne de frango é atribuída a uma série de fatores, tais como uma opção mais saudável de fonte de proteína, boas propriedades nutricionais, custo relativamente mais baixo e a sua versatilidade de preparo, além do baixo teor de gordura, principalmente saturada, e menos colesterol quando comparada às carnes bovina e suína (KATIYO et al. 2020).

Devido as suas características intrínsecas de pH relativamente neutro e alta atividade de água (0,96 – 0,98), as carnes se tornam um ambiente favorável a permanência e multiplicação de micro-organismos, se tornando altamente perecível e suscetível a deterioração microbiana (BRITO e COELHO, 2021; KATIYO et al., 2020). A deterioração microbiana na carne de frango ocorre principalmente pela ação de bactérias psicrotóxicas, uma vez que mantém seu metabolismo em temperaturas de refrigeração (FRANCO e LANDGRAF, 2008).

A produção de frangos e as condições sanitárias nesta etapa impactam diretamente na obtenção de uma carne de qualidade e que não ofereça risco à saúde pública (BRITO e COELHO, 2021). O controle da prevalência de patógenos

na indústria avícola é uma ferramenta para que a carne obtida seja segura. Na indústria, o controle dos processos, como a evisceração e o pré-resfriamento, é crucial. Deve-se impedir o contato de micro-organismos presentes no intestino das aves com a carne e promover um resfriamento rápido das carcaças, evitando a proliferação de micro-organismos (BRITO e COELHO, 2021).

Além das condições intrínsecas, o modo de obtenção da carne de frango e a forma de conservação da carne influenciam diretamente na sua vida de prateleira, (KATIYO et al., 2020). Para carne de frango, os métodos de conservação que empregam frio (resfriamento e congelamento) são os mais comumente utilizados pela indústria. Ainda em conjunto com os métodos de conservação, as embalagens são importantes coadjuvantes para extensão da vida de prateleira da carne e dos produtos cuja base é a carne (KATIYO et al. 2020).

2.2 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

Revestimentos são finas barreiras adicionadas aos alimentos de forma a envolvê-los completamente, e reforçar ou repor as barreiras naturais. Podem ser comestíveis ou não, devendo estes serem removidos antes do consumo do alimento. Se comestíveis, não devem afetar negativamente as características sensoriais do alimento. Quanto ao aspecto físico, o uso de revestimentos melhora a aparência dos alimentos, minimizando o desenvolvimento de danos físicos e melhorando o brilho superficial (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

Uma diversidade de materiais é utilizada no revestimento de alimentos. Em destaque, os compostos comestíveis mais reportados na literatura estão ilustrados na Figura 1.

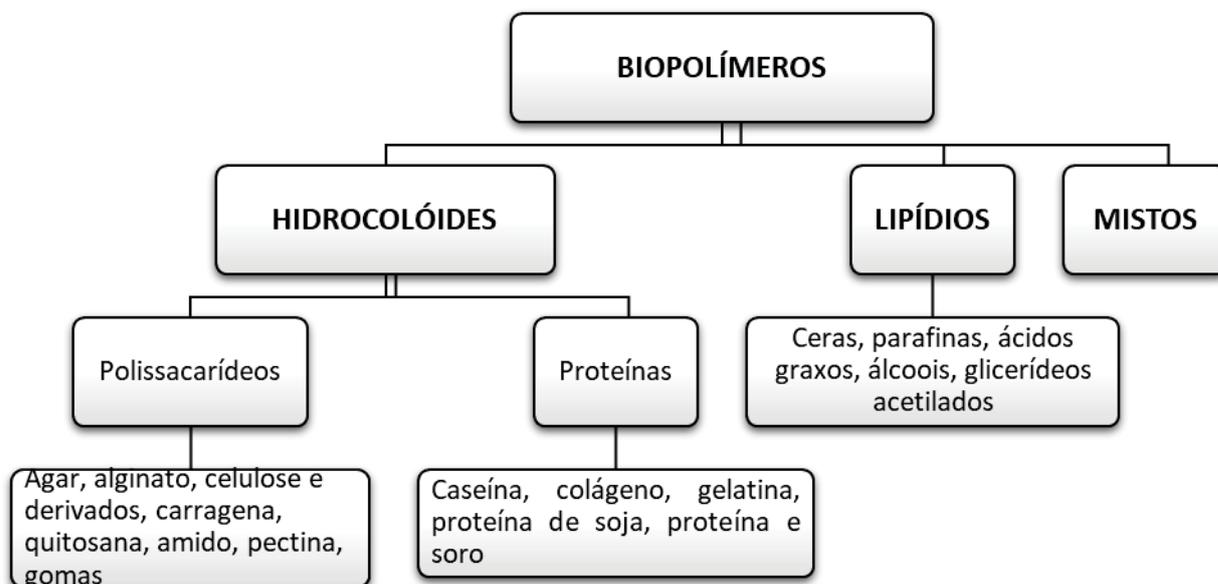


FIGURA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS QUE FORMAM OS FILMES E REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS.

FONTE: PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018.

O alginato é um polissacarídeo derivado de espécies de algas marrons (*Laminaria hyperborean*, *Macrocystis pyrifera* e *Ascophyllum nodosum*). Também pode ser sintetizado por bactérias, como *Azotobacter vinelandii* e cepas mucosas de *Pseudomonas aeruginosa*, na forma de exopolissacarídeo (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018). Encontra-se no grupo dos hidrocolóides, juntamente com as proteínas. Este polissacarídeo é denominado como polímero hidrofílico, formados por moléculas grandes, com muitos grupamentos hidroxila. Devido suas características e hidrofiliçidade, não controlam a migração de vapor de água dos alimentos, porém a umidade perdida é relacionada primeiramente ao filme. Em geral, os polissacarídeos são utilizados como uma barreira de gás. Ao contrário dos filmes e revestimentos lipídicos, os hidrocolóides possuem sabor neutro (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

A estrutura molecular do alginato é composta por copolímeros binários lineares não-ramificados de ácido beta-D-manurônico (M) e resíduos de ácido alfa-L-glucorônico (G), através de ligações glicosídicas 1-4. A razão de resíduos de M e G afeta as propriedades físicas e químicas do alginato, como a viscosidade e a espessura do revestimento no produto. Os alginatos provenientes de bactérias

possuem grupos O-acetil e peso molecular superior aos provenientes de algas (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

O ácido algínico foi descoberto e isolado pela primeira vez em 1881 pelo Dr. E. C. C. Stanford (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018). Os sais do ácido algínico possuem propriedades diferentes entre si, sendo que o ácido algínico e alginato de cálcio são insolúveis em água, diferentemente dos alginatos de potássio, sódio e amônio (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018). A solubilidade dos alginatos em baixos pH (menor que 4-5) é limitada (USDA, 2015).

Para a produção de biofilmes, destaca-se o alginato de sódio como sendo o mais utilizado para recobrimento de alimentos (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018). Os filmes comestíveis podem ser utilizados em paralelo com substâncias antimicrobianas e antioxidantes, como exemplo os óleos essenciais. No entanto, mesmo com as boas propriedades conferidas pela presença dos componentes antioxidantes, a utilização destes compostos não é mais amplamente utilizada devido a possíveis modificações que podem ser causadas por sua adição, já que tais compostos podem atribuir coloração e sabor, sendo este último ainda mais impactante no caso dos óleos essenciais, o tornando um fator limitante devido seu sabor acentuado (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

Os filmes e revestimentos biodegradáveis promovem uma barreira física no alimento, mesmo assim, a utilização de embalagens não biodegradáveis ainda pode ser necessária para a manutenção das condições higiênicas e sanitárias (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

2.3 USO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM ALIMENTOS

Os óleos essenciais são substâncias que podem ser encontradas em várias partes das plantas, como raízes, cascas, caules, folhas, seiva, flores e frutas (CUI et al., 2019). São produtos do metabolismo secundário das plantas e são definidos como uma mistura de substâncias voláteis, lipofílicas, odoríferas e líquidas (CUI et al., 2019), sendo considerados seguros para consumo humano (GRAS, *generally recognized as safe*) (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021). Na composição dos óleos essenciais existem alguns compostos que são classificados como majoritários, devido a sua maior concentração e atividade no metabolismo da planta.

As substâncias que compõem quimicamente os óleos essenciais na sua maioria são classificados como terpenos e seus derivados (como exemplo o carvacrol e o timol), mas também possuem aldeídos, cetonas, álcoois e fenóis. A quantidade de determinado componente depende de diversos fatores, como a espécie, a parte da planta que foi extraído, a época da colheita, a origem geográfica e também o método de extração do óleo essencial (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021).

O principal método para a extração dos óleos essenciais em escala comercial é a destilação a vapor, que consiste no arraste de água em um sistema fechado, onde o vapor quando em contato com a amostra ocasiona a quebra da estrutura celular da planta liberando os compostos aromáticos (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021).

Dentre às atividades biológicas que os óleos essenciais possuem, a atividade antimicrobiana pode ser classificada em geral e específica, contra, por exemplo, bactérias (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella Typhimurium*) e leveduras (*Saccharomyces cerevisea*) (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021). De forma geral, acredita-se que a atividade antimicrobiana seja decorrente de um conjunto de mecanismos desencadeados quando o óleo essencial entra em contato com os micro-organismos (ação na membrana celular). Devido ao seu caráter hidrofóbico, os óleos essenciais se acumulam nas proximidades da membrana celular levando a perda da sua função e até mesmo a ruptura. Assim, diferentes funções na célula ficam comprometidas devido a alteração na permeabilidade da membrana, extravasamento de substâncias e inibição de ciclos de geração de energia (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021).

Atualmente existe uma tendência mundial crescente da consciência ambiental e geração de resíduos sólidos. Esse novo perfil consumidor mais preocupado com questões ambientais também tem se preocupado com a qualidade e a saudabilidade dos alimentos que escolhe, buscando por produtos mais saudáveis sem adição de aditivos sintéticos (VIEIRA et al., 2019). O uso de óleos essenciais e embalagens ativas para a manutenção da qualidade e conservação dos alimentos vem sendo estudada em diferentes países e matrizes alimentares, como queijos (SARAIVA et al., 2021), peixes (VIEIRA et al., 2019), carne de ovelha (MONTESCHIO et al., 2021) e carne de frango (MEHDIZADEH e LANGROODI, 2019).

Um aspecto importante a ser ressaltado é que devido a sua característica natural de substância odorífera, a escolha da substância a ser utilizada deve ser compatível

com a matriz alimentar estudada, pois em altas concentrações a aceitação sensorial do consumidor pode ficar comprometida.

2.3.1 Óleo Essencial de Orégano

O orégano (*Origanum vulgare* L.) é um arbusto endêmico, da família *Lamiaceae* nativo das regiões montanhosas do sul da Europa e da Ásia, que possui 260 gêneros e 7000 espécies (CUI et al., 2019). No Brasil a espécie é cultivada principalmente nas regiões sul e sudeste (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021).

O óleo essencial de orégano (OEO) apresenta 15 tipos de componentes em sua constituição, sendo eles 96,512% na ordem decrescente: carvacrol (64,86%), *p*-cimeno (8,354%), etil-caprato (4,322%), timol (4,223%), linalol (4,031%), γ -terpineno (2,395%), mirceno (1,923%), ledol (1,811%), β -bisaboleno (1,580%), α -pineno (1,542%), α -terpineno (0,529%), camfeno (0,326%), β -pineno (0,289%), (E)- β -farneseno (0,164%) e cineola (0,163%) (CUI et al., 2019). A estrutura química do seu componente majoritário está apresentada na Figura 2.

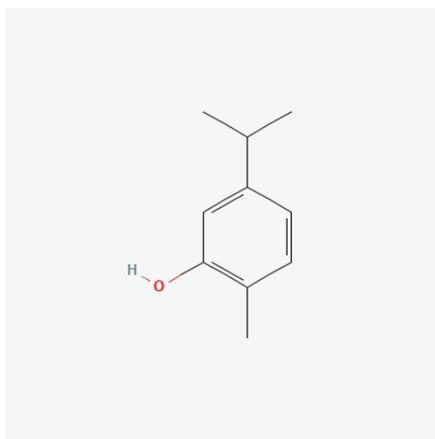


FIGURA 2 - ESTRUTURA QUÍMICA DO CARVACROL.

FONTE: Pubchem, 2021.

Os principais compostos relacionados a atividade antioxidante e antimicrobiana do OEO são os fenólicos. Já foi identificada atividade antimicrobiana do composto timol contra cepas de *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typhimurium e leveduras como *Saccharomyces cerevisiae*. A atividade antioxidante do composto fenol é relacionada a doação do átomo de hidrogênio do grupo hidroxila ao radical livre, impedindo a oxidação de outras substâncias (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021). A ação antimicrobiana do OEO é

oriunda do dano causado a membrana celular, promovendo extravasamento do conteúdo e com isso aumento da condutividade da membrana, dificultando o metabolismo energético da célula, com inibição do ciclo do ácido cítrico, e alterações no material genético, como diminuição da expressão de genes que codificam fatores de virulência e a alteração da estrutura do DNA, conforme demonstrado por autores que avaliaram o seu uso contra cepas de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina (MRSA) (CUI et al., 2019).

Alguns fatores devem ser levados em consideração no emprego do OEO em alimentos e na composição de filmes ou revestimentos ativos, tais como, certa instabilidade na presença de altas temperaturas, pressão, luz ou oxigênio (PAULO, BALAN e SHIRAI, 2021).

2.4 CURCUMINA

A curcumina (CUR) (C₂₁H₂₀O₆; 1,7-bis-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadiene-3, 5-dione) é extraída dos rizomas da *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae), o açafrão (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021). Sua estrutura química está apresentada na Figura 3.

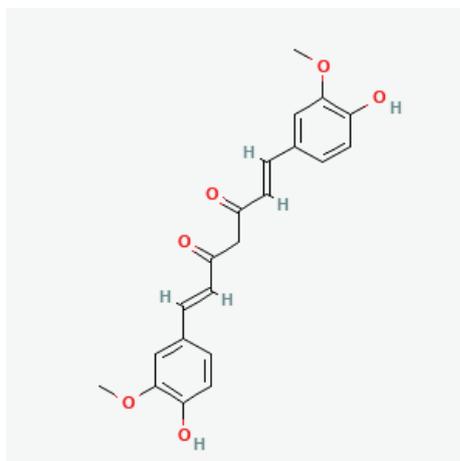


FIGURA 3 - ESTRUTURA QUÍMICA DA CUR.

FONTE: Pubchem, 2021.

A CUR possui propriedades favoráveis para o uso em alimentos. Entretanto, individualmente ela possui baixa biodisponibilidade e estabilidade (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021).

A CUR tem um peso molecular de 368,385 g/mol, é sólida em temperatura ambiente, tem baixa solubilidade em água e boa solubilidade em solventes polares, como o etanol. O seu ponto de fusão é 183°C, e em temperaturas elevadas (>190°C) apresenta degradação hidrolítica, ou seja, é instável em altas temperaturas. A estabilidade em soluções aquosas é pH-dependente, sendo o ponto ótimo entre 1 e 6, fora dessa faixa, é alterada para a forma carregada, que apresenta uma coloração vermelha. A degradação da CUR também é acelerada na exposição à luz solar (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021).

Os filmes cuja base são proteínas e polissacarídeos, principalmente, possuem uma maior hidrofiliabilidade. Dessa forma, a solubilidade à água e permeabilidade ao vapor de água são maiores e, nesse caso, é uma característica indesejável na conservação de alimentos, pois aumenta a perda de umidade e também permite trocas gasosas mais facilmente. Assim, o uso de substâncias hidrofóbicas, como a CUR e os óleos essenciais, podem contribuir para a diminuição dessas características indesejáveis e contribuir para o prolongamento da vida de prateleira (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021).

2.5 INATIVAÇÃO FOTODINÂMICA DE MICRO-ORGANISMOS

A Inativação Fotodinâmica de Micro-organismos (IFDMO) é uma modalidade terapêutica que vem sendo empregada principalmente na área de medicina, para inativação de patógenos ou de células tumorais. Entretanto, recentemente passou a ser utilizada também no controle de micro-organismos em diferentes matrizes alimentares (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

O princípio da IFDMO consiste na interação simultânea de substâncias chamadas fotossensibilizadores (FS), luz em um comprimento de onda específico e oxigênio molecular (CORRÊA et al., 2020). O FS é ativado por luz em um comprimento de onda adequado, desencadeando uma série de reações moleculares citotóxicas (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

Os FSs podem estar naturalmente presentes nas células (FS endógenos, como as porfirinas) ou podem ser obtidos em fontes externas (FS exógenos) (GHATE, ZHOU e YUK, 2019). Quando um FS absorve os fótons de luz visível incidente em comprimento de onda adequado, passam para um estado excitado de alta energia.

Ao retornar ao estado fundamental (não-ativo), o FS transfere energia para moléculas citoplasmáticas vizinhas, principalmente de oxigênio molecular ($^3\text{O}_2$), gerando espécies reativas de oxigênio (EROS): oxigênio singleto ($^1\text{O}_2$), radical hidroxila (OH^\cdot), superóxido (O_2^\cdot) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2). De todos, o $^1\text{O}_2$ é o mais destrutivo ao reagir com biomoléculas e estruturas celulares dos micro-organismos (SARAIVA et al., 2021).

Os mecanismos de formação de EROS estão ilustrados de acordo com o Diagrama de Jablonsk (Figura 4).

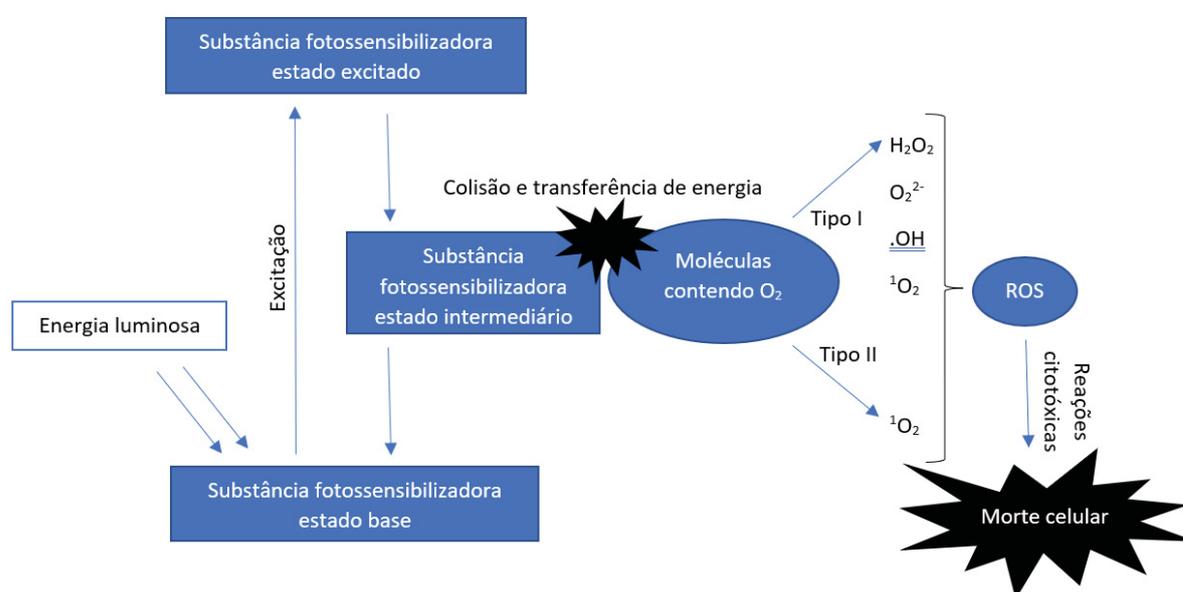


FIGURA 4 – DIAGRAMA DE JABLONSK: ESQUEMA DE TRANSFERÊNCIA DE ELÉTRONS PELOS MECANISMOS TIPO I E TIPO II COM PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO SINGLETO, ÂNIONS SUPERÓXIDOS E HIDROXILAS.

FONTE: GHATE, ZHOU e YUK, 2019.

A cadeia de produção de EROS pode ocorrer de duas formas denominadas reação tipo I e reação tipo II. No caso de células microbianas as duas formas ocorrem simultaneamente, sendo que a forma dominante depende da concentração de FS, oxigênio molecular e até mesmo do microrganismo específico. Na reação tipo I, o FS aceita um elétron de uma molécula vizinha, formando um ânion e um substrato cátion desencadeando novas reações. Na reação tipo II, o FS colide com uma molécula de oxigênio, produzindo o $^1\text{O}_2$ (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

A membrana celular dos micro-organismos é o principal alvo dos EROS. Além disso, estudos demonstram níveis elevados de oxidação do DNA, perda da atividade

da bomba de efluxo, o comprometimento do sistema de captação de glicose, desorganização de cromossomos e ribossomos em micro-organismos. A perda de atividade da bomba de efluxo e de captação de glicose pode estar relacionada a danos em enzimas como ATPase, NADH desidrogenase, lactato desidrogenase e enzimas associadas ao sistema fosfoenolpiruvato fosfotransferase (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

Os estudos sobre IFDMO tem como foco a ação sobre as bactérias em suas formas planctônicas ou sésseis, fungos e vírus (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

Na área de alimentos, a maior parte dos estudos envolvendo IFDMO tem como foco aplicações em vegetais e carne de frango (CORRÊA et al., 2020). Uma das abordagens que podem ser utilizadas nos alimentos é a aplicação durante o processo de fabricação, de forma mais rápida, devendo atingir uma redução de no mínimo 5 log, o padrão de tecnologias de pasteurização (GHATE, ZHOU e YUK, 2019). Ainda, pode ser aplicado após, de forma mais lenta, com o intuito de manter as características do alimento, preservando a segurança e qualidade. A IFDMO também pode ser utilizada em materiais de embalagem, superfícies de contato com os alimentos, equipamentos e utensílios (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

A maior preocupação sobre o uso de IFDMO em alimentos é a possibilidade de alterar as características físico-químicas ou aspectos nutricionais. Uma das características mais importantes do ponto de vista do consumidor é a alteração de cor do alimento, como já mencionado, sendo importante escolher um FS que possua cor compatível com o alimento para minimizar essa influência. As características físico-químicas do FS também podem impactar na eficácia da IFDMO (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

É importante ressaltar que o uso de FS exógenos requer considerações sobre a sua toxicidade, aspectos regulatórios, alterações organolépticas e percepção dos consumidores. Algumas das vantagens de seu uso é a possibilidade de aumentar a sua seletividade contra as células-alvo e na aplicação em superfícies menos homogêneas, aumentar a absorção da luz (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

A temperatura ao qual o alimento está exposto durante o tratamento pode influenciar, já que a fisiologia microbiana e consequentemente a resposta ao estresse oxidativo são influenciados por ela, possivelmente também sendo dependente do organismo envolvido (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

As características próprias do alimento a ser tratado também influenciam na eficácia da IFDMO. A acidez do meio, neste caso do alimento, pode influenciar na ação do FS já que existe uma relação entre o ponto isoelétrico da célula e do composto. Superfícies mais rugosas, com mais fissuras, a presença de gordura e a carga elétrica da superfície, também afetam na capacidade de penetração da luz visível. A atividade de água mais baixa pode possuir relação com o desenvolvimento de formas resistentes das bactérias e bolores pois a maior parte dos microorganismos se encontra em condições não ideais de crescimento neste caso, tornando sua eliminação mais difícil, mas esse aspecto ainda foi pouco estudado (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

Além disso, a dose de luz pode apresentar ainda uma relação não linear na IFDMO, e pode sofrer alterações com o modo de aplicação da luz (contínua ou não). A distribuição do fluxo de luz é um fator a ser observado também, sendo comumente mais direcionada para o centro do que para a periferia, podendo causar alterações físico-químicas nesse ponto mais central e afetar a qualidade microbiológica em outros pontos. Existem formas de evitar isso, com o uso de tiras de diodo emissor de luz (*light-emitting diode*, LED) ou fontes de luz únicas de alta intensidade (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

Outros fatores como a baixa concentração de oxigênio molecular ou compostos que possuam oxigênio, como nos casos de embalagens de alimentos em atmosfera modificada ou à vácuo, ou a presença natural ou não de substâncias antioxidantes, podem impactar na eficácia da IFDMO através da diminuição na formação dos EROS (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

Entretanto, uma das grandes vantagens da técnica é que ainda não foi identificada resistência antimicrobiana, diferente de outros métodos como ultrassom, campos elétricos pulsados e luz ultravioleta. A resistência antimicrobiana não ocorre devido ao fato de que os EROS gerados durante o processo possuem uma meia vida extremamente curta, como no caso do oxigênio singlete (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

REFERÊNCIAS

- ABPA. Estatística do Setor: Gráfico dos Setores – Aves. Relatório 2021. Disponível em: <https://abpa-br.org/mercados/>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- ALIABBASI, N.; FATHI, M.; EMAM-DJOMEH, Z. Curcumin: A promising bioactive agent for application in food packaging systems. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721004978?via%3DiHub>. Acesso em: 04 nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105520>.
- BRITO, J. M. de S.; COELHO, R. M. D. Características microbiológicas da carne de frango: uma revisão narrativa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 62781-62795, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/31869>. Acesso em: 30 ago. 2021. <http://doi.org/10.34117/bjdv7n6-586>.
- CAP, M. et al. Effect of high hydrostatic pressure on *Salmonella* spp inactivation and meat-quality of frozen chicken breast. **LWT – Food Science and Technology**, v. 118, p. 1-5, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819312150>. Acesso em: 20 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108873>.
- CORRÊA, T. Q. et al. Effects of ultraviolet light and curcumin-mediated photodynamic inactivation on microbiological food safety: A study in meat and fruit. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, v. 30, p. 1-7, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32004721/>. Acesso em: 17 out. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101678>.
- CNA, CONSELHO NACIONAL DE AGRICULTURA **Agronegócio avança em novembro e resultado recorde vai se consolidando**. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/>. Acesso em: 17 out. 2021.
- CUI, H. et al. Antibacterial mechanism of oregano essential oil. **Industrial Crops & Products**, 139 (2019), 1-9, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019305102?via%3DiHub>. Acesso em: 05 nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111498>.
- DEPEC. **Departamento de pesquisas e estudos econômicos pecuária**. 2019. Disponível em: https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_pecuaria.pdf. Acesso em: 07 fev. 2022.
- FRANCO, B. D. G. de M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia de Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu. 2008.
- GHATE, V. S.; ZHOU, W.; YUK, H. G. Perspectives and trends in the application of photodynamic inactivation for microbiological food safety. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, p. 402–424, 2019. Disponível em:

<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12418>. Acesso em: 05 nov. 2021. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12418>.

GÓMEZ-SALAZAR, J. A. et al. Ultrasound effect on salt reduction in meat products: a review. **Current Opinion in Food Science**, v. 38, p. 71-78, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221479932030120X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.030>.

HASSANZADEH, P. et al. Effect of functional chitosan coating and gamma irradiation on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 141, p. 103-109, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X17304218?via%3Dihub>. Acesso em: 20 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.06.014>.

JASPAL, M. H. et al. Effect of oregano essential oil or lactic acid treatments combined with air and modified atmosphere packaging on the quality and storage properties of chicken breast meat. **LWT – Food Science and Technology**, v. 146, n. (Julho), p. 1-8, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821006125>. Acesso em: 14 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111459>.

KATIYO, W. et al. Sensory implications of chicken meat spoilage in relation to microbial and physicochemical characteristics during refrigerated storage. **LWT – Food Science and Technology**, v. 128, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820304576>. Acesso em: 18 jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109468>.

LOVISON, M. M. **Óleo essencial de orégano nanoemulsionado: produção, caracterização físico-química, atividade antimicrobiana e antioxidante in vitro e aplicação em patê de frango**. 2017. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Setor de Ciências da Engenharia de Alimentos, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-16082017-164553/pt-br.php>. Acesso em: 17 dez. 2021.

MEHDIZADEH, T.; LANGROODI, A. M. Chitosan coatings incorporated with propolis extract and *Zataria multiflora* Boiss oil for active packaging of chicken breast meat. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 401-409, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813019361884?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.267>.

MONTESCHIO, J. de O. et al. Effect of copaíba essential oil (*Copaifera officinalis* L.) as a natural preservative on the oxidation and shelf life of sheep burgers. **Plos One**, v. 16, n. 3, 2021. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0248499>. Acesso em: 09 fev 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248499>.

PARREIDT, T. S.; MULLER, K.; SCHMID, M. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. **Foods**, v. 170, n. 7, p. 1-38, 2018.

Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30336642/>. Acesso em: 29 set. 2021. <http://doi.org/10.3390/foods7100170>.

PAULO, A. F. S.; BALAN, G. C.; SHIRAI, M. A. Óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) na produção de filmes ativos biodegradáveis. In: VERRUCK, S. (Ed). **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 1 ed. Guarujá: Editora Científica, 2021. p. 431-443.

SARAIVA, B. B. et al. Photodynamic inactivation of *Pseudomonas fluorescens* in Minas Frescal cheese using curcumin as a photosensitizer. **LWT – Food Science and Technology**, v. 151, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821012962>. Acesso em: 30 ago. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112143>.

SCATOLINI, A. M. et al. Características qualitativas da carne de frango armazenada em diferentes condições de atmosfera modificada. **Higiene Alimentar**, v. 25, n. 196/197, p. 142-148, 2011. Disponível em: <https://higienealimentar.com.br/196-2/>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SCHMIDT, M. M. et al. Development of cooked and smoked chicken sausage with reduced sodium and fat. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 26, n. 1, p. 130-144, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617119300911?via%3Dihub>. Acesso em: 20 fev. 2022. <https://doi.org/10.3382/japr/pfw054>.

SILVA, A. L. da; BUENO, R.; ROCHA, A. M. de O. Mercado da carne de frango no Brasil. **Tekhne e Logos**, v. 11, n. 1, p. 25-38. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/660>. Acesso em: 26 dez. 2021.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos Essenciais. In: SIMÕES, C.M.O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre/Florianópolis: UFRGS/UFSC, 2000. Cap.18.

USDA. Agricultural Marketing Service. Alginates Handling/Processing. 2015. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Alginates%20TR%202015.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.

USDA. Substances generally recognized as safe in foods. 21 CFR 182. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-182>. Acesso em: 29 dez. 2021.

VIEIRA, B. B. et al. Combination of chitosan coating and clove essential oil reduces lipid oxidation and microbial growth in frozen stored tambaqui (*Colossoma macropomum*) fillets. **LWT - Food Science and Technology**, v. 116, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819308886>. Acesso em: 31 out. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108546>.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia de revestimento comestível adicionado de óleo essencial de orégano e curcumina fotoativada sobre os atributos de qualidade de peito de frango desossado.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o revestimento, nas diferentes combinações.
- Avaliar o efeito do recobrimento da carne de frango sobre os atributos de qualidade de carne: pH, cor, perda de água por cocção e força de cisalhamento.
- Avaliar a inativação fotodinâmica de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Samonella* spp. em peito de frango revestido refrigerado.
- Analisar o efeito fotossensibilizador da cobertura na estabilidade lipídica e antioxidante da carne de frango.
- Avaliar a aceitação visual e intenção de compra dos consumidores.

4 CAPÍTULO I – REVESTIMENTO DE ALGINATO COM ÓLEO ESSENCIAL DE ORÉGANO E CURCUMINA FOTOATIVADA: QUALIDADE E INATIVAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS EM CARNE DE FRANGO

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito protetor de um revestimento comestível de alginato, óleo essencial de orégano e curcumina fotoativada em peito de frango desossado e sua influência nas características tecnológicas, microbiológicas e sensoriais durante o armazenamento refrigerado sob condições comerciais por sete dias. Os peitos foram revestidos e expostos em vitrine refrigerada (4° C) com iluminação por 7 dias, simulando as condições de mercado brasileiras. As características do revestimento foram previamente analisadas quanto a sua atividade inibitória e microestrutura. As propriedades tecnológicas, oxidação lipídica, atividade antioxidante (ABTS e DPPH), cor instrumental, perda por cocção, textura e potencial antimicrobiano foram avaliadas aos 1, 3, 5 e 7 dias de armazenamento. A aceitação visual dos consumidores e sua intenção de compra também foram avaliadas. Os resultados comprovaram a formação de um filme homogêneo, com gotículas de óleo, maior atividade antioxidante dos tratamentos contendo curcumina e óleo essencial de orégano, o retardo na oxidação lipídica, a manutenção das características físico-químicas avaliadas (pH, textura, perda por cocção e cor), a capacidade de inativação de micro-organismos patógenos, além de melhor aceitação visual do tratamento contendo óleo essencial de orégano isoladamente, e intenção de compra pelos consumidores do tratamento com as substâncias em combinação semelhante ao tratamento controle. O uso da técnica de IFDMO associada ao uso de revestimentos comestíveis adicionados de óleo essencial e curcumina apresenta resultados promissores para serem utilizados em produtos estocados ou em exposição, uma vez que contribuem positivamente com a aceitação visual da carne de frango e na intenção de compra pelos consumidores.

Palavras-chave: Aceitação do consumidor. Compostos bioativos. IFDMO. Qualidade de carne.

4.1 INTRODUÇÃO

Aspectos como a ampla oferta, o preço acessível, a versatilidade de preparo e a reconhecida qualidade nutricional tornam a carne de frango a mais consumida pelos brasileiros (DEPEC, 2019). Após esta primeira escolha, no momento da compra outros fatores também são avaliados. Visualmente, a cor da carne e o seu aspecto geral têm influência na aceitação do consumidor, não devendo apresentar manchas de coloração diferente ou descoloração e limosidade superficial, típicos indicadores de deterioração (BRITO e COELHO, 2021).

A composição e as condições do processo de obtenção e beneficiamento da carne de frango são pontos de grande importância para garantia da qualidade do produto que irá chegar ao consumidor (BRITO e COELHO, 2021). Visando aumentar a vida de prateleira e garantir a manutenção da qualidade da carne de frango, métodos de conservação são comumente empregados, dentre eles o resfriamento ou congelamento, sendo os mais amplamente utilizados para a conservação da carne de frango.

Aumentar a vida de prateleira da carne de frango resfriada é um desafio crescente para a indústria (KATIYO et al., 2020). A adoção de novas tecnologias com este objetivo vem sendo estudadas, com destaque para os revestimentos comestíveis ativos (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

Filmes ou revestimentos podem ser produzidos a partir de diferentes tipos de compostos, como polissacarídeos, proteínas e lipídios (BATTISTI et al., 2017). O alginato é um dos compostos naturais mais utilizados para produção de revestimentos devido às suas características como boa formação de filmes, biocompatibilidade, biodegradabilidade e perfil não tóxico (BENAVIDES, VILLALOBOS-CARVAJAL e REYES, 2012; SIRVIÖ et al., 2014).

Quando utilizados em alimentos, filmes e revestimentos biodegradáveis e comestíveis criam uma barreira de proteção da camada superficial. A utilização de filmes como veículo para compostos bioativos pode beneficiar com novas metodologias de materiais ou embalagens, capazes de prolongar o prazo de validade de alimentos frescos altamente perecíveis, como carnes, aumentando sua qualidade com potencial melhora sensorial (AIZPURUA-OLAIZOLA et al., 2016). A associação de revestimentos comestíveis com compostos com atividade antioxidante e antimicrobiana pode potencializar os seus efeitos, pois proporciona uma distribuição homogênea da substância e mantém a atividade desejada durante o tempo de vida útil do alimento (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018).

As ervas ou especiarias são tradicionalmente conhecidas por melhorar a palatabilidade das preparações alimentícias (CARVALHO et al., 2017). Entre as especiarias, a curcumina destaca-se por possuir altos teores de compostos bioativos (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021). É amplamente utilizada em preparações alimentícias por seu poder conservante, possui coloração amarelada, aroma agradável e apresenta diversas propriedades, tais como, potencial antioxidante e antimicrobiano, entre outras (ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH,

2021). O óleo essencial de orégano também é amplamente conhecido por possuir potencial antioxidante e antimicrobiano em produtos alimentares (LOVISON, 2017), contudo, ainda tem seu uso restringido devido ao seu sabor acentuado (KHALAFALLA, ALI e HASSAN, 2015; VITAL et al., 2016).

A técnica de inativação fotodinâmica de micro-organismos (IFDMO) é uma das alternativas que podem ser empregadas visando a substituição de compostos sintéticos nos alimentos. Utilizada para o tratamento de superfícies, equipamentos ou no alimento em determinada etapa do processo, como na sua estocagem ou exposição ao consumidor para eliminação de micro-organismos patógenos e deteriorantes da superfície, reduz as alterações indesejáveis que ocorrem durante a sua exposição (GHATE, ZHOU e YUK, 2019). Dessa forma, a associação do revestimento ativo com a IFDMO tem grande potencial para manutenção da qualidade da carne de frango resfriada.

Diante desse novo cenário, a busca por alternativas para preservação dos alimentos sem o uso de aditivos sintéticos é de grande interesse para a indústria alimentícia. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito protetor de um revestimento de alginato, adicionado de óleo essencial de orégano e curcumina fotoativado, em peitos de frango desossados armazenados sob refrigeração por sete dias, avaliando os atributos de qualidade (oxidação lipídica, atividade antioxidante, cor instrumental, pH, perda por cocção e textura), microbiológicos, de preferência e de intenção de compra. A caracterização dos revestimentos também foi realizada por meio da avaliação do potencial de inibição de micro-organismos e microestrutura da embalagem.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Materiais

A curcumina em pó (CUR) (PM = 368,38) foi comprada da Active Pharmaceutica (Santa Catarina, Brasil). Alginato de sódio (PM=216) adquirido da Dinâmica (São Paulo, Brasil) e óleo essencial de orégano (OEO) adquirido da Ferquima (Vargem Grande Paulista, Brasil). Ácido gálico, ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico (ABTS), carbonato de sódio, persulfato de potássio, ácido tricloroacético (TCA), ácido clorídrico, 1,3,3-tetrametoxipropano, ácido

tiobarbitúrico foram obtidos da Sigma-Aldrich (São Paulo, Brasil). A água peptonada tamponada com fosfato (Sigma-Aldrich), Brain-Heart Infusion Broth (BHI) (Acumedia); Agar Violet Red Bile (VRB) (Himédia); Baird Parker Agar Base (Difco), Agar XLD (Acumedia), Agar Mueller Hinton (MH) (Kasvi), Gema de ovo com telurito (NEWPROV). Todos os meios de cultura foram preparados em condições assépticas conforme a especificação do fabricante.

4.2.2 Equipamentos e Especificações

Placas de contagem microbiológica e revestimentos foram incubados em uma estufa BOD. SS Scientific (Londrina, Brasil). As amostras de peito de frango foram avaliadas usando um medidor de pH digital de inserção Hanna – HI99163 (Romênia - Europa), termopar Incoterm 145 mm (São Paulo, Brasil), banho maria Tecnal (Piracicaba – São Paulo), colorímetro Hunter (Virginia, EUA). Os perfis de textura foram avaliados usando um TA-HD (Stable Micro System, Surrey, Inglaterra). Os revestimentos foram submetidos ao processo de liofilização em secador por congelamento Micromodulo (Thermo Electron Corporation, Massachusetts, EUA) e metalizadas em um Bal-Tec SCD050 (Califórnia, EUA) e tiveram sua morfologia avaliada em um microscópio eletrônico de varredura Tescan, Veja 3 (Kohoutovice, República Tcheca). A presença dos revestimentos na carne, também foi analisada por microscopia eletrônica de varredura. A fonte de luz utilizada *in situ* foi um dispositivo experimental de fabricação própria contendo um diodo emissor de luz (LED) azul ($\lambda_{\max} = 470 \text{ nm}$) com exposição de 30 min, levando a uma dose de energia total de 0,81 e 4,86 J cm^{-2} , respectivamente (da SILVA JUNIOR et al., 2019). Para o tempo de armazenamento foi utilizada vitrine de exposição refrigerada com iluminação LED branco quente ($\lambda_{\max} = 450 \text{ nm}$) com exposição de 12h dia. Os micro-organismos usados foram *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Salmonella* Thyphimurium (ATCC 14028) e *Escherichia coli* (ATCC 25922). Os experimentos foram realizados na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, e nas dependências da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

4.2.3 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Efeito da Inativação Fotodinâmica em Carne de Frango

O CIM da CUR e do OEO contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Samonella* Thyphimurium foi investigado *in vitro*. Foi utilizado uma solução estoque de CUR na concentração inicial de 800 µg/mL (m/V) a 35°C. Os testes foram realizados pelo método de microdiluição em caldo. As bactérias foram ativadas por três vezes consecutivas em caldo BHI a 35°C/24 horas. A suspensão bacteriana foi preparada em solução salina estéril de 0,85% e a turbidez ajustada a 0,5 na Escala McFarland. Diferentes concentrações de óleo (100%-0,01%) e CUR (800 µg/mL–6,25 µg/mL) avaliadas por microdiluição em placa de 96 poços utilizando caldo Mueller-Hinton. A concentração de 0,0 mg/mL foi utilizada como controle de referência para estimar a CIM. Então, 10 µL da bactéria ($1,0 \times 10^8$ UFC/mL) foram adicionados a cada poço e suavemente agitado por 20 segundos e cultivada a 35°C por 24 horas. A visualização do crescimento microbiano é realizada com o auxílio da resazurina, um revelador de viabilidade celular para células bacterianas, sendo adicionado 20 µL deste revelador aos poços após 22 horas de incubação, e em seguida a microplaca permanece incubada por mais 2 horas. A resazurina é um corante azul, fracamente fluorescente que na presença de células viáveis apresenta coloração rósea, por se reduzir formando resorufina. Não havendo crescimento bacteriano, o revelador permanece azul. A CIM foi definida como a menor concentração em que se poderia inibir completamente o crescimento bacteriano.

Para avaliação dos efeitos fotodinâmicos da CUR incorporada em alginato foi utilizada a concentração de 0,5% (m/V). A CIM foi determinada a partir da concentração de 300 µg/mL de CUR. Para iluminação da placa foi utilizada um dispositivo com fonte de LED azul (Figura 5) (λ emissão = 470 nm). Após 10 minutos de pré-incubação as placas foram iluminadas por 30 minutos com o LED azul e em seguida incubadas a 37°C por 24h.

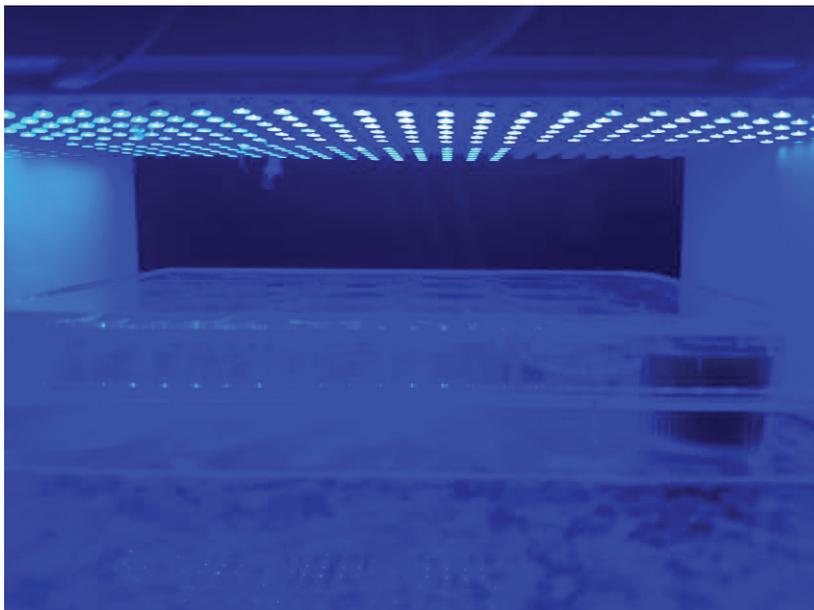


FIGURA 5 - DISPOSITIVO DE LED UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS *IN VITRO*.

FONTE: O autor, 2021.

4.2.3.1 Caracterização dos revestimentos e preparo das amostras

A carne de frango foi obtida de um abatedouro de aves localizado em Palotina, Paraná, Brasil, de um mesmo lote de abate. Os peitos de frango (*Pectoralis major*, PM) foram transportados para o Laboratório de Experimentação Avícola, e então, foram removidos os ossos, limpos (retirada de pele e gordura) e distribuídos aleatoriamente para o tratamento experimental.

Os filmes de alginato de sódio foram preparadas seguindo o método proposto por (PINTO et al., 2019) com algumas modificações. A solução de alginato foi preparada adicionando alginato (2% m/V) em água destilada e levada para agitação magnética (70°C/ 30 minutos) até completa dissolução, e em seguida, arrefecida até temperatura ambiente (25°C). Para os demais revestimentos, CUR (200 µg/mL), OEO (0,39% m/V) foram adicionados a solução de alginato sob agitação magnética (25°C/15 min). Os tratamentos acrescidos de óleo, receberam a adição de Tween 80 (0,25% da massa de óleo) para melhor dispersão do óleo. As concentrações de óleo e CUR foram definidas de acordo com os resultados dos testes preliminares *in vitro*. Como meio complexante, uma solução de cloreto de cálcio a (2% m/V) foi utilizada. Os peitos foram distribuídos aleatoriamente e igualmente e o revestimento foi aplicado a carne por imersão, onde estes foram imersos em alginato (1 minuto),

retirado o excesso de revestimento (30 segundos), imersos em solução de cloreto (30 segundos) e deixados em descanso (30 segundos). Após cobertos, os peitos foram acondicionados em bandejas plásticas com película retrátil (Goodyear1, Americana, São Paulo, Brasil) e armazenados refrigerados em vitrine de exposição refrigerada e iluminada (2°C, lâmpada fluorescente, 1200 lux, 12 horas/dia), simulando condições típicas do mercado brasileiro. As análises foram realizadas com 1, 3, 5 e 7 dias de armazenamento. Os tratamentos foram definidos como: Con (carne sem revestimento); Std (carne com revestimento de alginato de sódio); Cur (carne com revestimento de alginato de sódio + CUR); Óleo (carne com revestimento de alginato de sódio + OEO) e Blend (carne com revestimento de alginato de sódio + CUR + OEO) (Figura 6).

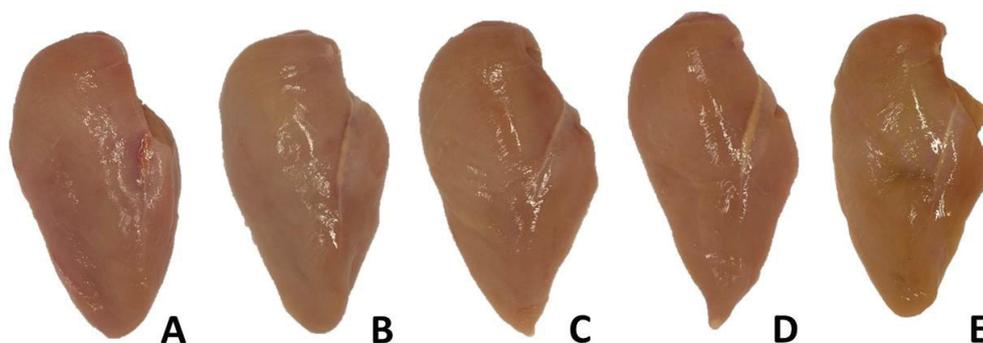


FIGURA 6 - FOTOGRAFIAS DOS TRATAMENTOS CON (A), STD (B), CUR (C), ÓLEO (D) E BLEND (E).

FONTE: O autor, 2021.

Os revestimentos foram caracterizados quanto a morfologia do filme e do filme na carne, realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

4.2.3.2 Atividade antioxidante (DPPH e ABTS)

Os extratos de carne foram obtidos por extração (1:2 m/V com metanol) em homogeneizador Ultra-Turrax (IKA®-T10, EUA), seguido de centrifugação (4000 rpm, 25°C por 15 minutos) seguido de filtração em papel quantitativo. A redução do radical (ABTS*) foi obtida através da interação de solução ABTS 7 mM (5 mL) com 88 mL de persulfato de potássio 140 mM. A mistura foi incubada no escuro a 25°C durante 16 horas, diluída com etanol até absorvância de 0.70 ± 0.2 . 30 μ L das

amostras foram misturados com 3000 μL da solução ABTS e a absorbância medida em 734 nm após 6 minutos (RE et al., 1999). A atividade de eliminação do radical (%) será calculada pela Equação 1:

Equação 1

$$\text{ABTS}^* (\%) = (1 - (A_{\text{amostra } t=0}/A_{\text{amostra } t})) * 100$$

Onde: $A_{t=0}$: absorbância da amostra no tempo zero; A_t : absorbância da amostra ao longo do tempo.

A atividade de eliminação de radicais DPPH foi medida de acordo com a metodologia proposta por Li et al. (2009), com modificações. O extrato de carne (150 μL) foi misturado com de uma solução metanólica contendo 60 μM de DPPH e incubado por 30 min sob ausência de luminosidade. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 515 nm. A atividade antioxidante será calculada pela Equação 2.

Equação 2

$$\text{DPPH} (\%) = (1 - (A_{\text{amostra } t=0}/A_{\text{amostra } t})) * 100$$

Onde: $A_{t=0}$: é a absorbância da amostra no tempo zero; $A_{\text{amostra } t}$: é a absorbância da amostra a 30 min.

4.2.3.3 Oxidação lipídica

A oxidação lipídica na carne de frango revestido foi medida pelo ensaio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). A amostra de carne (5 gramas) foi misturada com solução de TCA (7,5% TCA, 0,1% EDTA e 0,1% ácido gálico) (10 mL), homogeneizada em Ultra Turrax (Tecnal Turratec TE-102, Piracicaba, SP, Brasil) (7000 rpm, 1 minuto) e centrifugada (4000 rpm, 4°C, 15 minutos). O sobrenadante foi filtrado e misturado (1:1 V/V) com o reagente TBARS (1% TBA, 562,5 mM HCl, 15% TCA). A mistura foi fervida (100°C, 15 minutos), resfriada, e então a absorbância foi medida (532 nm) (VITAL et al., 2016). As concentrações foram determinadas adotando-se uma curva padrão de malonaldeído (MDA) (utilizando 1,3,3-tetrametoxipropano), variando de 0 a 60 mM. Os resultados foram expressos em mg MDA/kg de carne.

4.2.3.4 Cor instrumental

Os parâmetros de cor do CIELab foram registrados usando um colorímetro Miniscan EZ (Hunterlab). Seis medições em pontos aleatórios foram registradas por amostra, obtendo luminosidade (L^*), vermelhidão (a^*) e amarelecimento (b^*).

4.2.3.5 Medições de pH

O pH foi medido usando um medidor de pH com uma sonda de penetração Hanna – HI99163 (Romania - Europa). Antes do uso, o medidor de pH foi calibrado a 20°C usando buffers padrão de pH 4,0 e 7,0.

4.2.3.6 Perda por cocção e força de cisalhamento

As perdas por cocção foram medidas segundo Dalle Zotte et al. (2017). As amostras de peitos foram previamente pesadas (5 gramas), embaladas individualmente em sacos de polipropileno e cozidas em banho maria (80°C) com monitoramento de temperatura por termopar (Incoterm, 145 mm, Incoterm LTDA, Brasil) inserido no centro geométrico da carne e cozidas até atingir a temperatura interna de 73°C e então, retirados dos sacos, secos com toalha de papel e arrefecidos em temperatura ambiente até atingir 25°C, para então, serem novamente pesados. As perdas por cozimento foram calculadas como porcentagem em relação ao peso inicial de acordo com a Equação 3.

Equação 3

$$\% \text{ Perda por cocção} = (\text{Peso cru} - \text{Peso cozido}) / \text{Peso cru} * 100$$

A força de cisalhamento da carne cozida foi analisada usando um texturômetro equipado com uma lâmina Warner-Bratzle (HONIKEL, 1998). O instrumento foi configurado com uma célula de carga de 10 kg e uma velocidade cruzada de 1 mm/s. Foram cortados pedaços de carne retangulares de 1 cm² de seção (seis pedaços), os quais foram inseridos no equipamento e cortados perpendicularmente. A força de cisalhamento máxima (kgf) foi registrada em 1, 3, 5 e 7 dias de exibição.

4.2.3.7 Análises microbiológicas

Para os ensaios antimicrobianos foram utilizadas as bactérias isoladas: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 25922 e *Salmonella*

Thyphimurium ATCC 14028. Os micro-organismos foram previamente inoculados em caldo BHI estéril e mantidos em estufa BOD por 24 horas à 35°C para ativação. Este procedimento foi repetido três vezes consecutivas.

Para cada uma das bactérias, os inóculos foram preparados a partir das células dos micro-organismos cultivados em caldo BHI. Quando a concentração bacteriana do caldo BHI atingiu 10^8 UFC/mL, obtendo-se a turbidez equivalente na Escala McFarland. Uma alíquota de 1 mL do inóculo foi incubado em ágar Mueller-Hinton e incubado a 35°C por 24 horas para verificação do crescimento das bactérias na diluição 10^8 .

Foram inoculados 100 μ L de suspensão (10^8 UFC/mL) de cada microorganismo em uma amostra de 25 gramas de frango. Após adição do inóculo a amostra foi recoberta com os filmes e mantidas sob refrigeração por 24 horas. A inoculação foi realizada em triplicata e as análises foram realizadas nos dia 1, 3, 5 e 7 de armazenamento.

A amostra de carne experimentalmente contaminada foi adicionada a uma proporção de 1:10 de água peptonada, triturada e homogeneizada (Figura 7, A). Após a homogeneização, o material foi diluído com solução salina 0,9% para produzir diluições de 10 vezes (Figura 7, B e C). Alíquotas de 100 mL foram cultivadas em ágar Baird Parker acrescido de suplemento gema telurito *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, ágar XLD para *Salmonella* *Thyphimurium* ATCC 14028 e para *Escherichia coli* ATCC 25922 utilizou-se Violet Red Bile ágar e incubadas a 35°C por 24 horas (Figura 7, D, E e F) . Após esse período a contagem das colônias foi realizada por meio de marcações com caneta na parte posterior das placas de Petri (Figura 8). Os resultados foram expressos em Log UFC/g.

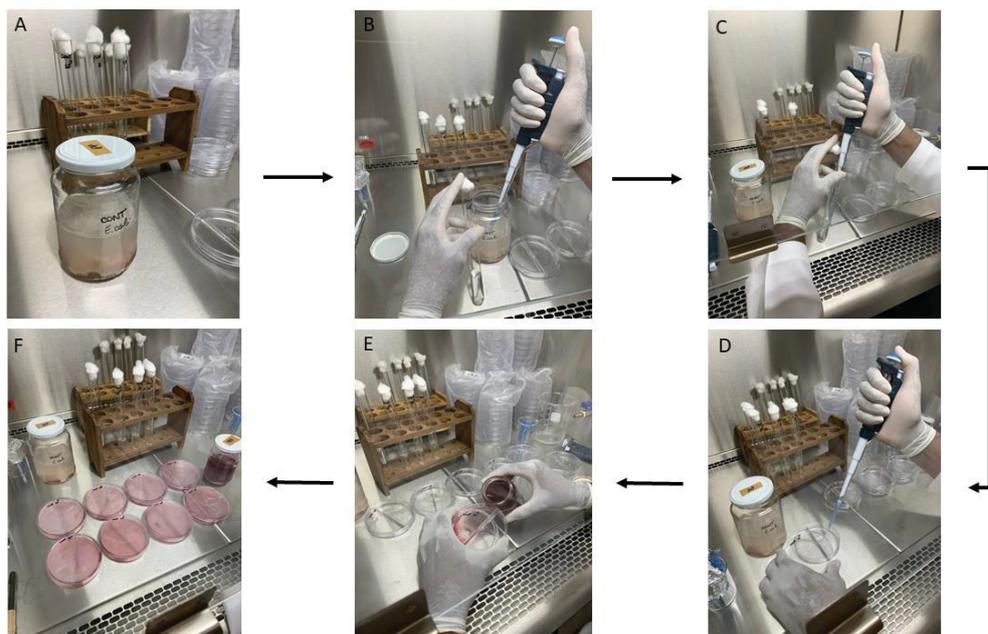


FIGURA 7 - VISÃO GERAL DA PREPARAÇÃO DA AMOSTRA E PROCEDIMENTO DE INOCULAÇÃO.

FONTE: O autor, 2021.

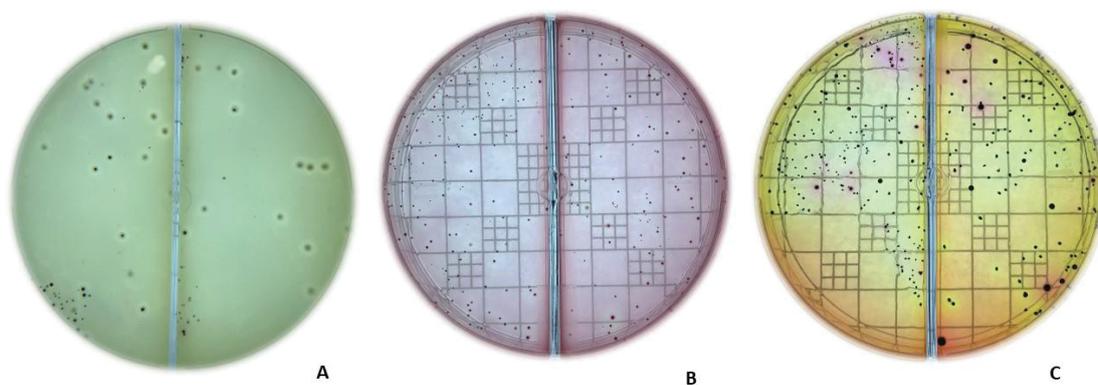


FIGURA 8 - PLACAS COM CONTAGEM BACTERIANA (A – *Staphylococcus aureus* ATCC 25923; B – *Escherichia coli* ATCC 25922; C – *Salmonella Thyphimurium* ATCC 14028).

FONTE: O autor, 2021.

4.2.4 Aceitação Visual e Intenção de Compra

As amostras de peito direito (n=5 por tratamento) foram revestidos e fotografados. Para a produção das imagens. As fotos foram tiradas em condições padronizadas conforme descrito por Passetti et al. (2016). Os peitos foram fotografados, usando uma câmera digital Nikon Coolpix B500 montada em um suporte fotográfico contendo duas lâmpadas tubo fluorescentes D65 como iluminante padrão.

A câmera foi fixada perpendicularmente a 45 cm da superfície da amostra de carne em modo manual velocidade do obturador 1/20; tamanho da abertura F5.3, ISO 1600; distância focal 40 mm. As imagens foram armazenadas e transferidas para um computador como arquivos JPEG. Os avaliadores (221 avaliadores) foram orientados a desconsiderar outros aspectos como tamanho, gordura, miopatias e avaliar apenas a aceitabilidade da carne em relação a coloração usando a escala (1 = desgosto extremamente; 9 = gosto extremamente), sem o ponto central neutro (nem gosto nem não gosto). Assim como, a intenção de compra (1 = não compraria ou 2 = compraria). Antes do teste ao consumidor, um formulário foi administrado, incluindo questões fechadas com múltiplas escolhas, com base em pesquisas anteriores sobre atributos de qualidade da carne (Tabela 1). Os consumidores fizeram as avaliações das fotografias por meio de um formulário online utilizando um computador *laptop*.

TABELA 1 - QUESTIONÁRIO SOBRE AS PREFERÊNCIAS DO CONSUMIDOR E HÁBITOS DE CONSUMO (N=221 CONSUMIDORES).

Pergunta	Resposta
Qual seu gênero?	Feminino
	Masculino
	Outro
Qual sua idade?	De 18 a 24 anos
	De 25 a 39 anos
	De 40 a 54 anos
	Mais de 55 anos
Qual seu grau de escolaridade?	Primário incompleto
	Primário completo
	Segundo grau incompleto
	Segundo grau completo
	Nível superior incompleto
Qual a sua frequência de consumo de carne de frango?	Nível superior completo
	1 vez por mês
	2 vezes por mês
	1 vez na semana
	2-4 vezes na semana
Onde você compra carne de frango?	Mais que 5 vezes na semana
	Açougue
	Supermercado
	Outros
Como você prefere comprar carne de frango?	Fresca
	Embalada resfriada
A cor é um fator importante para sua escolha no momento da compra de carne de frango?	Embalada congelada
	Sim
	Não

4.2.5 Análises Estatísticas

Os dados foram avaliados por análise de variância no modelo linear geral (GLM) com SPSS (v.22.0) (IBM SPSS Statistics, SPSS Inc., Chicago, EUA) para Windows. A média e o erro padrão da média foram calculados para cada variável. O tipo de tratamentos e o tempo de armazenamento foram considerados fatores fixos em um planejamento fatorial, com triplicatas por tratamento para cada análise. Quando as diferenças foram estatisticamente significativas, foi realizado o teste de Tukey, com significância estatística fixada em $p < 0,05$.

5 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 POTENCIAL DE INATIVAÇÃO MICROBIANA *IN VITRO*

Os valores para o potencial de inativação microbiana da CUR e OEO estão na Tabela 2. A concentração inibitória mínima de crescimento para os compostos contra diferentes micro-organismos apresentou valores semelhantes para ambos micro-organismos. Os resultados mostram que os compostos bioativos utilizados possuem capacidade de inativação *in vitro* contra micro-organismos de interesse em alimentos.

A análise visual de crescimento dos micro-organismos determinou CIM de 0,39 µg/mL para OEO, 150 µg/mL para CUR após IFDMO e 300 µg/mL para CUR sem irradiação. As células permaneceram viáveis no controle positivo e na presença apenas de alginato 0,5% sem CUR e sem OEO. Os inóculos expostos exclusivamente à irradiação com LED, não sofreram efeitos citotóxicos perceptíveis nas colônias dos patógenos abordados. É relatado na literatura que apenas iluminação com LED não produz danos térmicos em tecidos biológicos (AMORIM et al., 2012).

Para os ensaios *in vitro* de IFDMO a porcentagem em massa do alginato escolhida foi menor devido ao aumento de sua viscosidade de acordo com o aumento da concentração. A viscosidade compromete a habilidade da CUR em se desprender da matriz polimérica e particionar-se para o meio receptor. Para aplicação do biofilme na carne de frango, optou-se pela concentração de alginato de 2% (m/V) para que o filme tivesse uma melhor aderência na superfície da carne e evitasse o escoamento. Nessas condições a CUR e o óleo essencial de orégano tiveram maior disponibilidade para interagir e exercer efeito sobre os micro-organismos.

TABELA 2 - EFEITO INIBITÓRIO IN VITRO DA CUR E DO OEO COM E SEM APLICAÇÃO DE IFDMO.

	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	<i>Salmonella Thyphimurium</i> ATCC 14028
CUR ¹	300,00	300,00	300,00
OEO ²	0,39	0,39	0,39
Após IFDMO			
CUR ¹	150,00	150,00	150,00

¹Cur- valores de curcumina expressos em $\mu\text{g/mL}$; ²OEO –valores de óleo essencial de orégano expressos em %.

5.2 INATIVAÇÃO FOTODINÂMICA EM CARNE DE FRANGO

5.2.1 Caracterização do Revestimento

As imagens da superfície dos filmes obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) são apresentadas na Figura 9. Observou-se um aspecto homogêneo, com uma fase contínua na matriz polimérica para todos os filmes (Fig. 9, A, B, C e D). Ao comparar as micrografias do Óleo (Fig. 9B) e do Blend (Fig. 9D) com os demais revestimentos (Fig. 9 A e C), nota-se que elas apresentam poros e gotículas de óleo dispersas por toda a sua estrutura (Fig. 9 F e H), sugerindo que a presença do OEO propiciou interações polímero-lipídio que inibem o processo de formação das micelas tanto nas emulsões iniciais de formação de filme quanto durante sua secagem. Como já mencionado, o alginato é um polímero hidrofílico que pode ter suas propriedades alteradas com a adição de óleos que possuem a característica hidrofóbica, como observado no estudo de Reyes, Landgraf e Sobral (2021). As características microestruturais do revestimento aderido à carne também foram observadas em corte de seção transversal (Figura 10). Pode-se notar também a formação de uma fina camada de filme em Std, Óleo, Cur e Blend (Fig. 10, B, C, D e E). Ao analisar a microestrutura fica evidente que os filmes mostram boa homogeneidade na superfície e no corte transversal, como nos resultados demonstrados em filmes de gelatina adicionados de compostos bioativos de Reyes, Landgraf e Sobral (2021). Ao analisar a microestrutura fica evidente que a cobertura

promoveu um recobrimento, onde os revestimentos aderiram a carne preenchendo sua superfície. A cobertura atua como uma camada adicional protetora a carne (BATTISTI et al., 2017).

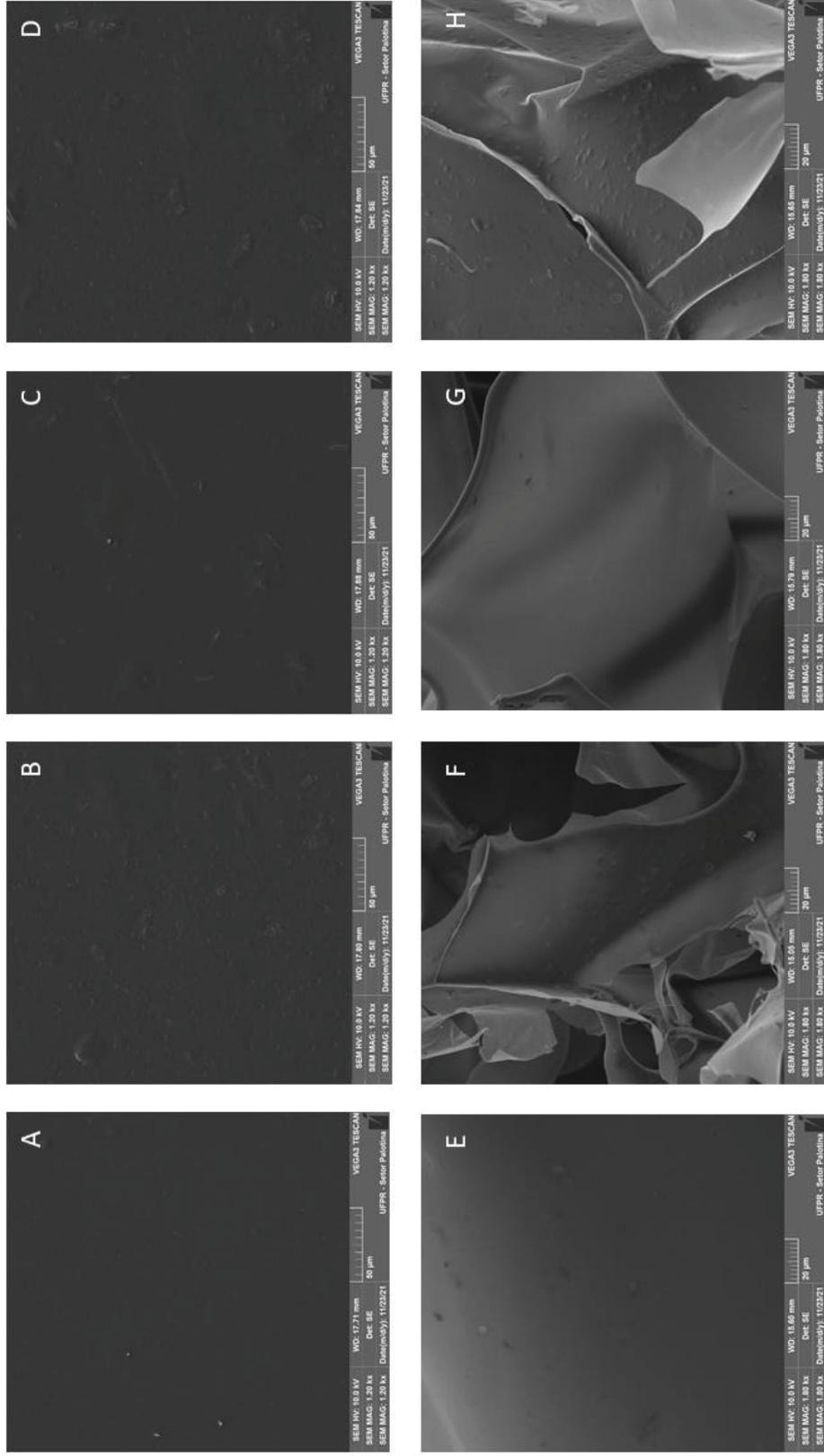


FIGURA 9 - MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS DE VARREDURA DOS FILMES (A e E) STD, (B e F) ÓLEO, (C e G) CUR e (D e H) BLEND.
FONTE: O autor, 2021.

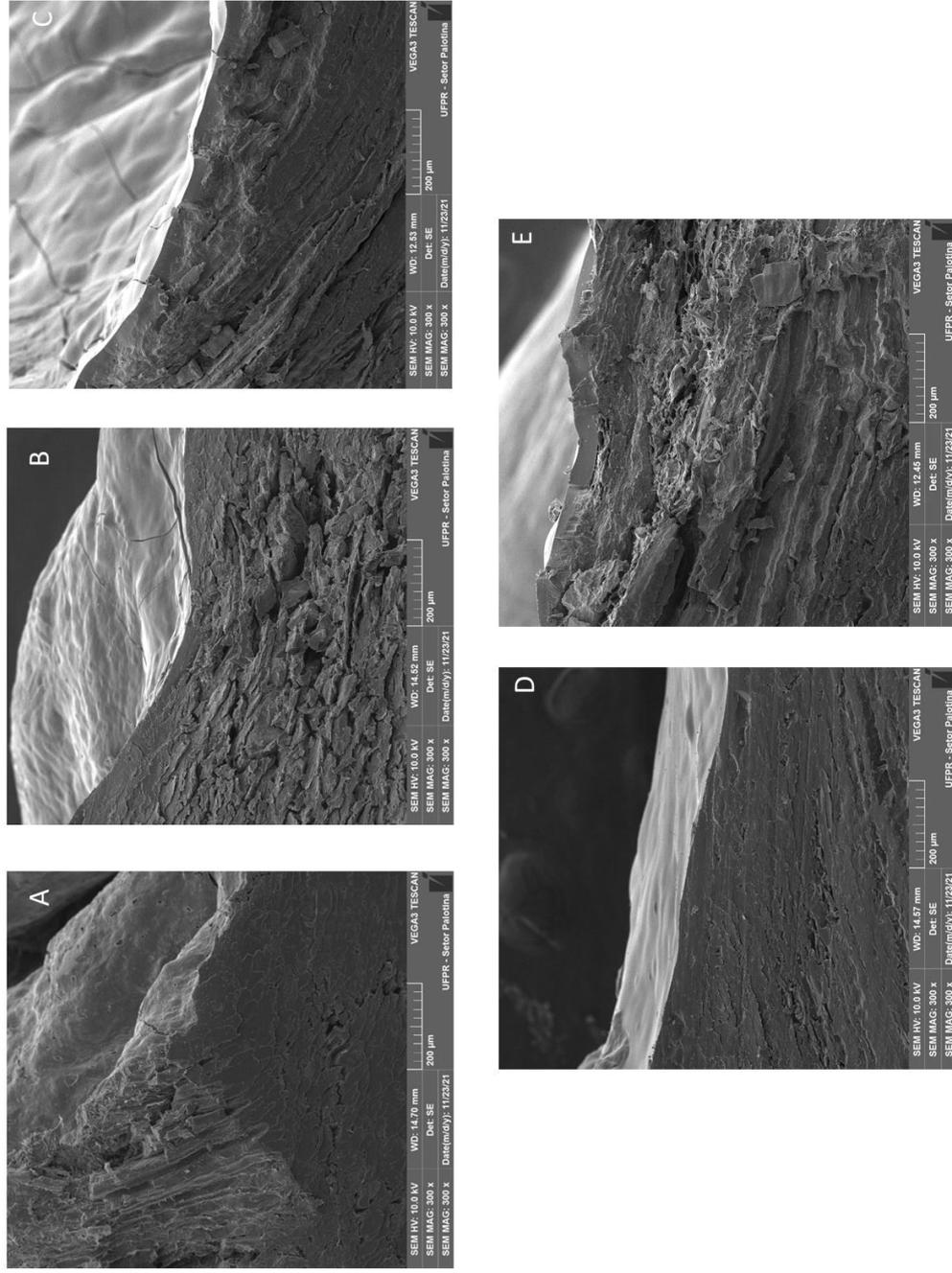


FIGURA 10 - MICROGRAFIAS DA SEÇÃO TRANSVERSAL DOS PEITOS SEM E COM COBERTURA: (A) CON, (B) STD, (C) CUR, (D) ÓLEO E (E) BLEND.

FONTE: O autor, 2021.

5.2.2 Atividade Antioxidante e Oxidação Lipídica

A atividade antioxidante total pela captura dos radicais livres DPPH e ABTS (Tabela 3) foi afetada pelos tratamentos e dias de armazenamento ($p < 0,05$). As carnes revestidas por Cur, Óleo e Blend apresentaram valores significativamente superiores ($p < 0,05$) aos Con e Std para atividade antioxidante. Com os dias de armazenamento houve uma redução na eliminação do DPPH, ou seja, uma redução da atividade antioxidante, enquanto a redução do radical ABTS manteve resultados altos até o último dia de avaliação. Uma interação entre os efeitos (tratamentos e dias de armazenamento) foi observada, conforme mostrado (Tabela 3).

A oxidação lipídica foi afetada pelos tratamentos e tempo de armazenamento ($p < 0,05$) (Tabela 3). O Con e Std apresentaram maior oxidação que Cur, Óleo e Blend. Foi observado um aumento com os dias de armazenamento. Uma interação entre tratamentos e dias de armazenamento foram observados (Tabela 3).

Até o terceiro dia de armazenamento, os tratamentos não apresentaram diferença ($p > 0,05$) para oxidação lipídica, com efeito significativo dos tratamentos apenas a partir do quinto dia ($p < 0,05$). Os tratamentos Cur, Óleo e Blend apresentaram comportamentos semelhantes, com valores de oxidação inferiores comparados ao quinto dia de armazenamento. No sétimo dia de avaliação, o Con apresentou o maior valor de oxidação lipídica, seguido por Std e Óleo.

O uso de revestimentos comestíveis adicionados a compostos bioativos possui propriedades benéficas para os alimentos, e ainda permite que ocorra a liberação gradual dos compostos, mantendo a concentração mínima necessária por um período mais longo (PARREIDT, MÜLLER e SCHMID, 2018). Como é possível observar nos resultados de atividade antioxidante, os tratamentos que possuíam o revestimento adicionado de um composto bioativo, apresentaram resultados superiores ao controle e aquele que possuía apenas o revestimento de alginato. É possível que a adição de compostos hidrofóbicos ao revestimento, que por natureza são hidrofílicos, diminua a oxidação lipídica por diminuir a permeabilidade de vapor de água (VIEIRA et al., 2019) e criar uma barreira ao oxigênio, que impede a sua ação na superfície do alimento. Ainda, os compostos fenólicos não absorvem o oxigênio que entra em contato com o alimento, eles previnem a formação de radicais

livres de ácidos graxos e, assim, a absorção do oxigênio no processo de auto oxidação (PARREID, MÜLLER e SCHMID, 2018).

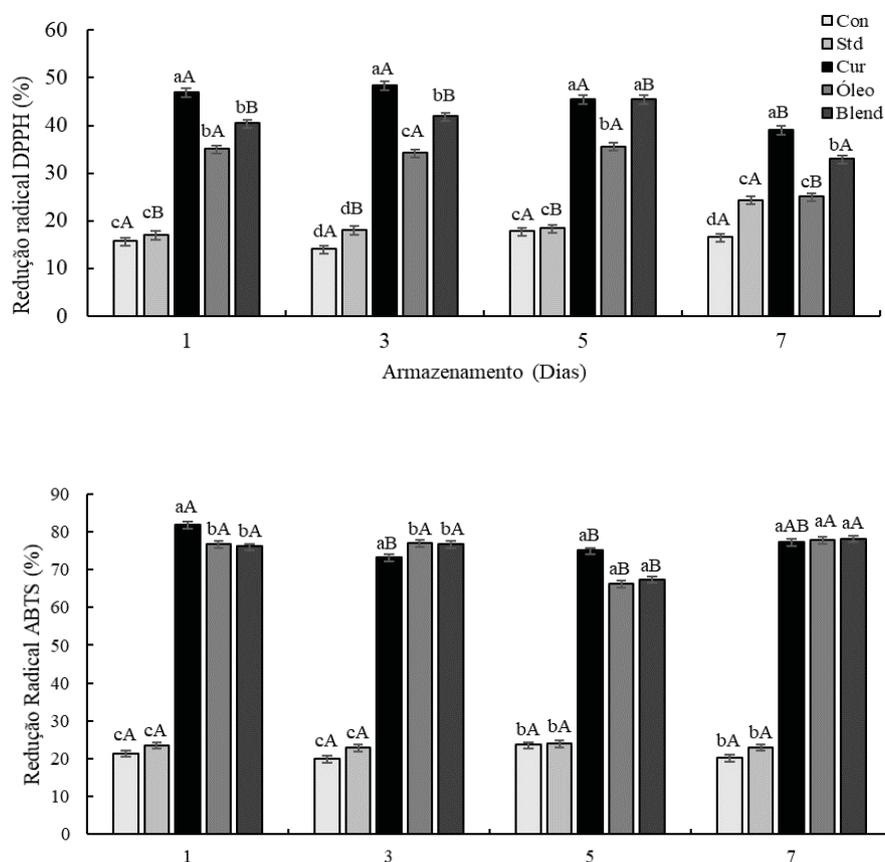
Jaspal et al. (2021) encontraram resultados semelhantes ao avaliar peitos de frango tratados com óleo essencial de orégano, sendo que o tratamento com óleo essencial de orégano apresentou menores valores de oxidação lipídica. De forma geral, os óleos essenciais e a CUR possuem alta atividade antioxidante, conforme demonstrado na literatura (REYES, LANDGRAF e SOBRAL, 2021; ALIABBASI, FATHI e EMAM-DJOMEH, 2021). Quanto à inativação fotodinâmica, a CUR fotoativa atua sobre os micro-organismos deteriorantes, impedindo a sua multiplicação e as alterações decorrentes dela (GHATE, ZHOU e YUK, 2019).

TABELA 3 - ATIVIDADE ANTIOXIDANTE ABTS, ELIMINAÇÃO DE RADICAIS DPPH E OXIDAÇÃO LIPÍDICA DE CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA.

	Dias de armazenamento							p-valor					
	Con ¹	Std ²	Cur ³	Óleo ⁴	Blend ⁵	1	3	5	7	P _{trat} ⁶	P _{exp} ⁷	P _{txd} ⁸	EPM ⁹
Dpph ¹⁰	16,91 ^d	19,26 ^d	43,41 ^a	33,28 ^c	38,51 ^b	31,08 ^A	31,37 ^A	32,15 ^A	27,62 ^B	<0,001	<0,001	<0,001	0,729
Abts ¹¹	22,98 ^b	23,07 ^b	72,62 ^a	74,23 ^a	75,09 ^a	55,97 ^A	49,97 ^B	55,00 ^A	55,31 ^A	<0,001	<0,001	<0,001	1,538
Tbars ¹²	0,70 ^a	0,65 ^a	0,51 ^b	0,53 ^b	0,50 ^b	0,35 ^D	0,49 ^C	0,66 ^B	0,80 ^A	<0,001	<0,001	0,039	0,016

Médias dos tratamentos com letras minúsculas diferentes na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05). Médias de exposição com diferentes letras maiúsculas na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05).¹Con- Carne de peito de frango sem revestimento; ²Std- Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato; ³Cur-carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR; ⁴Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato + OEO; ⁵Blend- carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR + OEO; ⁶P_{trat} – efeito do tratamento; ⁷P_{exp} – efeito dos dias de armazenamento; ⁸P_{txe} – interação entre tratamento e dias de armazenamento; ⁹EPM – Erro padrão das Médias.; ¹⁰Dpph e ¹¹Abts – em porcentagem (%); ¹²TBARS - Substâncias reativas ao ácido tiobartúrico (mg de MDA/Kg de carne).

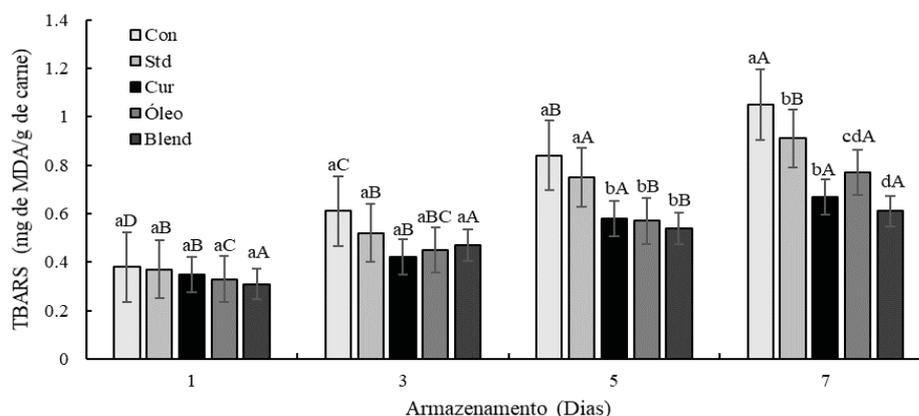
GRÁFICO 1 - INTERAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS E O TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA ELIMINAÇÃO DOS RADICAIS ABTS (%) E DPPH (%) DE CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, DURANTE O ARMAZENAMENTO.



Diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre os dias de armazenamento em um tratamento ($p < 0,05$). Diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre os tratamentos no dia ($p < 0,05$). Con - Carne de peito de frango sem revestimento; Std - Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato; Cur - carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR; Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato + OEO; Blend - carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR + OEO.

FONTE: O autor (2021)

GRÁFICO 2 - INTERAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS E O TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA (TBARS) EXPRESSO COMO MG MALONALDEÍDO/KG DE CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, DURANTE O ARMAZENAMENTO.



Diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre os dias de armazenamento em um tratamento ($p < 0,05$). Diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre os tratamentos no dia ($p < 0,05$). Con - Carne de peito de frango sem revestimento; Std - Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato; Cur - carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR; Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato + OEO; Blend - carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR + OEO.

FONTE: O autor (2021).

5.2.3 Cor Instrumental

O uso de revestimentos e compostos bioativos pode causar alterações de coloração (JASPAL et al., 2021), fazendo com que a avaliação do impacto do uso de tais substâncias na cor do alimento e na percepção do consumidor sejam fundamentais para a decisão de compra.

Observamos que o valor de L^* não sofreu alterações entre os tratamentos, porém diminuiu significativamente ($p < 0,05$) durante os dias de armazenamento (Tabela 4). Já os valores de a^* e b^* apresentaram diferenças significativas entre tratamentos e dias de armazenamento ($p < 0,05$). Os tratamentos que possuíam a adição de CUR apresentaram os maiores valores de b^* (Cur e Blend, respectivamente), como é esperado, já que o açafrão possui a cor amarela (KEMPINSKI et al., 2017). Durante o período de armazenamento, os valores de a^* e b^* aumentaram e diminuíram, respectivamente.

Os resultados corroboram os encontrados na literatura referente ao uso de óleos essenciais em revestimentos comestíveis, com a apresentação de uma característica mais amarela (REYES, LANDGRAF e SOBRAL, 2021). De acordo

com os autores é de extrema importância da utilização de compostos que possuam a cor semelhante ao da matriz alimentar pesquisada, diminuindo a possibilidade de impactar negativamente na avaliação visual e intenção de compra dos consumidores (CORRÊA et al., 2020).

É esperado que o alimento durante o seu armazenamento sofra alterações decorrentes da deterioração, como o escurecimento, observado nos resultados de L^* durante o armazenamento. Ao contrário do que foi encontrado na literatura (JASPAL et al., 2021), a diminuição dos valores de b^* pode ser decorrente da deterioração microbiana esperada na carne resfriada, com valores que remetem a uma coloração mais escura com o passar dos dias de armazenamento.

Os valores de a^* podem aumentar durante os dias de armazenamento, pois, inicialmente, o contato do oxigênio livre com a mioglobina pode levar a formação de oximioglobina, que forma uma camada vermelha na carne (JASPAL et al., 2021). Posteriormente, ocorre o escurecimento superficial da carne devido a redução do nível de oxigênio, que leva a oxidação da mioglobina, formando metamioglobina.

Entretanto, neste estudo observou-se que os tratamentos não apresentaram valores de L^* que impliquem no escurecimento da carne, o que é uma característica desejável visto que a carne de frango apresenta coloração clara.

5.2.4 Medições de pH, Força de Cisalhamento e Perda por Cocção

A Tabela 5 apresenta os resultados de pH, força de cisalhamento e perda por cocção dos tratamentos e durante o armazenamento da carne de frango. O pH e a força de cisalhamento não apresentaram diferença entre os tratamentos avaliados ($p > 0,05$).

Entretanto, durante o tempo de armazenamento os valores aumentaram ($p < 0,05$). O aumento do pH da carne é um dos efeitos da deterioração devido ao tempo de armazenamento, e corrobora os achados Katiyo et al. (2020), que avaliaram os valores de pH durante o armazenamento da carne de frango fresca e observaram aumento nos valores durante o armazenamento.

Quanto aos resultados obtidos para força de cisalhamento, não foi observado efeito dos tratamentos ($p > 0,05$), evidenciando que os tratamentos não impactaram negativamente na maciez da carne. Entretanto, o período de armazenamento apresentou efeito ($p < 0,05$), resultando em carnes mais duras ao

final dos sete dias. A carne resfriada armazenada perde líquidos com o passar dos dias proporcionando o aumento da força de cisalhamento (SCATOLINI et al., 2011). Os revestimentos testados promoveram uma barreira de proteção na superfície da carne, com boa distribuição e homogeneidade sem impactar na maciez.

O tratamento Blend apresentou a menor perda por cocção, todavia os valores obtidos nos tratamentos não apresentaram diferença ($p > 0,05$) quando comparados ao Con. Quanto aos dias de armazenamento, o valor obtido no último dia de avaliação (dia 7) não apresentou diferença estatística quando comparado aos outros dias. Dessa forma, pode-se concluir que o uso de revestimentos ativos não possui a capacidade de reduzir a perda por cocção na carne de frango resfriada, mas impede o aumento da perda de líquido durante o seu armazenamento. Monteschio et al. (2021) encontraram maiores perdas por cocção na carne de ovelha tratada com óleo essencial de copaíba a 0,1% no sétimo dia de armazenamento, o que foi explicado como um possível efeito tóxico que alguns óleos essenciais podem apresentar em concentrações maiores.

TABELA 4 - EFEITO DO REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, NAS MUDANÇAS DE COR DA CARNE DE PEITO DE FRANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO.

	Dias de armazenamento							p-valor					
	Con ¹	Std ²	Cur ³	Óleo ⁴	Blend ⁵	1	3	5	7	P _{trat} ⁶	P _{exp} ⁷	P _{txd} ⁸	EPM ⁹
L* ¹⁰	44,58	45,10	44,62	44,44	44,17	46,52 ^A	44,84 ^B	44,25 ^{BC}	42,68 ^C	0,959	0,035	0,521	0,307
a* ¹¹	-1,81 ^b	-1,90 ^b	-1,31 ^a	-2,03 ^a	-1,88 ^a	-2,40 ^C	-1,84 ^B	-1,56 ^{AB}	-1,34 ^A	<0,001	<0,001	0,172	0,053
b* ¹²	1,42 ^c	2,61 ^{bc}	7,35 ^a	3,28 ^b	5,98 ^a	5,26 ^A	4,69 ^{AB}	3,65 ^{BC}	3,26 ^C	<0,001	<0,001	0,425	0,219

Médias dos tratamentos com letras minúsculas diferentes na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05). Médias de exposição com diferentes letras maiúsculas na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05). ¹Con- Carne de peito de frango sem revestimento; ²Std- Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato; ³Cur-carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR; ⁴Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato + OEO; ⁵Blend- carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR + OEO; ⁶P_{trat} - efeito do tratamento; ⁷P_{exp} - efeito dos dias de armazenamento; ⁸P_{txd} - interação entre tratamento e dias de armazenamento; ⁹EPM - Erro padrão das Médias.; ¹⁰L* - medida da escuridão à claridade (um valor maior indica uma cor mais clara); ¹¹a* - medida de vermelhidão (maior valor indica uma cor mais vermelha); ¹²b* - medida do amarelo (maior valor indica uma cor mais amarela).

TABELA 5 - EFEITO DO REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA, OS PARÂMETROS DE QUALIDADE PH, PERDAS POR COCÇÃO E FORÇA DE CISALHAMENTO EM CARNE DE PEITO DE FRANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO.

	Dias de armazenamento							p-valor					
	Con ¹	Std ²	Cur ³	Óleo ⁴	Blend ⁵	1	3	5	7	P _{trat} ⁶	P _{exp} ⁷	P _{txd} ⁸	EPM ⁹
pH	5,58	5,56	5,57	5,60	5,59	5,54 ^B	5,58 ^{AB}	5,59 ^{AB}	5,63 ^A	0,515	0,004	0,452	0,008
Força de Cisalhamento ¹⁰	2,56	2,44	2,37	2,34	2,33	2,44 ^{AB}	2,21 ^B	2,30 ^B	2,69 ^A	0,220	0,003	0,295	0,049
P _{pc} ¹¹	28,59 ^{ab}	30,10 ^a	28,46 ^{ab}	29,47 ^a	26,61 ^b	27,44 ^B	29,67 ^A	29,42 ^A	27,83 ^{AB}	0,015	<0,001	0,057	0,340

Médias dos tratamentos com letras minúsculas diferentes na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05). Médias de exposição com diferentes letras maiúsculas na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05). ¹Con- Carne de peito de frango sem revestimento; ²Std- Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato; ³Cur-carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR; ⁴Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato + OEO; ⁵Blend- carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR + OEO; ⁶P_{trat} - efeito do tratamento; ⁷P_{exp} - efeito dos dias de armazenamento; ⁸P_{txe} - interação entre tratamento e dias de armazenamento; ⁹EPM - Erro padrão das Médias.; ¹⁰ Força de Cisalhamento - Kgf; ¹¹PPC- % de perda por cocção.

5.2.5 Análises Microbiológicas

As bactérias testadas apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos e dias de armazenamento (Tabela 6).

A menor contagem de *S. aureus* foi obtida para o Blend (5,34 log UFC/g). Corrêa et al. (2020) relataram a redução do número de colônias do microrganismo em carne de frango ($1,4 \pm 0,2$ log UFC/g) após o tratamento com CUR e fotoativação. Os autores afirmaram que a técnica é eficaz para a redução da contaminação superficial de *S. aureus*, pois o comprimento de onda testado (450 nm) possui baixa penetração. Ainda, os autores apontam que a superfície porosa da carne e o tamanho da amostra podem afetar a suscetibilidade dos micro-organismos presentes, pois é necessário garantir uma distribuição homogênea da CUR e da luz. Assim podemos afirmar que o tratamento utilizado na carne de frango nesse estudo foi efetivo e conseguiu garantir uma redução significativa das contagens de *S. aureus in situ*.

Já para a *E. coli*, as menores contagens foram obtidas com o Blend (5,08 log UFC/g), Óleo (5,23 log UFC/g) e Cur (5,29 log UFC/g), respectivamente. Como já demonstrado nos resultados *in vitro*, o óleo essencial também apresentou atividade antimicrobiana contra a *E. coli*. Lovison (2017) demonstrou a atividade antimicrobiana do OEO nanoemulsionado adicionado a patês de frango contaminados intencionalmente com a bactéria, onde apenas os tratamentos com 0,06% e 0,2% do óleo em nanoemulsões promoveram uma redução da multiplicação bacteriana de 2 e 3 ciclos log, respectivamente, após 8 dias da contaminação.

As contagens de *Salmonella* spp. nos tratamentos com o Blend (5,62 log UFC/g), Óleo (5,67 log UFC/g) e Cur (5,81 log UFC/g) foram estatisticamente iguais. Almeida-couto e Cestari (2017) avaliaram empanados de frango em embalagens ativas contendo diferentes óleos essenciais, entre eles o de orégano, e ao realizar a pesquisa da bactéria nos dias 0, 30 e 150 não foi detectada presença em 25 gramas. No presente trabalho, a adição de CUR fotoativa apresentou resultados estatisticamente semelhantes ao uso do óleo, assim pode-se concluir que o uso da técnica de inativação fotodinâmica também foi eficiente na redução da contagem do microrganismo quando comparado ao controle e o uso do filme de alginato.

Quanto aos dias de armazenamento, foi possível observar nas três bactérias a redução nas contagens durante o armazenamento, comparando os resultados do dia 1 e 7, alcançando a redução de 3,12 log para as contagens de *Salmonella* spp. Assim, podemos afirmar que o uso das embalagens bioativas e da técnica de fotoinativação dinâmica durante a estocagem dos peitos de frango apresentou um efeito protetor e antimicrobiano, assim como resultados semelhantes da literatura (LOVISON, 2017; CORRÉA et al., 2020).

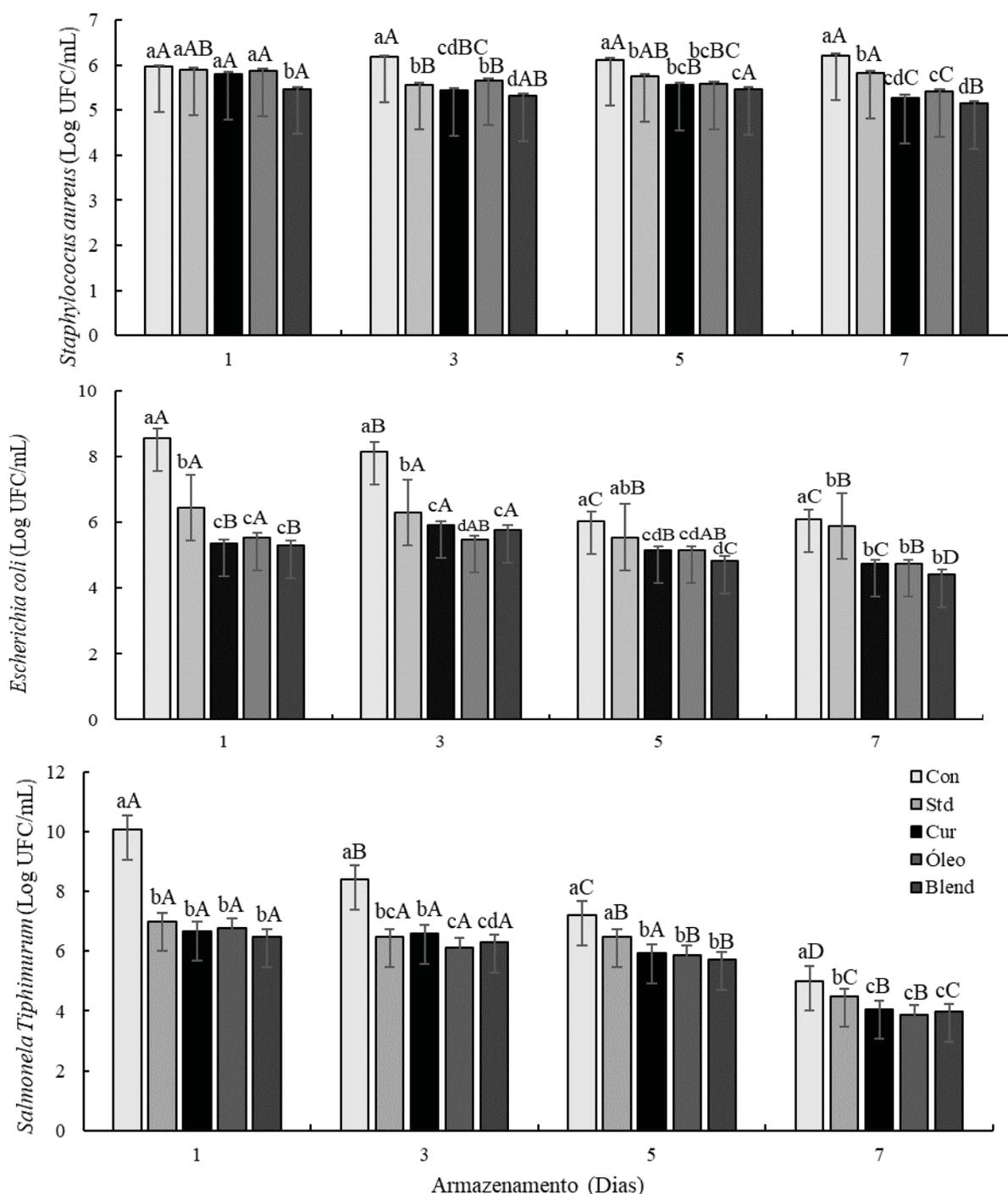
TABELA 6 - RESULTADOS DE CONTAGEM MICROBIANA NOS TRATAMENTOS E NOS DIAS DE ARMAZENAMENTO.

	Tratamentos							Dias de armazenamento				p-valor	
	Con ¹	Std ²	Cur ³	Óleo ⁴	Blend ⁵	1	3	5	7	P _{trat} ⁶	P _{exp} ⁷		P _{txd} ⁸
<i>S. aureus</i> ¹⁰	6,11 ^a	5,75 ^b	5,51 ^c	5,63 ^{bc}	5,34 ^d	5,79 ^A	5,63 ^{BC}	5,68 ^B	5,57 ^C	<0,001	<0,001	<0,001	0,036
<i>E. coli</i> ¹¹	7,20 ^a	6,04 ^b	5,29 ^c	5,23 ^{cd}	5,08 ^d	6,23 ^A	6,32 ^A	5,35 ^B	5,17 ^C	<0,001	<0,001	<0,001	0,116
<i>Salmonella</i>	7,67 ^a	6,23 ^b	5,81 ^c	5,67 ^c	5,62 ^c	7,40 ^A	6,78 ^B	6,34 ^C	4,28 ^C	<0,001	<0,001	<0,001	0,168

spp.¹²

Médias dos tratamentos com letras minúsculas diferentes na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05). Médias de exposição com diferentes letras maiúsculas na mesma linha são significativamente diferentes (p <0,05). ¹Con- Carne de peito de frango sem revestimento; ²Std- Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato de sódio; ³Cur-carne de peito de frango com revestimento de alginato de sódio + CUR; ⁴Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato de sódio + OEO; ⁵Blend- carne de peito de frango com revestimento de alginato de sódio + CUR + OEO; ⁶P_{trat} – efeito do tratamento; ⁷P_{exp} – efeito dos dias de armazenamento; ⁸P_{txe} – interação entre tratamento e dias de armazenamento; ⁹EPM – Erro padrão das Médias.; ¹⁰*Staphylococcus aureus* (ATCC 25923); ¹¹*Escherichia coli* (ATCC 25922); ¹²*Salmonella* spp (ATCC 14028).

GRÁFICO 3 - INTERAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS E O TEMPO DE ARMAZENAMENTO NO CRESCIMENTO MICROBIANO EM CARNE DE FRANGO COM REVESTIMENTO ADICIONADO DE OEO E CUR FOTOATIVADA DURANTE O ARMAZENAMENTO.



Diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre os dias de armazenamento em um tratamento ($p < 0,05$). Diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre os tratamentos no dia ($p < 0,05$). Con - Carne de peito de frango sem revestimento; Std - Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato; Cur - carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR; Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato + OEO; Blend - carne de peito de frango com revestimento de alginato + CUR + OEO.

FONTE: O autor, 2021.

5.2.6 Aceitação Visual do Consumidor e Intenção de Compra

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos com a aplicação do questionário sobre o perfil do consumidor (221 consumidores). Destes, mais da metade se identificaram como gênero feminino (129), idade entre 25 a 39 anos (129), nível superior completo (154), que consome carne de frango de 2 a 4 vezes na semana (137), adquire a carne em supermercado (196), tem preferência em adquirir carne congelada (117) e que têm a cor como um fator importante no momento da compra da carne (207). Pessoa et al. (2019) encontraram resultados que corroboram os hábitos de consumo dos entrevistados, sendo que 80,9% adquire a carne congelada e 98,6% a adquire em supermercados ou açougues.

A Tabela 8 apresenta os resultados da avaliação dos peitos de frango submetidos aos tratamentos quanto a aceitabilidade e intenção de compra dos consumidores. Foi observada maior aceitabilidade visual e intenção de compra pelas carnes revestidas isoladamente com OEO e CUR, respectivamente.

Lovison (2017) avaliou os atributos sensoriais de cor, odor, sabor e intenção de compra de patê de frango adicionado de OEO e encontrou resultados desfavoráveis, sendo que os tratamentos com maiores concentrações de OEO apresentaram menor aceitação para os atributos. Em outro estudo, os autores Jaspal et al. (2021) encontraram resultados com menor aceitação do consumidor pelos peitos de frango tratados com o óleo essencial de orégano, devido ao forte odor e sabor. Portanto, é possível que a tendência de aceitabilidade visual e intenção de compra pelos peitos de frango tratados com o revestimento adicionado de OEO, observado no presente estudo, não fosse verificada na avaliação sensorial.

Existem diferentes fatores que influenciam na aceitação visual da carne. Katiyo et al. (2020) avaliaram a correlação entre as características físico-químicas e microbiológicas com a avaliação sensorial de coxas de frango resfriadas durante 7 dias. Os autores conseguiram correlacionar o crescimento microbiano com alterações no odor detectadas pelos consumidores, mas não com as alterações de cor e aparência. No caso do presente estudo, como os avaliadores não foram submetidos a avaliação sensorial de olfato, a preferência atribuída as fotos dos peitos de frango dos diferentes tratamentos retrataram apenas a aparência destes, mimetizando as condições usuais de exposição e compra.

TABELA 7 - RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO SOBRE PREFERÊNCIAS DO CONSUMIDOR E HÁBITOS DE CONSUMO (N=221 CONSUMIDORES).

Pergunta	Resposta	Consumidores, %
Qual seu gênero?	Feminino	58,3
	Masculino	41,7
	Outro	
Qual sua idade?	De 18 a 24 anos	21,1
	De 25 a 39 anos	58,3
	De 40 a 54 anos	13,5
	Mais de 55 anos	7,2
Qual seu grau de escolaridade?	Primário incompleto	0,4
	Primário completo	0,4
	Segundo grau incompleto	1,3
	Segundo grau completo	6,3
	Nível superior incompleto	22
	Nível superior completo	69,5
Qual a sua frequência de consumo de carne de frango?	1 vez por mês	1,8
	2 vezes por mês	4,5
	1 vez na semana	22,4
	2-4 vezes na semana	61,9
	Mais que 5 vezes na semana	9,4
Onde você compra carne de frango?	Açougue	7,6
	Supermercado	88,8
	Outros	3,6
Como você prefere comprar carne de frango?	Fresca	16,6
	Embalada resfriada	30,5
	Embalada congelada	52,9
A cor é um fator importante para sua escolha no momento da compra de carne de frango?	Sim	93,7
	Não	6,3

TABELA 8 - EFEITO DO REVESTIMENTO E DA INCLUSÃO DA CUR E OEO NA ACEITAÇÃO DE PEITO DE FRANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO PELO CONSUMIDOR (N=221 CONSUMIDORES).

	Tratamentos					p-valor	EPM ⁶
	Con ¹	Std ²	Cur ³	Óleo ⁴	Blend ⁵		
Preferência ⁷	4,37 ^d	4,79 ^c	5,06 ^b	5,43 ^a	4,06 ^e	<0,001	0,028
Intenção de compra ⁸	1,47 ^d	1,53 ^c	1,62 ^b	1,81 ^a	1,45 ^d	<0,001	0,006

Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha são significativamente diferentes ($p < 0,05$).

¹Con- Carne de peito de frango sem revestimento; ²Std- Carne de peito de frango revestida com cobertura de alginato de sódio; ³Cur-carne de peito de frango com revestimento de alginato de sódio + CUR; ⁴Óleo - carne de peito de frango com revestimento de alginato de sódio + OEO; ⁵Blend- carne de peito de frango com revestimento de alginato de sódio + CUR + OEO; ⁶EPM – Erro padrão das Médias.; ⁷Preferência – Medida pela escala hedônica (1 = desgosto extremamente; 9 = gosto extremamente), sem o ponto central neutro (nem gosto nem não gosto); ⁸Intenção de compra (1- Não compraria; 2- Compraria).

6 CONCLUSÃO

Os revestimentos ativos mostraram potencial de inibição microbiana *in vitro*, redução nas contagens de micro-organismos patógenos na carne, capacidade de manter as características físico-químicas (cor, pH, maciez e a perda por cocção) durante o tempo de prateleira e apresentaram atividade antioxidante, diminuição da oxidação lipídica, aceitação visual e preferência no consumo dos compostos utilizados isoladamente.

O uso da técnica de IFDMO apresentou resultados promissores, levando em consideração a possibilidade de utiliza-la na estocagem ou exposição do produto ao consumidor, com efeitos benéficos para a qualidade do peito de frango resfriado. Ainda, a utilização de compostos bioativos deve ser avaliada como uma ferramenta importante na melhoria de aceitação visual da carne de frango e de intenção de compra pelo consumidor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os revestimentos bioativos expostos a inativação fotodinâmica apresentam a capacidade de preservar a carne de frango resfriada durante a sua vida de prateleira por sete dias. O uso da técnica de inativação fotodinâmica se mostrou eficiente no controle do crescimento de micro-organismos patogênicos e deteriorantes, e das reações oxidativas que levam a deterioração da carne. Os revestimentos de alginato adicionados de óleo essencial de orégano e curcumina isoladamente apresentaram resultados de aceitabilidade visual e intenção de compra superiores aos demais

tratamentos. Todavia, a avaliação sensorial traria diferentes percepções sobre as expectativas e novos aspectos a serem avaliados que contribuiriam para a melhoria desta e para o desenvolvimento de novas tecnologias que visem o aumento da qualidade associado a percepção do consumidor de carne de frango.

REFERÊNCIAS

- AIZPURUA-OLAIZOLA, O. et al. Microencapsulation and storage stability of polyphenols from *Vitis vinifera* grape wastes. **Food Chemistry**, v. 190, n. 1, p. 614-621, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615008614>. Acesso em: 21 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.117>.
- ALIABBASI, N.; FATHI, M.; EMAM-DJOMEH, Z. Curcumin: A promising bioactive agent for application in food packaging systems. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721004978?via%3Dihub>. Acesso em: 04 nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105520>.
- ALMEIDA-COUTO, J. M. F. de; CESTARI, L. A. Estabilidade oxidativa e microbiológica de empanados de frango em embalagens ativas. **Uningá Review**, v. 30, n. 1, p. 26-30, 2017. Disponível em: <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/2001>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- AMORIM, J. C. F. et al. Phototoxic action of light emitting diode in the in vitro viability of *Trichophyton rubrum*. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 87, n. 2, p. 250-255, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abd/a/xd4JzwrB6FNz6ydTgFzXCH/?lang=en>. Acesso em: 21 fev. 2022.
- BATTISTI, R. et al. Gelatin-coated paper with antimicrobial and antioxidant effect for beef packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 11, p. 115–124, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289416300527>. Acesso em: 10 out. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.01.009>.
- BENAVIDES, S.; VILLALOBOS-CARVAJAL, R.; REYES, J. E. Physical, mechanical and bacterial properties of alginate film: Effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 232-239, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877411002792>. Acesso em: 21 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.023>.
- BRITO, J. M. de S.; COELHO, R. M. D. Características microbiológicas da carne de frango: uma revisão narrativa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 62781-62795, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/31869>. Acesso em: 30 ago. 2021. <http://doi.org/10.34117/bjdv7n6-586>.
- CARVALHO, C. B. et al. Quality and Sensorial Evaluation of Beef Hamburger Made with Herbs, Spices and Reduced Sodium Content. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 16, n. 3, p. 254-267, 2017. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15428052.2017.1363108>. Acesso em: 21 fev. 2022. <https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1363108>.

CORRÊA, T. Q. et al. Effects of ultraviolet light and curcumin-mediated photodynamic inactivation on microbiological food safety: A study in meat and fruit. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, v. 30, p. 1-7, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32004721/>. Acesso em: 17 out. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101678>.

DALLE ZOTTE, A. et al. Effect of “wooden breast” appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. **Czech Journal of Animal Science**, v. 62, n. 2, p. 51-57, 2017. Disponível em: https://www.agriculturejournals.cz/web/cjas.htm?type=article&id=54_2016-CJAS. Acesso em: 10 jul. 2021. <https://doi.org/10.17221/54/2016-CJAS>.

DA SILVA JUNIOR, R.C.; CAMPANHOLI, K.D.S.S.; DE MORAIS, F.A.P.; POZZA, M.S.D.S. ; DOS SANTOS, G.T.; HIOKA N.; CAETANO, W. Development and applications of safranin-loaded Pluronic® F127 and P123 photoactive nanocarriers for prevention of bovine mastitis: In vitro and in vivo studies. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143720818324471?pes=vor> Acesso em: 10 jul. 2021. **Dyes and Pigments**, 167 (2019), pp. 204-215, 10.1016/j.dyepig.2019.04.037

DEPEC. **Departamento de pesquisas e estudos econômicos pecuária**. 2019. Disponível em: https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_pecuaria.pdf. Acesso em: 07 fev. 2022.

GHATE, V. S.; ZHOU, W.; YUK, H. G. Perspectives and trends in the application of photodynamic inactivation for microbiological food safety. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, p. 402–424, 2019. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12418>. Acesso em: 05 nov. 2021. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12418>.

HONIKEL, K. Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of **Meat Science**, v. 49, n. 4, 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174098000345>. Acesso em: 14 fev. 2022. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5).

JASPAL, M. H. et al. Effect of oregano essential oil or lactic acid treatments combined with air and modified atmosphere packaging on the quality and storage properties of chicken breast meat. **LWT – Food Science and Technology**, v. 146, n. (Julho), p. 1-8. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821006125>. Acesso em: 14 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111459>.

KATIYO, W. et al. Sensory implications of chicken meat spoilage in relation to microbial and physicochemical characteristics during refrigerated storage. **LWT – Food Science and Technology**, v. 128, p. 1-9, 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820304576>. Acesso em: 18 jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109468>.

KEMPINSKI, E. M. B. C. et al. Development and quality evaluation of infant food with oregano essential oil for children diagnosed with cerebral palsy. **LWT – Food Science and Technology**, v. 84, p. 579-585, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643817304206>. Acesso em: 24 mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.016>.

KHALAFALLA, F. A.; ALI, F. H. M.; HASSAN, A. H. A. Quality improvement and shelf-life extension of refrigerated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets using natural herbs. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, n. 1, p. 33-40, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314853515000062?via%3Dihub>. Acesso em: 21 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.02.005>.

LI, W. et al. Comparison of antioxidant capacity and phenolic compounds of berries, chokecherry and seabuckthorn. **Central European Journal of Biology**, v. 4, p. 499-506, 2009. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.2478/s11535-009-0041-1/html>. Acesso em: 10 jul. 2021. <https://doi.org/10.2478/s11535-009-0041-1>.

LOVISON, M. M. **Óleo essencial de orégano nanoemulsionado: produção, caracterização físico-química, atividade antimicrobiana e antioxidante in vitro e aplicação em patê de frango**. 2017. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Setor de Ciências da Engenharia de Alimentos, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-16082017-164553/pt-br.php>. Acesso em: 17 dez. 2021.

MONTESCHIO, J. de O. et al. Effect of copaíba essential oil (*Copaifera officinalis* L.) as a natural preservative on the oxidation and shelf life of sheep burgers. **Plos One**, v. 16, n. 3, 2021. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0248499>. Acesso em: 09 fev 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248499>.

PARREIDT, T. S.; MULLER, K.; SCHMID, M. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. **Foods**, v. 170, n. 7, p. 1-38, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30336642/>. Acesso em: 29 set. 2021. <http://doi.org/10.3390/foods7100170>.

PASSETTI, R. A. C. et al. Validation of photographs usage to evaluate meat visual acceptability of young bulls finished in feedlot fed with or without essential oils. **Meat Science**, v. 123, p. 105-111, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174016302868?via%3Dihub>. Acesso em: 14 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.09.009>.

PESSOA, J. P. et al. Avaliação do comportamento de risco de manipuladores de alimentos e hábito de consumo de carne de frango no Brasil. **Higiene Alimentar**, v.

33, n. 288/289, p. 1686-1690. Disponível em:
<https://higienealimentar.com.br/hig2019/>. Acesso em: 27 dez. 2021.

PINTO, L. A. M. et al. Effect of alginate-based edible coating with oatmeal on the quality of Nile tilapia fillets. **Chemical Engineering Transactions**, v. 75, n. March, p. 589–594, 2019. Disponível em: <https://shortest.link/2XfZ>. Acesso em: 14 fev. 2022.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9, p. 1231-1237, 1999. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0891584998003153>. Acesso em: 10 jul. 2021. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).

REYES, L. M.; LANDGRAF, M.; SOBRAL, P. J. A. Gelatin-based films activated with red propolis ethanolic extract and essential oils. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 27, p. 1-12, 2021. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289420306256>. Acesso em: 01 out. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.100607>.

SCATOLINI, A. M. et al. Características qualitativas da carne de frango armazenada em diferentes condições de atmosfera modificada. **Higiene Alimentar**, v. 25, n. 196/197, p. 142-148, 2011. Disponível em: <https://higienealimentar.com.br/196-2/>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SIRVIÖ, J. A. et al. Biocomposite cellulose-alginate films: promising packaging materials. **Food Chemistry**, v. 151, n. 15, p. 343-351, 2014. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613016610?via%3Dihub>. Acesso em: 21 fev. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.037>.

VIEIRA, B. B. et al. Combination of chitosan coating and clove essential oil reduces lipid oxidation and microbial growth in frozen stored tambaqui (*Colossoma macropomum*) fillets. **LWT - Food Science and Technology**, v. 116, p. 1-7, 2019. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819308886>. Acesso em: 31 out. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108546>.

VITAL, A. C. P. et al. Effect of edible and active coating (with rosemary and oregano essential oils) on beef characteristics and consumer acceptability. **Plos One**, v. 11, n. 8, p. 1-15, 2016. Disponível em:
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0160535>. Acesso em: 10 jul. 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160535>.