



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E
SOCIEDADE
MESTRADO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

PAULO DE TARSO DE PAULA SANTIAGO FILHO

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE GENGIBRE (*Zingiber
officinale*) NA QUALIDADE DE FILÉS DE PEITO DE FRANGO
REFRIGERADOS**

MOSSORÓ

2026

PAULO DE TARSO DE PAULA SANTIAGO FILHO

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE GENGIBRE (*Zingiber officinale*) NA QUALIDADE
DE FILÉS DE PEITO DE FRANGO REFRIGERADOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semiárido

Orientador: Karoline Mikaelle de Paiva Soares
, Profa. Dra.

Coorientador: Edna Maria Mendes Aroucha
, Profa. Dra.

MOSSORÓ

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S195a Santiago, Paulo de Tarso de Paula Santiago Filho.
Avaliação do extrato de gengibre (ZINGIBER OFFICINALE) na qualidade de filés de peito de frango refrigerados / Paulo de Tarso de Paula Santiago Filho Santiago. - 2026.
68 f. : il.

Orientadora: Karoline Mikaelle de Paiva Soares.
Coorientadora: Edna Maria Mendes Aroucha.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em --Selecione um Curso ou Programa--, 2026.

1. Análise de alimentos. 2. Conservação. 3. Microrganismos. I. Soares, Karoline Mikaelle de Paiva, orient. II. Aroucha, Edna Maria Mendes, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Paulo De Tarso De Paula Santiago Filho

Avaliação do extrato de gengibre (*Zingiber officinale*) na qualidade de filés de peito de frango refrigerados

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade do Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semiárido

Defendida em: 27/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



KAROLINE MIKAELLE DE PAIVA SOARES

Data: 25/04/2026 18:23:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Karoline Mikaelle de Paiva Soares, Prof. Dra. (UFERSA)

Documento assinado digitalmente



ANA CARLA DIOGENES SUASSUNA BEZERRA

Data: 25/04/2026 13:05:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ana Carla Diógenes Suassuna Bezerra, Prof. Dra. (UFERSA)

Documento assinado digitalmente



ELIKA SUZIANNY DE SOUSA

Data: 25/04/2026 17:00:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Elika Suzianny de Sousa, Prof. Dra. (IFRN)

Membro Examinador

*Para meu Avô José Valdir, meu tio Paulo, meu
primo Gabriel Machado e minha tia Hosana
Machado (Mãe Ganga)
(In Memoriam).*

*A Deus, por guiar e me proteger nesta jornada, à minha filha, fonte de força e motivação, à
minha mãe, ao meu pai e aos meus avós por todo o suporte, às famílias Santiago e Carvalho
e aos amigos, pelo apoio constante.
Eu dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de todas as possibilidades, princípio e sustentação de cada caminho trilhado. Sua presença constante tornou viável a realização deste trabalho, fortalecendo-me nos momentos de incerteza e guiando-me com sabedoria ao longo de toda a jornada.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), pela oportunidade de formação e pelo suporte institucional oferecido, especialmente por meio de sua infraestrutura e de seu amparo tecnológico, fundamentais para o desenvolvimento das atividades acadêmicas e experimentais.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade (ATS), pelo suporte acadêmico, pela condução científica e pela contribuição significativa à minha formação intelectual, técnica e humana.

À minha orientadora, Karoline Mikaelle de Paiva Soares, e à minha coorientadora, Edna Maria Mendes Aroucha, pela orientação segura, disponibilidade, paciência e contribuições fundamentais para a condução, o amadurecimento e a finalização deste trabalho.

Aos laboratórios que possibilitaram a execução desta pesquisa, em especial aos Laboratórios de Biotecnologia de Alimentos (LABA), Microbiologia Veterinária (LAMIV), Análises Instrumentais e Sensoriais (LANIS), Pós-Colheita e ao Laboratório de Engenharia Eletroquímica, cujo suporte técnico e estrutural foi essencial para o desenvolvimento experimental.

Aos técnicos Dr. José Gustavo Lima de Almeida, Dr. Caio Sérgio Santos, José Aldenor de Sousa, Luiz Odonil Gomes dos Santos, e ao aluno pesquisador Marcos Vinícius Queiroz Ambrósio Correia, pelo auxílio, dedicação e apoio durante as etapas experimentais e analíticas da pesquisa.

Aos meus amigos e mentores Assunção Oliveira de Almeida, Antonio Saturnino Nogueira, Ivania Miranda De Souza e Maria Edna Diógenes, que, por meio de diálogos, reuniões e da partilha de experiências, contribuíram significativamente para o fortalecimento intelectual e emocional necessário ao enfrentamento dos desafios ao longo desta trajetória.

Aos colegas de mestrado, especialmente Flamênia Shirley Ribeiro Silva, cujo companheirismo tornou os dias de estudo mais leves e os desafios acadêmicos mais inspiradores.

Aos amigos, em especial Aguinaldo Coelho de Oliveira e Wilkem Brendon de Lima, que como conselheiros exercem papel fundamental na orientação de decisões importantes, oferecendo apoio, escuta e direcionamento ao longo desse percurso.

Às minhas avós, Maria Sobé de Carvalho Machado e Francisca Lígia de Paula Santiago, professoras educadoras por essência e exemplos de dedicação ao ensino, que me ofereceram base educacional, valores e inspiração.

À minha mãe, Iara Carvalho Machado Santiago, pelo apoio constante, pelos conselhos sábios e pela confiança inabalável em minhas decisões e capacidades, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Ao meu pai, Paulo de Tarso de Paula Santiago, pai, amigo e companheiro que ofereceu apoio irrestrito, incentivo contínuo e suporte fundamental para a concretização deste trabalho.

À minha companheira, Layza Maria de Lima Souza, que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio emocional, compreensão e sabedoria, tornando essa caminhada mais leve, possível e significativa.

À minha filha, Maria Cecília Araújo Santiago, razão maior do meu viver e fonte inesgotável de força, esperança e motivação. Sua existência dá sentido a cada conquista e impulsiona minha luta diária por um futuro melhor.

Ao meu irmão João Gabriel Coelho Machado, à minha sobrinha Tainá Machado Santiago de Almeida Alves e ao meu primo Pedro Miguel Giffoni Machado Ferreira, crianças recém-chegadas à família, cujo amor renovador reforça a certeza de que conquistas como esta podem gerar frutos, exemplos e inspiração para uma nova geração.

“Deus é o início e está presente em tudo o que compõe o universo. A vida é Deus participando de sua própria criação. Deus deseja ver, tocar, cheirar, degustar e ouvir as maravilhas que criou. De que serviria a magnitude das cores das estrelas se não houvesse quem as contemplasse? Essa e outras reflexões podem ser aplicadas e descritas ao mundo que alcançamos em nossas normalidades humanas. Perpendicular as emoções, existe a ciência e suas razões, explicando crenças e despertando inspirações.”
—Texto de autoria própria.

RESUMO

O uso de substâncias naturais tem se destacado como alternativa sustentável para a preservação de alimentos, visando à redução do uso de aditivos sintéticos e ao prolongamento da vida útil de produtos cárneos. Neste contexto, o presente trabalho, teve como objetivo avaliar a atividade antioxidante, antimicrobiana e os efeitos do extrato hidroalcoólico de gengibre (*Zingiber officinale*) sobre a qualidade microbiológica e físico-química de filés de peito de frango estocados em refrigeração. A atividade antioxidante do extrato foi determinada pelo método do radical DPPH, sendo expressa pelo valor de IC₅₀. A avaliação antimicrobiana foi realizada por meio da determinação da Concentração Inibitória Mínima 50% (CIM₅₀) frente à *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*. Para a aplicação em carne de frango, os filés foram submetidos tratamentos por imersão e pulverização com o extrato, os quais foram separados nos seguintes grupos: controle sem imersão, controle por imersão em água destilada durante 30 minutos, controle por pulverização, imersão em extrato durante 30 minutos e pulverização com extrato; sendo avaliados durante seis dias de armazenamento refrigerado quanto à contagem de microrganismos aeróbios mesófilos, pH, cor (L*, a*, b*), capacidade de retenção de água e força de cisalhamento. O extrato de gengibre apresentou relevante atividade antioxidante, evidenciada pelo baixo valor de IC₅₀, além de atividade antimicrobiana frente aos microrganismos testados, com comportamento dose-dependente em *Pseudomonas aeruginosa* e comportamento hormético em *Staphylococcus aureus*. Nos cortes de frango, o tratamento por imersão demonstrou maior eficácia inicial na redução das contagens microbianas, embora não tenha sido suficiente para manter os níveis dentro dos limites microbiológicos recomendados ao longo do armazenamento. As análises físico-químicas indicaram que o extrato não promoveu alterações indesejáveis nos parâmetros de pH e cor, enquanto influenciou a capacidade de retenção de água e a força de cisalhamento, sugerindo interações entre os compostos bioativos do gengibre e a matriz protéica da carne. Conclui-se que o extrato hidroalcoólico de gengibre apresenta potencial antioxidante e antimicrobiano, podendo contribuir na manutenção de aspectos qualitativos relacionados à conservação de filés de peito de frango, especialmente quando aplicado por imersão, embora sejam necessários ajustes de concentração e estratégias combinadas para maior eficácia conservante.

Palavras-chave: análise de alimentos, conservação, microrganismos.

ABSTRACT

The use of natural substances has stood out as a sustainable alternative for food preservation, aiming to reduce the use of synthetic additives and extend the shelf life of meat products. In this context, the present work aimed to evaluate the antioxidant and antimicrobial activity and the effects of the hydroalcoholic extract of ginger (*Zingiber officinale*) on the microbiological and physicochemical quality of chicken breast fillets stored under refrigeration. The antioxidant activity of the extract was determined by the DPPH radical scavenging method, expressed as the IC_{50} value. The antimicrobial evaluation was performed by determining the Minimum Inhibitory Concentration 50% (MIC_{50}) against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. For application to chicken meat, fillets were subjected to immersion and spray treatments with the extract, which were separated into the following groups: control without immersion, control by immersion in distilled water for 30 minutes, control by spraying, immersion in extract for 30 minutes, and spraying with extract; they were evaluated during six days of refrigerated storage for mesophilic aerobic microorganism count, pH, color (L^* , a^* , b^*), water retention capacity, and shear force. The ginger extract showed significant antioxidant activity, evidenced by the low IC_{50} value, as well as antimicrobial activity against the tested microorganisms, with dose-dependent behavior in *Pseudomonas aeruginosa* and hormetic behavior in *Staphylococcus aureus*. In chicken cuts, the immersion treatment demonstrated greater initial efficacy in reducing microbial counts, although it was not sufficient to maintain levels within the recommended microbiological limits throughout storage. Physicochemical analyses indicated that the extract did not promote undesirable changes in pH and color parameters, while influencing water retention capacity and shear force, suggesting interactions between the bioactive compounds of ginger and the protein matrix of meat. It is concluded that the hydroalcoholic extract of ginger presents antioxidant and antimicrobial potential, and may contribute to maintaining qualitative aspects related to the preservation of chicken breast fillets, especially when applied by immersion, although adjustments in concentration and combined strategies are necessary for greater preservative efficacy.

Keywords: food analysis, preservation, microorganisms

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Gráfico 1 - Avaliação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) do extrato hidroalcoólico de gengibre sobre <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	45
Gráfico 2	– Avaliação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) do extrato hidroalcoólico de gengibre sobre <i>Staphylococcus aureus</i>	46
Gráfico 3	– Avaliação de pH.....	53
Gráfico 4	– Avaliação de cor.....	55
Gráfico 5	– Avaliação de Capacidade de Retenção de Água (CRA).....	57
Gráfico 6	– Avaliação de Força de Cisalhamento.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Descrição dos tratamentos aplicados aos cubos de peito de frango avaliados nos dias 0, 3 e 6.....	38
Tabela 2	– Valores de média $\pm$ desvio padrão obtidos a partir da análise microbiológica de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de gengibre na contagem de colônias de microrganismos mesófilos aeróbios, processadas em log10UFC/g.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

pH	Potencial Hidrogeniônico
BHT	Butil-hidroxitolueno
BHA	Butil-hidroxianiso
ABTS	2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico)
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
BHI	Brain Heart Infusion
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazila

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Mercado do produto cárneos de frango.....	17
2.2 Carne de Frango: estrutura, composição e deterioração.....	18
2.3 Sustentabilidade na cadeia avícola e a busca por conservantes naturais.....	19
2.4 Conservação de cortes de frango: desafios e soluções.....	20
2.5 Conservantes alimentares.....	23
2.5.1 Conservantes químicos: tipos e mecanismos de ação.....	23
2.5.2 Aplicação de conservantes em cortes de frango.....	23
2.5.2.1 Imersão (dipping).....	24
2.5.2.2 Pulverização.....	24
2.5.2.3 Marinação.....	24
2.5.2.4 Revestimentos comestíveis.....	24
2.6 Microrganismos em carnes de frango.....	25
2.6.1 Microrganismos mesófilos: prevalência e riscos à saúde.....	25
2.6.2 Estratégias de controle microbiológico em carnes de frango.....	26
2.7 Gengibre (<i>Zingiber officinale</i> Roscoe): um recurso natural multifuncional.....	27
2.7.1 Composição Química e Propriedades Bioativas.....	27
2.7.2 Propriedades Antimicrobianas e Antioxidantes.....	28
2.7.3 Potencial para Redução de Impactos Ambientais.....	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 Produção do extrato hidroalcoólico de gengibre.....	35
3.2 Análise de antioxidante (DPPH).....	36
3.3 Avaliação da Capacidade Inibitória Mínima (CIM).....	36
3.4 Aplicação do extrato hidroalcoólico de gengibre em cortes de frango.....	37
3.5 Avaliação de aspectos qualitativos.....	39
3.5.1 Análises microbiológicas.....	39
3.5.1.1 Bactérias aeróbias mesófilas.....	39
3.5.2 Análises físico-químicas.....	39
3.5.2.1 pH.....	40
3.5.2.2 Cor.....	40
3.5.2.3 Capacidade Retenção de Água (CRA).....	40
3.5.2.4 Força de cisalhamento.....	41
3.6 Análise estatística.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Avaliação antioxidante (DPPH) do extrato hidroalcoólico de gengibre.....	42
4.2 Concentração Inibitória Mínima 50% (CIM ₅₀) do extrato hidroalcoólico de gengibre.....	44
4.3 Avaliação de aspectos qualitativos de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de <i>Zingiber officinale</i>	49
4.3.1 Análise microbiológica.....	49

4.3.2 Análise físico-química.....	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	60

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a segurança alimentar e a sustentabilidade tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias voltadas à conservação de alimentos, especialmente aquelas que utilizam compostos naturais como alternativa aos conservantes químicos tradicionais (Siatkowski; Stefano; Chiusoli, 2020). No setor de produtos cárneos, a deterioração microbiológica e oxidativa representa um dos principais fatores limitantes da vida útil, particularmente em carnes refrigeradas, como os filés de peito de frango, que apresentam elevada atividade de água e composição favorável ao crescimento microbiano (Food Safety Brazil, 2025).

A carne de frango destaca-se pelo elevado consumo mundial, devido ao seu valor nutricional, acessibilidade econômica e versatilidade culinária (Vannier *et al.*, 2022). Entretanto, sua elevada perecibilidade exige estratégias eficazes de conservação, a fim de garantir a qualidade físico-química, microbiológica e sensorial durante o armazenamento refrigerado. Práticas inadequadas de conservação e armazenamento podem resultar em perdas significativas, comprometendo a segurança dos alimentos e contribuindo para o desperdício ao longo da cadeia produtiva (Siatkowski; Stefano; Chiusole, 2020).

Nesse contexto, o uso de conservantes naturais tem despertado interesse crescente na tecnologia de alimentos, por apresentar potencial antimicrobiano e antioxidante, além de maior aceitação pelos consumidores (Da Silva *et al.*, 2021). Dentre esses conservantes naturais, o gengibre (*Zingiber officinale*) destaca-se por conter substâncias bioativas, como gingerol, zingibereno e shogaol, reconhecidas por suas propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias (Ferreira *et al.*, 2025), que podem contribuir para a preservação da qualidade de alimentos de origem animal.

A aplicação de extratos vegetais em produtos cárneos refrigerados surge, portanto, como uma estratégia promissora para prolongar a vida útil, reduzir o uso de aditivos sintéticos e minimizar perdas alimentares, alinhando-se aos princípios da produção sustentável e da segurança alimentar. Estudos indicam que o uso de extratos naturais pode retardar processos oxidativos e inibir o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos, contribuindo para a manutenção da qualidade dos alimentos durante o armazenamento (Maciel *et al.*, 2024; Simer, 2024; Ferreira *et al.*, 2025). Além disso, o uso de conservantes naturais apresenta vantagens ambientais significativas, uma vez que conservantes químicos amplamente utilizados podem causar impactos negativos ao meio ambiente, enquanto os conservantes naturais tendem a ser ecologicamente mais aceitos pois são mais facilmente absorvidos sem causar danos à natureza (Peng, 2023).

Considerando o potencial no impacto ambiental e social da aplicação de tecnologias sustentáveis na conservação de alimentos, este estudo estabelece diálogo direto com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais buscam integrar o progresso científico, a inovação e práticas responsáveis ao bem-estar humano e ambiental. A presente pesquisa contempla a resolução de problemas específicos, como a conservação de cortes de frango, ao contribuir para metas globais relacionadas à promoção da segurança alimentar, à redução do desperdício de alimentos e à preservação dos recursos naturais. Dessa forma, a investigação proposta apresenta alinhamento com diversos ODS. Dentre elas o trabalho

compactua com as ODS 2 (Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e a melhoria da nutrição, bem como promover a agricultura sustentável), 3 (Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades), 12 (Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis), 15 (Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade) e 15 (Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do extrato hidroalcoólico de gengibre, obtido a partir da raiz sem casca na concentração de 10%, sobre a qualidade físico-química e microbiológica de filés de peito de frango armazenados sob refrigeração. Busca-se avaliar o potencial do extrato como conservante natural, bem como sua eficácia na extensão da vida útil do produto, , contribuindo para o desenvolvimento de alternativas tecnológicas sustentáveis na conservação de alimentos cárneos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mercado do produto cárneos de frango

A maior parte da produção avícola industrial, que engloba frangos de corte, destinados à produção de carne, e aves poedeiras, utilizadas para a produção de ovos, é realizada em sistemas de criação intensiva (Gržinić *et al.*, 2023).

A avicultura de corte moderna é resultado do sucesso da seleção genética voltada ao aumento do desempenho produtivo de aves da espécie *Gallus gallus domesticus*, sendo o frango de corte um exemplo claro dessas transformações, pois foi selecionado principalmente pela alta taxa de crescimento e maior rendimento de carcaça, especialmente na região do peito, dessa forma esse processo contínuo permitiu avanços significativos na indústria avícola e viabilizou a produção em larga escala de carne de frango (Petracci; Cavani, 2012).

De acordo com a Portaria nº 210/1998 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), considera-se carne de aves a porção muscular comestível declarada apta à alimentação humana, após inspeção veterinária oficial realizada antes e após o abate (Brasil, 1998).

De acordo com Makarynska e Vorona (2022), os produtos avícolas destacam-se como os mais acessíveis e amplamente difundidos para o fornecimento de proteínas de origem animal à população mundial. Além disso, a produção avícola apresenta maior eficiência econômica, uma vez que o consumo de ração pelas aves é mais rentável quando comparado à produção de outros tipos de carne representando quase 40% da produção global de carne em 2020, mantendo participação expressiva ao longo das últimas três décadas (FAO, 2023).

Em termos globais, de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA, 2025), em 2024 a carne de frango configurou-se como a segunda proteína animal mais consumida no mundo, com produção superior a 101 milhões de toneladas, superando a carne bovina e ficando atrás apenas da carne suína e esse destaque está associado, entre outros fatores, ao seu preço mais acessível em comparação às demais opções disponíveis no mercado internacional.

No contexto nacional, a avicultura brasileira destaca-se no mercado mundial de carnes, sendo reconhecida como uma atividade econômica em expansão e caracterizada pela ampla difusão tecnológica, independentemente de fronteiras geográficas. De acordo com dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021), em 2020 o Brasil ocupou a posição de terceiro maior produtor mundial de frangos de corte, com uma produção de 13,845 milhões de toneladas de carne de frango, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, com 20,239

milhões de toneladas, e da China, que registrou uma produção de 14,600 milhões de toneladas.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2024 o rebanho de galináceos apresentou o maior quantitativo entre os tipos de rebanho no Brasil, totalizando 1.581.215.552 cabeças. No estado do Rio Grande do Norte, esse contingente alcançou 12.709.325 cabeças, destacando-se o município de Mossoró como a localidade com o maior número de galinhas, somando 2.048.190 cabeças na categoria total de Galináceos e 778.401 de galinhas (IBGE, 2024).

2.2 Carne de Frango: estrutura, composição e deterioração

As carnes, de modo geral, possuem uma composição onde a água predomina, variando de 60% a 80%, seguida por um teor proteico que se situa entre 15% e 25% e seus componentes restantes são majoritariamente lipídios, minerais, pigmentos e vitaminas, sendo um alimento de alta preferência entre os consumidores (Bragagnolo, 2001).

Do ponto de vista estrutural, a carne é um sistema biológico complexo, composto majoritariamente por tecido muscular, além de tecidos conjuntivo, adiposo e nervoso, sendo o tecido muscular formado por feixes de fibras musculares (miócitos), que são as células musculares alongadas, sendo que, a organização, o tipo metabólico (oxidativo ou glicolítico) e o diâmetro dessas fibras são determinantes para a textura final da carne (Listrat *et al.*, 2016)

O tecido conjuntivo intramuscular atua como um componente crucial na determinação da textura da carne, sendo o principal responsável pela tenacidade de fundo permeando e envolvendo as fibras (endomísio) e os feixes musculares (perimísio), sendo composto principalmente pela proteína colágeno, que forma uma rede estrutural, no qual, sua quantidade e as ligações cruzadas (crosslinks) influenciam diretamente a dureza da carne (Purslow, 2005).

A transição do músculo para carne é um processo bioquímico que se inicia após o abate, culminando no rigor mortis devido à depleção de ATP e a formação permanente de ligações entre actina e miosina, a forma como esse processo ocorre, especialmente a velocidade da queda do pH enquanto a carcaça ainda está quente, influencia diretamente a qualidade final da carne, afetando características como retenção de água, cor e maciez (Terlouw *et al.*, 2021).

A qualidade da carne de frango é um conceito multifatorial, determinado por um conjunto de atributos físico-químicos, sensoriais e de segurança que influenciam a aceitação

do produto pelo consumidor. Entre os parâmetros físico-químicos mais importantes estão o pH, a cor, a capacidade de retenção de água (CRA) e a textura, os quais, são profundamente influenciados por uma cascata de eventos que ocorrem desde a granja até o processamento, sendo classificados como fatores ante e post-mortem (Bihan-Duval *et al.*, 2008).

2.3 Sustentabilidade na cadeia avícola e a busca por conservantes naturais

A produção global de carne de aves tem apresentado crescimento expressivo, consolidando-se como um dos principais pilares do suprimento de proteína animal em escala mundial, ao responder por aproximadamente 40% da produção total de carnes (Bist *et al.*, 2024). Esse cenário é impulsionado pelo crescimento populacional, mudanças nos padrões de consumo e maior eficiência produtiva da avicultura quando comparada a outras cadeias de produção animal Mottet (2017 apud Bist *et al.*, 2024). Contudo, a intensificação dos sistemas produtivos necessária para atender a essa demanda crescente acarreta desafios significativos relacionados à sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva (Gržinić *et al.*, 2023; Bist *et al.*, 2024).

A sustentabilidade na produção avícola envolve a gestão integrada de diversos fatores, incluindo o uso eficiente de recursos naturais, como água e terra, especialmente destinadas à produção de grãos para ração, o controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de amônia, a adequada gestão de dejetos e resíduos, bem como a garantia do bem-estar animal (Leinonen; Kyriazakis, 2016; Gržinić *et al.*, 2023).

Nesse contexto, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, estabelecidos pela Organização das Nações Unidas, oferecem um referencial global para o alinhamento das práticas produtivas a metas mais amplas de desenvolvimento sustentável. A produção avícola sustentável dialoga diretamente com o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ao buscar garantir o acesso a alimentos seguros e nutritivos de forma ambientalmente responsável; com o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao priorizar a redução do desperdício de alimentos e o uso eficiente dos recursos naturais; e com o ODS 15 (Vida Terrestre), ao demandar práticas que minimizem a pressão exercida sobre os ecossistemas terrestres (ONU, 2015)

A elevada perecibilidade da carne de frango representa um desafio relevante para a sustentabilidade, ao contribuir para perdas e desperdícios ao longo de toda a cadeia produtiva, desde as etapas de processamento até o consumidor final (ODS 12). A deterioração ocorre principalmente em decorrência do crescimento de microrganismos, incluindo bactérias

mesófilas deteriorantes e patogênicas, bem como de processos oxidativos que promovem alterações na cor, no sabor, no odor e na textura, comprometendo a segurança e a aceitabilidade do produto (Gržinić *et al.*, 2023; Yu; Negi; Yoo, 2021). A ampliação da vida útil por meio da aplicação de métodos de conservação eficazes torna-se, portanto, essencial para minimizar essas perdas e otimizar a utilização dos recursos empregados na produção (Lisboa *et al.*, 2024).

Embora conservantes sintéticos sejam amplamente utilizados, há uma crescente demanda por produtos mais “naturais” e com rótulo limpo, o que tem impulsionado a busca por alternativas de origem vegetal, como extratos de plantas, ervas e especiarias, ricos em compostos bioativos, esses apresentam potencial como conservantes naturais por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, capazes de retardar a oxidação lipídica e o crescimento microbiano em produtos cárneos (Yu; Negi; Yoo, 2021; Cheng *et al.*, 2024).

2.4 Conservação de cortes de frango: desafios e soluções

A carne de frango é altamente perecível devido à sua composição rica em proteínas, aminoácidos livres, lipídios, vitaminas, sais minerais e elevado teor de umidade, fatores que favorecem a proliferação microbiana e a ocorrência de reações químicas como a oxidação lipídica ao longo do processamento e armazenamento, essas transformações comprometem rapidamente características sensoriais como odor, cor, textura e sabor, reduzindo a vida útil do produto sob refrigeração (Katiyo *et al.*, 2020).

A deterioração microbiana constitui a principal causa da perda de qualidade da carne de frango fresca mantida sob refrigeração, por exemplo, bactérias psicotróficas, capazes de se desenvolver em baixas temperaturas, atuam como os agentes predominantes nesse processo e em condições de armazenamento aeróbico, o gênero *Pseudomonas* é frequentemente apontado como o principal responsável pela deterioração, resultando na produção de compostos voláteis associados a odores desagradáveis característicos (Casaburi *et al.*, 2015).

Outra classe, os microrganismos mesófilos, desempenham papel relevante por representarem a carga microbiana inicial do produto e influenciarem diretamente a velocidade de sua deterioração, especialmente em situações de manipulação inadequada ou de falhas na cadeia do frio acelerando a perda da qualidade sensorial e reduzir a vida útil da carne, sendo amplamente empregados como indicadores das condições higiênico-sanitárias e de conservação em carnes de aves (Rouger; Tresse; Zagorec, 2017; International Commission on Microbiological Specifications for Foods, 2002).

Além da deterioração sensorial, a contaminação por bactérias patogênicas constitui uma preocupação relevante para a segurança alimentar. Microrganismos como *Salmonella* spp. e *Campylobacter* spp. são frequentemente associados à carne de aves e, embora possam não provocar alterações sensoriais perceptíveis, representam um risco significativo à saúde pública, por isso, o controle do crescimento tanto de bactérias deteriorantes quanto de patógenos configura-se como um objetivo central das tecnologias de conservação de carnes (Mead, 2004).

Paralelamente à ação microbiana, a oxidação lipídica constitui um processo químico de grande relevância na deterioração da carne de frango. Este é um processo relevante na deterioração da carne de frango, especialmente em cortes mais gordurosos e ricos em ácidos graxos poli-insaturados, sem controle adequado leva à formação de compostos como o malonaldeído, responsáveis pelo ranço, com odor e sabor desagradáveis e perda do valor nutricional, sendo desencadeada por fatores como luz, oxigênio e íons metálicos, podendo ocorrer mesmo sob refrigeração (Min; Ahn, 2005).

Nesse contexto, a utilização de antioxidantes constitui uma estratégia eficaz para retardar ou inibir a oxidação, contribuindo para a manutenção da qualidade e para o prolongamento da vida útil da carne. Embora antioxidantes sintéticos como BHT e BHA tenham sido amplamente utilizados, há uma crescente preferência por compostos naturais de origem vegetal, ricos em fenólicos, que apresentam ação contra a oxidação lipídica e atendem à demanda por produtos mais saudáveis (Fletcher, 2002).

Atualmente, existem técnicas amplamente utilizadas e conhecidas para a preservação das características e qualidade da carne de frango, as quais são usadas pelo mercado e o consumidor, como: a refrigeração e as embalagens.

A refrigeração constitui uma estratégia essencial para retardar a deterioração da carne de frango, uma vez que reduz a proliferação de microrganismos e diminui a velocidade das reações químicas que comprometem os atributos sensoriais. No entanto, mesmo sob temperaturas consideradas ideais (0–4 °C), a carne permanece altamente perecível em decorrência da ação de bactérias psicotróficas, capazes de se multiplicar em baixas temperaturas e acelerar a perda de qualidade do produto (Moura, 2011).

A utilização de embalagens adequadas é essencial para prolongar a vida útil da carne de frango, pois atua como barreira contra contaminantes e reduz a deterioração, protegendo contra umidade e trocas gasosas, além de preservar atributos sensoriais como cor, textura e sabor e garantir maior segurança e estabilidade durante armazenamento e distribuição (Kerry; O'Grady; Hogan, 2006).

Mesmo com a adoção de tecnologias consolidadas, como a refrigeração e o uso de barreiras proporcionadas pelas embalagens, a carne de frango permanece suscetível à deterioração, tanto em decorrência do crescimento microbiano quanto dos processos de oxidação lipídica. Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de estratégias de conservação com ação mais intrínseca ao alimento, capazes de atuar diretamente sobre os mecanismos responsáveis pela perda de qualidade.

Com a necessidade de reforçar as barreiras na conservação dos alimentos, destacam-se os aditivos químicos alimentares, definidos como substâncias intencionalmente adicionadas aos alimentos com a finalidade de conservar o produto, intensificar características sensoriais ou facilitar o processamento tecnológico, conforme definição adotada por órgãos reguladores nacionais e internacionais, classificados de acordo com sua função tecnológica, destacando-se, entre os principais grupos, os conservantes, antioxidantes, corantes, flavorizantes e emulsificantes (ANVISA, 2010; Codex Alimentarius Commission, 2019). No Brasil, o uso de aditivos alimentares é regulamentado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estabelece as classes funcionais permitidas, bem como os limites máximos de uso, com base em critérios de segurança toxicológica (ANVISA, 2010). Em âmbito internacional, o Codex Alimentarius define princípios gerais para o uso de aditivos alimentares e recomenda limites seguros de ingestão, visando à proteção da saúde do consumidor e à harmonização das legislações alimentares (Codex Alimentarius Commission, 2019).

Em países como os Estados Unidos, a conservação de cortes de frango é amplamente respaldada pelo uso de aditivos químicos regulamentados por órgãos oficiais. De acordo com o *Code of Federal Regulations* (Title 21), da Food and Drug Administration (FDA), é autorizado o uso de nitritos e nitratos em produtos avícolas, incluindo cortes de frango refrigerados, com a finalidade de melhorar a retenção de água, controlar o crescimento microbiano e prolongar a vida útil durante o armazenamento (FDA, 2023). Na União Europeia, cortes de frango refrigerados e processados podem conter aditivos como sorbatos e acetatos, desde que sejam respeitados os limites estabelecidos pelo Regulamento (CE) nº 1333/2008, sendo esses compostos utilizados principalmente para o controle microbiano e a estabilidade durante o armazenamento (European Union, 2008; European Food Safety Authority – EFSA, 2019). Países como Canadá e Japão também autorizam o uso de aditivos químicos em carnes de aves, incluindo conservantes antimicrobianos e reguladores de acidez, seguindo critérios rigorosos de segurança alimentar (Health Canada, 2022; MHLW, 2020).

O uso de nitritos e nitratos em produtos cárneos tem sido amplamente estudado com o objetivo de avaliar as possíveis consequências de sua utilização prolongada e cumulativa no organismo. Os conservantes dessa classe podem reagir com compostos da carne e do organismo, formando produtos como as nitrosaminas, que ao interagirem com células saudáveis apresentam potencial carcinogênico (Shakil *et al.*, 2022).

Embora esses aditivos sejam eficazes na preservação da carne de frango, há crescente pressão por produtos com menos compostos sintéticos, impulsionando a busca por alternativas naturais que garantam segurança microbiológica e qualidade sensorial (Estévez, 2021).

2.5 Conservantes alimentares

2.5.1 Conservantes químicos: tipos e mecanismos de ação

Os conservantes químicos são substâncias adicionadas aos alimentos para retardar ou inibir a deterioração microbiológica, química e enzimática, contribuindo para o aumento da vida útil e a manutenção da segurança e qualidade dos produtos (Shakil *et al.*, 2022; Estévez, 2021). A eficácia desses compostos está associada a diferentes mecanismos de ação, os quais variam conforme sua natureza química, concentração, tipo de alimento e condições de armazenamento (Davidson; Taylor, 2007; Estévez, 2021; Tangkham *et al.*, 2012). Entre os principais grupos de conservantes químicos destacam-se os antimicrobianos e os antioxidantes (Shakil *et al.*, 2022). Os conservantes antimicrobianos atuam predominantemente por meio da interferência na integridade da membrana celular, da inibição de sistemas enzimáticos essenciais ou da alteração do equilíbrio osmótico dos microrganismos (Gyawali; Ibrahim, 2014). Compostos como nitritos e nitratos, amplamente empregados em produtos cárneos, exercem efeitos bacteriostáticos e bactericidas ao inibir microrganismos anaeróbios, como *Clostridium botulinum*, além de contribuírem para a estabilidade da cor e do sabor dos produtos (Shakil *et al.*, 2022).

Os antioxidantes sintéticos, como butil-hidroxi-anisol (BHA), butil-hidroxi-tolueno (BHT) e terc-butil-hidroquinona (TBHQ), são empregados principalmente para retardar a oxidação lipídica atuando como doadores de hidrogênio, interrompendo as reações em cadeia dos radicais livres e, consequentemente, reduzindo a formação de produtos secundários da oxidação, como aldeídos e cetonas, que comprometem o sabor, o aroma e a aceitabilidade dos alimentos (Estévez, 2021).

2.5.2 Aplicação de conservantes em cortes de frango

A eficiência da aplicação de conservantes em cortes de frango está diretamente relacionada ao método empregado, uma vez que diferentes técnicas influenciam o grau de contato do agente conservante com a superfície do alimento e sua permanência durante o armazenamento refrigerado. Revisões científicas indicam que métodos como imersão (*dipping*), pulverização, marinação e o uso de revestimentos comestíveis são amplamente estudados para a aplicação de agentes antimicrobianos e antioxidantes em carnes e produtos avícolas, apresentando desempenhos distintos quanto ao controle microbiológico e à preservação da qualidade do produto (Bangar *et al.*, 2021; Yusop *et al.*, 2011; Galus; Kadzińska, 2015).

2.5.2.1 Imersão (*dipping*)

A imersão consiste na submersão do frango em soluções com conservantes, permitindo contato direto e uniforme com a superfície do alimento, sendo amplamente utilizada pela simplicidade e eficiência na aplicação de compostos antimicrobianos e antioxidantes, porém exige controle do tempo de contato e da renovação das soluções para evitar contaminação cruzada e absorção excessiva de líquidos (Bangar *et al.*, 2021).

2.5.2.2 Pulverização

A aplicação por pulverização envolve a aspersão controlada de soluções conservantes sobre os cortes de frango permitindo maior controle da dosagem aplicada, redução do volume de solução utilizada e diminuição do risco de contaminação cruzada, mantendo eficácia na aplicação superficial de conservantes (Bangar *et al.*, 2021).

2.5.2.3 Marinação

A marinação envolve a aplicação de soluções com conservantes associadas à salmoura, podendo utilizar agitação ou vácuo para favorecer a difusão no tecido muscular, permitindo maior penetração dos compostos que métodos superficiais, influenciando a estabilidade microbiológica e atributos como textura, suculência e retenção de água, exigindo controle do tempo e da composição para evitar alterações sensoriais indesejáveis (Yusop *et al.*, 2011).

2.5.2.4 Revestimentos comestíveis

Os revestimentos comestíveis constituem uma estratégia alternativa para a aplicação de conservantes em cortes de frango, na qual agentes antimicrobianos e antioxidantes são

incorporados a matrizes poliméricas de origem natural, formando uma película protetora sobre a superfície da carne, atuando como barreiras físicas, reduzindo a exposição ao oxigênio e à umidade, além de possibilitarem a liberação gradual dos compostos ativos ao longo do armazenamento (Galus; Kadzińska, 2015).

De modo geral, a escolha do método de aplicação de conservantes em cortes de frango deve considerar o tipo de conservante empregado, o objetivo tecnológico do tratamento e as condições de armazenamento do produto. Dessa forma, a avaliação comparativa entre diferentes técnicas de aplicação torna-se fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação eficientes, seguras e alinhadas às exigências tecnológicas e regulatórias.

2.6 Microrganismos em carnes de frango

A carne de frango, em função de seu elevado valor nutricional, apresenta alta suscetibilidade à contaminação bacteriana ao longo de toda a cadeia produtiva, desde as etapas de criação e abate até o corte, o armazenamento e a comercialização. Essa suscetibilidade está relacionada à presença de microbiota no trato gastrointestinal, na pele das aves e no ambiente de processamento, incluindo microrganismos patogênicos como *Salmonella* e *Campylobacter* e também deteriorantes, cujo crescimento depende das condições de higiene, das etapas de processamento e do armazenamento, como temperatura e atmosfera de embalagem (Rouger *et al.*, 2017).

2.6.1 Microrganismos mesófilos: prevalência e riscos à saúde

Os microrganismos aeróbios mesófilos constituem um grupo funcional de bactérias capazes de se desenvolver em temperaturas moderadas, geralmente entre 20 °C e 45 °C, com crescimento ótimo na faixa de 30 °C a 37 °C, sendo amplamente utilizados como indicadores da qualidade microbiológica de alimentos (Mikulec *et al.*, 2024). Em produtos avícolas a presença desses microrganismos está ligada às condições higiênico-sanitárias da cadeia produtiva, sendo utilizada como indicador da qualidade microbiológica e do risco à saúde do consumidor, entre os mais relevantes em cortes de frango destacam-se *Salmonella* spp e *Staphylococcus aureus* (Rouger *et al.*, 2017).

Salmonella spp está entre os principais agentes de doenças transmitidas por alimentos, sendo frequentemente associada ao consumo de frango cru ou mal cozido devido à contaminação durante o abate e processamento, sua presença representa risco à saúde pública, podendo causar gastroenterite e, em casos mais graves, infecções sistêmicas em populações vulneráveis (Shaji, Selvaraj, Shanmugasundaram, 2023).

Staphylococcus aureus é um microrganismo relevante em carnes de frango devido à produção de enterotoxinas termoestáveis, que podem permanecer ativas mesmo após tratamento térmico, representando risco de intoxicação alimentar, sua presença está geralmente associada à manipulação inadequada, já que faz parte da microbiota da pele e das vias respiratórias humanas (Abd El-Ghany, 2021).

Além dos patógenos, os microrganismos mesófilos também exercem papel central na deterioração microbiológica de cortes de frango. Bactérias mesófilas deteriorantes como *Pseudomonas*, *Enterobacteriaceae* e *Brochothrix* causam alterações sensoriais como odores desagradáveis, mudanças de cor e perda de aceitabilidade, embora algumas se desenvolvam melhor em condições psicotróficas, muitas mantêm atividade em temperaturas moderadas, especialmente quando há falhas na refrigeração (Rouger *et al.*, 2017).

2.6.2 Estratégias de controle microbiológico em carnes de frango

O controle microbiológico em carnes de frango é essencial para a redução dos riscos à saúde pública, uma vez que esses produtos são frequentemente associados à presença de microrganismos patogênicos e deteriorantes. As estratégias de controle devem ser aplicadas de forma integrada em toda a cadeia produtiva, desde o abate até a distribuição, visando reduzir a contaminação microbiana e garantir a segurança dos alimentos (Sofos; Geornaras, 2010).

Destacam-se como estratégias a aplicação das Boas Práticas de Fabricação e do sistema APPCC, que permitem identificar etapas críticas e estabelecer medidas de controle eficazes, contribuindo para reduzir a carga microbiana e prevenir a contaminação por patógenos como *Salmonella* spp e *Campylobacter* spp associados a surtos de doenças transmitidas por alimentos (Buncic; Sofos, 2012).

O controle da temperatura durante as etapas de armazenamento e distribuição constitui outra estratégia essencial para o controle microbiológico. A refrigeração adequada reduz o crescimento de microrganismos mesófilos e retarda a deterioração da carne de frango, contribuindo para maior vida útil, porém falhas na cadeia do frio favorecem a multiplicação microbiana, reforçando a importância do monitoramento contínuo (McMillin, 2017).

Além das estratégias convencionais, tecnologias como atmosfera modificada, revestimentos comestíveis e conservantes naturais têm sido estudadas para o controle

microbiológico em carnes de frango, baseadas na tecnologia de obstáculos, em que diferentes fatores atuam de forma conjunta para inibir microrganismos e prolongar a vida de prateleira do produto (Leistner; Gould, 2002).

A utilização de conservantes naturais tem se destacado no controle microbiológico de carnes de frango devido à demanda por produtos com menos aditivos sintéticos, baseando-se em compostos bioativos de plantas com ação antimicrobiana, esses atuam na membrana celular e no metabolismo bacteriano, reduzindo microrganismos patogênicos e deteriorantes, além de contribuir para a vida útil e manutenção das características sensoriais do produto, conforme demonstrado por estudos que evidenciam a eficácia de compostos naturais no controle de bactérias como *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* em matrizes cárneas, reforçando a aplicabilidade dessa tecnologia dentro do conceito de barreiras múltiplas para a conservação de alimentos (Gyawali; Ibrahim, 2014; Aziz, 2018).

2.7 Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe): um recurso natural multifuncional

2.7.1 Composição Química e Propriedades Bioativas

O gengibre é reconhecido por sua rica composição química e diversas propriedades bioativas, sendo amplamente utilizado nas áreas de alimentos, farmacologia e biotecnologia, sua composição inclui compostos fenólicos, óleos essenciais e terpenóides, responsáveis por suas características sensoriais e atividade biológica (Ali *et al.*, 2008).

Entre os principais compostos bioativos do gengibre destacam-se os gingeróis, shogaóis, paradóis e a zingerona, sendo os gingeróis, especialmente o [6]-gingerol, considerados os principais responsáveis pelas atividades antioxidante e antimicrobiana do rizoma fresco, sendo que, durante processos como secagem ou aquecimento, os gingeróis podem ser convertidos em shogaóis, compostos que apresentam maior estabilidade térmica e, em alguns casos, atividade biológica superior, dessa forma, o método de extração e as condições de processamento tornam-se fatores determinantes para a composição final do extrato obtido (Ali *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2023).

Além dos compostos fenólicos, o gengibre contém óleos essenciais ricos em terpenos como zingibereno, β -bisaboleno e farneseno, que contribuem para seu aroma e apresentam

atividade antimicrobiana, sendo que a interação entre esses compostos gera efeitos sinérgicos que potencializam suas propriedades bioativas em alimentos (Mao *et al.*, 2019).

Estudos mostram que compostos do gengibre possuem atividade antioxidante ao neutralizar radicais livres e inibir processos oxidativos, além de ação antimicrobiana contra microrganismos patogênicos e deteriorantes, esse efeito está ligado à interação com a membrana bacteriana, causando alterações estruturais e inibição de funções metabólicas essenciais (Zhang *et al.*, 2023).

2.7.2 Propriedades Antimicrobianas e Antioxidantes

As propriedades antimicrobianas e antioxidantes do gengibre estão ligadas à presença de compostos fenólicos e voláteis bioativos, como gingeróis, shogaóis e zingerona, que atuam na membrana celular microbiana, alterando a permeabilidade, causando vazamento celular e inibindo processos metabólicos essenciais (Zhang *et al.*, 2023).

Estudos têm demonstrado que extratos de gengibre apresentam atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas como *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp e *Escherichia coli*, sendo essa eficácia influenciada pela concentração, método de extração e solvente, com destaque para extratos hidroalcoólicos devido à maior extração de compostos fenólicos (Mao *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2025).

Além da ação antimicrobiana, o gengibre apresenta atividade antioxidante por neutralizar radicais livres e retardar processos oxidativos em alimentos, comprovada por métodos como DPPH, ABTS e FRAP, sendo atribuída aos compostos fenólicos que atuam como doadores de elétrons e interrompem reações de oxidação lipídica (Ali *et al.*, 2008; Mao *et al.*, 2019).

2.7.3 Potencial para Redução de Impactos Ambientais

A indústria de alimentos enfrenta desafios ligados à sustentabilidade, como uso de aditivos sintéticos, desperdício e geração de resíduos, nesse contexto o uso de compostos naturais com ação antimicrobiana e antioxidante surge como alternativa para reduzir perdas e a dependência de aditivos químicos, contribuindo para aumentar a vida útil dos produtos e promover o uso mais eficiente dos recursos naturais alinhado às práticas sustentáveis (Gustavsson *et al.*, 2011; Shah; Bosco; Mir, 2014).

A substituição de conservantes sintéticos por extratos naturais pode reduzir a carga química no ambiente, já que muitos aditivos artificiais apresentam baixa biodegradabilidade, por serem de origem renovável os extratos vegetais tendem a ter menor toxicidade residual, alinhando-se aos princípios da química verde e da produção sustentável (Armenta; Garrigues; De La Guardia, 2015).

O uso de conservantes naturais pode reduzir o desperdício de alimentos ao prolongar a vida útil por meio do controle microbiológico e da inibição da oxidação lipídica, diminuindo perdas na distribuição e comercialização, o que melhora a eficiência do sistema alimentar e reduz a pegada ambiental da produção de carnes (Gustavsson *et al.*, 2011).

Outro aspecto relevante refere-se à incorporação de extratos naturais em embalagens ativas biodegradáveis, que permite o uso de compostos antioxidantes e antimicrobianos no controle microbiano e no retardo da oxidação, além de reduzir a dependência de plásticos derivados de combustíveis fósseis, contribuindo para menor impacto ambiental e redução de perdas alimentares alinhadas à sustentabilidade (Li, 2024; Sarkhel, 2025).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização do trabalho consistiu em duas etapas. A primeira incluiu o processo de produção do extrato hidroalcoólico de gengibre. A segunda etapa foi envolvida no processamento dos cortes de frangos e aplicação do extrato seguida de suas avaliações microbiológicas e físico-químicas.

Toda a pesquisa foi conduzida na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) nos Laboratórios de Biotecnologia de Alimentos (LABA), Microbiologia Veterinária (LAMIV), Análises Instrumentais e Sensoriais (LANIS) e de Pós-colheita, integrados ao Centro de Ciências Agrárias.

3.1 Produção do extrato hidroalcoólico de gengibre

Os rizomas de gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) foram obtidos em comércio local do município de Mossoró, localizado no Estado do Rio Grande do Norte, que tem como coordenadas geográficas 5°11'20.4"S de latitude 37°20'15.5"W de longitude de 16 m de altitude.

Para a produção do extrato, adotou-se como base a metodologia descrita por Chaijan *et al.* (2020) e Gómez-Estaca *et al.* (2008), com adaptações. Inicialmente, os rizomas de gengibre, coletados no mesmo período, foram transportados ao LABA, onde foram submetidos à lavagem com água estéril e à sanitização em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm. Em seguida, o material foi seco com papel toalha e as cascas dos rizomas foram removidas. Após o descasque, a polpa obtida foi fatiada em pedaços menores e submetida à secagem em estufa a 50 °C por 48 horas. Posteriormente, o gengibre seco foi triturado com o auxílio de almofariz e pistilo até a obtenção de um pó homogêneo. A extração foi realizada utilizando-se 100 g de pó de gengibre em 1000 mL de solução hidroalcoólica a 50% (v/v), caracterizando proporção de 10% (m/v), considerando a relação massa de material vegetal por volume de solvente. A mistura permaneceu em maceração por 72 horas em recipiente fechado. Após o período de extração, procedeu-se à decantação por 24 horas, seguida de filtração a vácuo. O extrato líquido foi submetido à rotaevaporação a 55 °C por 20 minutos (50–60 rpm) para remoção do solvente alcoólico, obtendo-se extrato bruto concentrado. O extrato concentrado foi armazenado em frasco âmbar sob congelamento até sua aplicação direta nos tratamentos experimentais.

3.2 Análise de antioxidante (DPPH)

A avaliação da atividade antioxidante foi conduzida no Laboratório de Pós-Colheita, empregando-se uma metodologia baseada no procedimento descrito por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), com adaptações. Para a realização do ensaio, diferentes volumes da amostra (1000, 800, 600, 400 e 200 µL) foram transferidos para tubos de ensaio, sendo os volumes completados com água destilada (0, 200, 400, 600 e 800 µL, respectivamente), de modo a manter o volume final constante. Em seguida, adicionou-se 1,5 mL da solução do radical livre DPPH a cada tubo. Após a preparação das misturas, as amostras foram submetidas à leitura da absorbância em espectrofotômetro UV-Visível, utilizando comprimento de onda de 517 nm. O controle do ensaio foi constituído por uma solução contendo 0 µL de amostra, 1000 µL de água destilada e 1,5 mL de DPPH, sendo utilizado como referência para o cálculo da atividade antioxidante.

3.3 Avaliação da Capacidade Inibitória Mínima (CIM)

A análise foi realizada no Laboratório de Microbiologia Veterinária (LAMIV). Para a avaliação da concentração inibitória mínima (CIM), adotou-se a metodologia descrita por Gama *et al.* (2023), com adaptações. Foram utilizados dois microrganismos: *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923). Todos os microrganismos foram mantidos em meio BHI sob refrigeração e, imediatamente antes de cada ensaio, cultivados em estufa bacteriológica a 37 °C (± 1 °C) por 24 horas, utilizando o mesmo meio de cultura. Após o cultivo, os inóculos microbianos foram preparados, sendo o ajuste da concentração celular realizado por meio de espectrofotômetro a 530 nm, com valores de absorbância entre 0,08 e 0,1, correspondentes a 0,5 na escala de McFarland (densidade de aproximadamente $1,5 \times 10^8$ células mL⁻¹). Em seguida, 0,5 µL do inóculo microbiano foi adicionado a cada poço de microplaca contendo 95 µL de meio BHI e 100 µL do extrato de gengibre na concentração inicial de 10%, a partir da qual foram preparadas diluições seriadas na razão 2, obtendo-se as concentrações 5; 2,5; 1,25; 0,625; 0,3125; 0,1563; 0,0871; 0,0391; 0,0195 em porcentagem (%). Posteriormente, as microplacas foram incubadas em estufa bacteriológica a 37 °C (± 1 °C) por 24 horas, onde as leituras espectrofotométricas foram realizadas nos tempos 0 e 24 horas.

Após esse período, as diluições de cada tratamento experimental que apresentaram coloração completamente translúcida foram consideradas para estabelecer a concentração

inibitória mínima (CIM). A partir dos dados obtidos da absorbância, foi possível calcular as médias do crescimento líquido microbiano:

$$\text{Crescimento Líquido (DO)} = DO_{24h} - DO_{0h}$$

e valores da porcentagem de inibição:

$$\text{Inibição (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Crescimento Líquido}_{\text{Amostra}}}{\text{Crescimento Líquido}_{\text{Controle}}} \right) \times 100$$

no qual foi determinada CIM₅₀ onde se pode observar quais grupos de concentrações alcançaram 50% de inibição microbiana.

3.4 Aplicação do extrato hidroalcoólico de gengibre em cortes de frango

A coleta dos cortes de frango (Selo de Inspeção - SIM) foi realizada no mesmo estabelecimento comercial utilizado para a obtenção dos rizomas de gengibre, localizado no município de Mossoró, Rio Grande do Norte. Após a aquisição, as sacolas com as amostras foram transportadas em caixas isotérmicas até o LABA. No laboratório, seguiu-se as Boas Práticas de Laboratório (BPL) como também as Boas Práticas de Manipulação de Alimentos, sendo todo o processo de manipulação dos cortes de frango utilizando equipamentos, ferramentas e utensílios estéreis a fim de garantir a confiabilidade dos resultados nas análises. O peito de frango foi fatiado em porções, seguindo padrões de pesagem previamente estabelecidos de 10 gramas, no qual foram separadas 3 amostras de frango por tratamento e dia 0 (dia de coleta e primeiro dia de análises dos cortes de frango), 3 e 6 de análises.

Os cubos de peito de frango foram divididos em 5 grupos submetidos a diferentes tratamentos de acordo com a tabela 1: Foram definidos três grupos controle: Controle (C), correspondente à carne *in natura*; Controle Imersão por 30 minutos (CI), composto por carne submetida à imersão em água destilada esterilizada; e Controle *Spray* (CS), constituído por carne tratada com água destilada por meio de borrifação. Além disso, foram aplicados dois tratamentos experimentais: Imersão Extrato (IE), correspondente à carne submetida à imersão em extrato por 30 minutos, e SE, referente à carne tratada com extrato por meio de borrifação,

perfazendo um total de 5 tratamentos que foram submetidos as análises microbiológicas e físico-químicas. Os tratamentos dos grupos CI e CS basearam-se exclusivamente no uso de água destilada esterilizada. Os grupos CI e IE consistiram na imersão das amostras em seus respectivos tratamentos, enquanto os grupos CS e SE utilizaram a técnica de borrifação para a aplicação das soluções.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos aplicados aos cubos de peito de frango avaliados nos dias 0, 3 e 6

Grupo	Sigla	Tipo de tratamento	Solução utilizada	Método de aplicação	Tempo de aplicação
Controle	C	Carne in natura	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Controle Imersão	CI	Controle com tratamento	Água destilada esterilizada	Imersão	30 minutos
Controle Spray	CS	Controle com tratamento	Água destilada esterilizada	Borrifação (spray)	—
Imersão Extrato	IE	Tratamento experimental	Extrato vegetal	Imersão	30 minutos
Spray Extrato	SE	Tratamento experimental	Extrato vegetal	Borrifação (spray)	—

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A borrifação foi realizada em ambiente estéril de baixa ventilação externa, sendo utilizado dois borrifadores estéreis para cada tratamento (CS e SE), onde na prática duas pessoas fizeram parte da borrifação, uma responsável por coletar, suspender no ar os cortes de frango utilizando pinça estéril e outra responsável pelo borrifamento, sendo que, a altura que a carne de frango ficou suspensa no ar foi de 30 cm em relação a bancada e a distância entre o borrifador e a carne era de 20 cm com borrifação média de 0,325 mL/borrifada, aplicando duas borrifadas por regiões livres da carne de frango, totalizando 6 borrifadas por amostra. Após a aplicação dos tratamentos, sendo o extrato de gengibre aplicado em concentração de 10%, as peças de frango foram secas com auxílio de papel absorvente estéril, acondicionadas em sacos *ziplock* estéreis, devidamente identificadas quanto ao grupo de tratamento e ao dia de análise, e armazenadas em câmara fria sob refrigeração a ± 4 °C até o momento da realização das análises.

3.5 Avaliação de aspectos qualitativos

3.5.1 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia de Alimentos (LABA). Para assegurar condições adequadas e minimizar interferências externas, os procedimentos foram conduzidos em cabine de fluxo laminar, seguindo rigorosamente as práticas de higiene e esterilização.

A preparação das amostras seguiu as orientações metodológicas estabelecidas pela Instrução Normativa nº 30, de 26 de junho de 2018, do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que institui o Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal, com adaptações. Os peitos de frango foram fatiados em porções menores com o auxílio de faca de inox estéril e pesados em balança analítica de precisão, de modo a obter aproximadamente 25 g de amostra para a aplicação dos tratamentos. Após a aplicação dos tratamentos, as amostras de frango foram destinadas às análises microbiológicas, nas quais 1 g do material foi homogeneizado em 9 mL de solução salina peptonada a 0,1%, obtendo-se a diluição 10^{-1} , considerada a primeira diluição. A partir desta, foram realizadas as diluições seriadas necessárias para o cultivo e a contagem de bactérias aeróbias mesófilas.

3.5.1.1 Bactérias aeróbias mesófilas

Para a análise de microrganismos aeróbios mesófilos, utilizou-se a técnica de cultivo em superfície, na qual 0,1 mL de cada diluição foi inoculado sobre a superfície de placas de Petri contendo Ágar Padrão para Contagem (PCA). O espalhamento do inóculo foi realizado com o auxílio de alça de Drigalski, seguido de período de repouso até a completa absorção do líquido pelo meio. Em seguida, as placas foram incubadas invertidas em estufa bacteriológica a 36 ± 1 °C por 48 horas. Após o período de incubação, procedeu-se à contagem das colônias características de microrganismos mesófilos, sendo os resultados expressos em $\log_{10}$ UFC/g.

3.5.2 Análises físico-químicas

Todas as análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises Instrumentais e Sensoriais (LANIS).

3.5.2.1 pH

A determinação do pH das amostras foi realizada conforme as orientações estabelecidas pelo Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal, instituído pela Instrução Normativa nº 30, de 26 de junho de 2018, do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Para essa análise, cada tratamento em triplicata utilizou aproximadamente 10 g em de cada amostra, foram homogeneizados em 100 mL de água destilada, e o pH foi mensurado a 25 ± 1 °C com o auxílio de um potenciômetro devidamente calibrado com soluções tampão padrão necessárias

3.5.2.2 Cor

A avaliação instrumental da cor das amostras foi realizada por meio de colorimetria no sistema CIELAB, amplamente recomendado para análises de alimentos devido à sua precisão na descrição dos parâmetros L* (luminosidade), a* (tendência ao vermelho-verde) e b* (tendência ao amarelo-azul). As medições foram efetuadas utilizando colorímetro (CM-700d, Konica Minolta, Chiyoda, Japão), previamente calibrado com placa padrão branca (Abularach, 1978).

3.5.2.3 Capacidade Retenção de Água (CRA)

A CRA das amostras foi determinada de acordo com o método descrito por Moura (2000), com adaptações. Para a análise, aproximadamente 1 g de cada amostra foi colocado entre papéis de filtro e submetido a uma pressão padronizada por um período previamente estabelecido. Após esse intervalo, as amostras foram novamente pesadas, sendo a perda de líquido determinada em porcentagem a partir da diferença de massa, conforme a formulação,

$$\text{Perda de líquido (\%)} = \left(\frac{\text{Peso inicial (g)} - \text{peso final (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} \right) \times 100$$

com isso, dados obtidos a partir da perda de líquido foram processados em testes estatísticos.

3.5.2.4 Força de cisalhamento

A força de cisalhamento das amostras foi determinada conforme o método de referência proposto por Honikel (1998), amplamente reconhecido para a avaliação instrumental da maciez de carnes. Após o cozimento e o resfriamento das amostras, foram retirados corpos de prova com as fibras musculares alinhadas longitudinalmente, geralmente em formato retangular. As porções obtidas foram então submetidas ao teste de cisalhamento em texturômetro modelo TA.XT EXPRESS, com a lâmina aplicada perpendicularmente ao sentido das fibras, registrando-se a força máxima necessária para o corte completo do fragmento (Honikel, 1998).

3.6 Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e seis repetições por dia de análise para as avaliações microbiológicas e de cor. As demais análises físico-químicas, bem como a determinação da concentração inibitória mínima (CIM), foram realizadas triplicata.

A análise estatística dos dados e a elaboração dos gráficos foram realizadas utilizando o software estatístico R (versão 4.3.3), sendo os resultados expressos como média $\pm$ desvio padrão.

Para a análise estatística dos dados de CIM, aplicaram-se os testes de normalidade de Shapiro–Wilk e de homogeneidade de variâncias de Levene. Em seguida, os dados foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal–Wallis, seguido do teste *post hoc* de Dunn. Para os resultados das análises microbiológicas, realizaram-se os testes de normalidade de Shapiro–Wilk, homogeneidade de variâncias de Levene e esfericidade de Mauchly; após a confirmação dos pressupostos, os dados foram analisados por ANOVA, seguida do teste de Tukey. Nas análises físico-químicas, os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro–Wilk e de homogeneidade de variâncias de Levene, seguidos de ANOVA e teste de Tukey. Em todas as análises, valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação antioxidante (DPPH) do extrato hidroalcoólico de gengibre

A atividade antioxidante do extrato hidroalcoólico de gengibre foi avaliada pelo método do radical livre DPPH, expressa por um valor de IC₅₀ de 2,35 mL/100 mL, amplamente empregado para a caracterização preliminar do potencial antioxidante de compostos bioativos de origem vegetal. Os resultados demonstram capacidade de sequestro do radical DPPH de forma dependente da concentração, evidenciada pela redução progressiva da absorbância à medida que se aumentou o volume do extrato utilizado (Brand-Williams; Cuvelier; Berset, 1995).

O ensaio com o radical DPPH é amplamente utilizado para avaliar a capacidade antioxidante, baseando-se na doação de elétrons ou hidrogênio pelos compostos da amostra, o que reduz o radical e diminui a absorbância medida por espectrofotometria, acompanhada da mudança de cor de violeta para amarelo, sendo um método simples, rápido e reprodutível para estimar a atividade antioxidante (Molyneux, 2004; Mishra; Ojha; Chaudhury, 2012).

O DPPH é um composto orgânico caracterizado por apresentar um radical livre estável, característica que o torna particularmente adequado para a realização de ensaios laboratoriais voltados à avaliação da atividade antioxidante, diferindo de muitos radicais livres que são altamente reativos e instáveis, uma vez que o DPPH apresenta estabilidade decorrente da deslocalização do elétron desemparelhado em sua estrutura molecular, condição que impede sua rápida dimerização e possibilita sua utilização direta em análises espectrofotométricas para a determinação da capacidade antioxidante de diferentes substâncias e extratos naturais (Molyneux, 2004).

Em solução alcoólica, o radical DPPH apresenta coloração violeta intensa, caracterizada por forte absorção em comprimento de onda próximo de 520 nm, e quando ocorre a reação com compostos antioxidantes capazes de doar hidrogênio ou elétrons esse radical é reduzido à sua forma não radicalar, resultando na diminuição ou perda da coloração violeta e na formação de uma solução com tonalidade amarelada, sendo essa alteração cromática o princípio fundamental do método utilizado para estimar e quantificar a atividade antioxidante de diferentes substâncias e extratos naturais por meio da redução do radical livre presente na solução (Blois, 1958; Molyneux, 2004). Portanto essa alteração cromática foi alcançada quando IC₅₀ de 2,35 mL/100 mL do extrato foi utilizado.

A oxidação lipídica constitui um dos principais processos responsáveis pela deterioração da qualidade de carnes e produtos cárneos durante o armazenamento, sendo particularmente relevante em carnes de frango devido à elevada concentração de ácidos graxos poliinsaturados presentes nos fosfolipídios das membranas celulares (Min; Ahn, 2005). Compostos que apresentam alta suscetibilidade à ação de radicais livres, os quais podem ser gerados em diferentes etapas do processamento e armazenamento, especialmente na presença de oxigênio, incidência de luz, metais com atividade pró-oxidante e variações de temperatura que favorecem a ocorrência de reações oxidativas (Kedare; Singh, 2011).

A formação desses radicais desencadeia reações em cadeia que promovem a oxidação de lipídios, resultando na formação inicial de hidroperóxidos e posteriormente de compostos secundários, como aldeídos, cetonas e hidrocarbonetos, substâncias que estão diretamente associadas a alterações sensoriais indesejáveis nos produtos cárneos, incluindo mudanças no sabor, aroma e coloração da carne, além de contribuir para a redução do valor nutricional e da vida útil do alimento, razão pela qual a utilização de antioxidantes naturais provenientes de extratos vegetais tem sido amplamente investigada como uma estratégia para retardar os processos oxidativos em produtos cárneos, incluindo carne de frango refrigerada (Mishra; Ojha; Chaudhury, 2012).

O DPPH é amplamente utilizado em ensaios espectrofotométricos para a determinação da atividade antioxidante de extratos vegetais e compostos bioativos, tratando-se de um radical livre estável empregado como reagente químico em análises laboratoriais e utilizado como modelo para avaliar a capacidade sequestradora de radicais livres por substâncias antioxidantes (Molyneux, 2004; Kedare; Singh, 2011). Embora não represente diretamente os radicais formados durante processos oxidativos naturais em alimentos, como aqueles envolvidos na oxidação lipídica de carnes, o método DPPH é amplamente aplicado como ferramenta comparativa para a triagem do potencial antioxidante de diferentes compostos e extratos naturais devido à sua simplicidade metodológica e ampla utilização em estudos de atividade antioxidante.

Nesse caso, o gengibre utilizado o presente trabalho teve ação antioxidante no valor de valor de IC_{50} de 2,35 mL/100 mL. O gengibre é conhecido amplamente por suas capacidades antioxidantes, apresentando-se como um potente recurso natural na preservação de alimentos. Diversos compostos fenólicos têm sido identificados como responsáveis por sua atividade antioxidante, incluindo gingeróis, shogaóis, paradóis e zingerona (Mao *et al.*, 2019). Stoilova

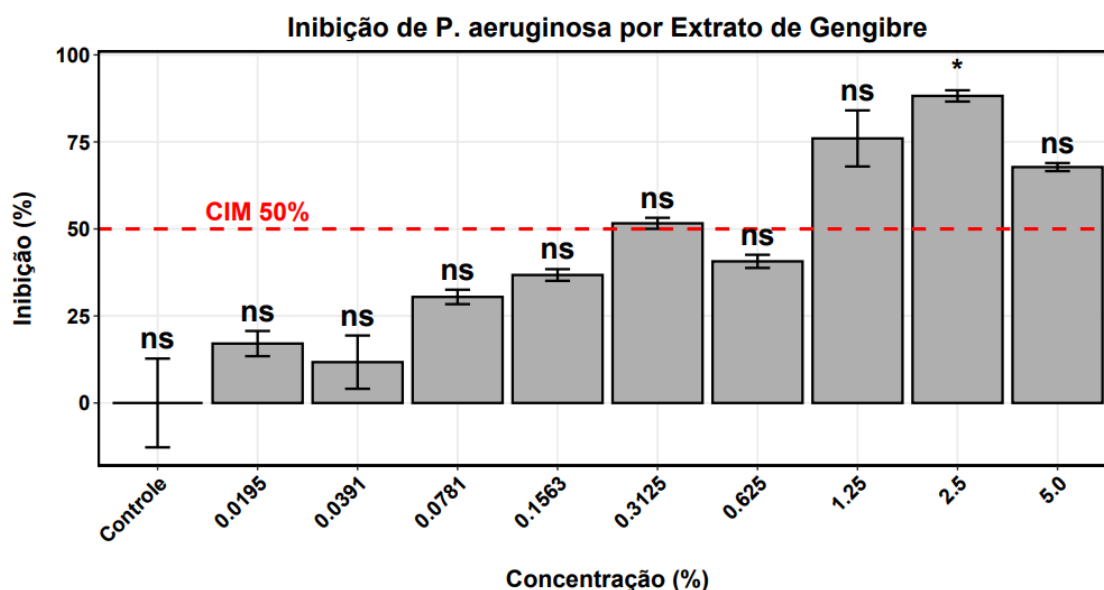
et al. (2007), por exemplo, observaram elevada atividade antioxidante em oleorresinas obtidas a partir do gengibre, com cerca de 90,1% de inibição do radical DPPH e valores de IC₅₀ na ordem de µg/mL, atribuídos principalmente à presença de compostos fenólicos, como α-zingibereno, β-sesquifelandreno, β-bisaboleno, (E,E)-α-farneseno, α-curcumeno e cafeno. Portanto o valor obtido na análise de DPPH do presente estudo, é um resultado que corrobora a presença de compostos capazes de doar elétrons ou átomos de hidrogênio, mecanismo essencial para a neutralização de radicais livres, em consonância com o desempenho observado no presente estudo.

4.2 Concentração Inibitória Mínima 50% (CIM₅₀) do extrato hidroalcoólico de gengibre

A atividade antimicrobiana do extrato hidroalcoólico de gengibre foi avaliada frente às bactérias *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*, por meio da determinação da Concentração Inibitória Mínima capaz de inibir 50% do crescimento microbiano (CIM₅₀).

Os resultados obtidos para *Pseudomonas aeruginosa* encontram-se apresentados no Gráfico 1. Observou-se que todos os grupos de concentração promoveram inibição do crescimento desse microrganismo. Verificou-se, ainda, um aumento progressivo da inibição microbiana à medida que a concentração do extrato foi elevada. As concentrações de 5%, 2,5%, 1,25% e 0,31% apresentaram efeito correspondente à CIM₅₀. Dentre essas, a concentração de 2,5% foi a única que apresentou diferença significativa em relação às demais, alcançando inibição microbiana de 88,21%. As concentrações de 5% e 1,25% resultaram em inibição de 67,86% e 75,99%, respectivamente. Já o grupo de 0,31% representou a menor concentração com efeito de CIM₅₀, embora não tenha diferido estatisticamente dos demais grupos.

Gráfico 1 - Avaliação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) do extrato hidroalcoólico de gengibre sobre *Pseudomonas aeruginosa*: valores das médias e seus respectivos desvios padrões de cada concentração baseados na porcentagem inibitória.



Fonte: Autor, 2026.

Legenda - ns: não significativo. Asterisco (*) entre os grupos de concentrações representa diferença estatística ($p < 0,05$). Grupos de concentrações representados em porcentagem (%).

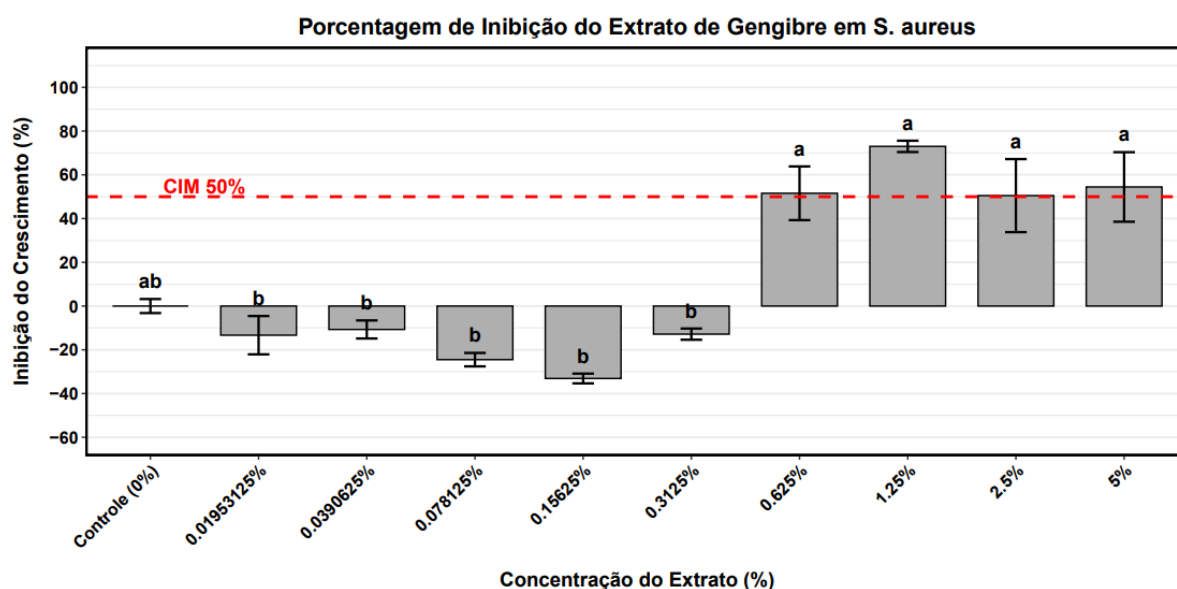
A atividade bactericida observada do extrato hidroalcoólico de gengibre frente a *Pseudomonas aeruginosa* pode estar relacionada à capacidade de seus compostos bioativos interferirem na integridade estrutural da membrana celular bacteriana, considerando que bactérias Gram-negativas, como *P. aeruginosa*, apresentam uma membrana externa composta por lipopolissacarídeos que atua como barreira contra diversos agentes antimicrobianos, entretanto compostos fenólicos presentes em extratos vegetais podem interagir com essa estrutura promovendo alterações na permeabilidade da membrana, desorganização da bicamada lipídica e consequente perda de componentes celulares essenciais, processo que pode resultar na inibição do crescimento bacteriano ou até mesmo na morte celular dependendo da concentração dos compostos ativos presentes no extrato (Gyawali; Ibrahim, 2014).

Resultados semelhantes foram descritos por Santos *et al.* (2023) quando investigaram o efeito do óleo essencial de gengibre e do composto 6-gingerol sobre biofilmes bacterianos de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium* e *Pseudomonas aeruginosa*, demonstrando que esses extratos naturais são capazes de inibir significativamente o crescimento e a formação de biofilmes desses microrganismos. Embora o 6-gingerol seja frequentemente citado como um dos principais compostos responsáveis pela atividade biológica do gengibre, estudos demonstram que ele não é o único responsável pelos efeitos

antimicrobianos observados, uma vez que outros compostos derivados como 6-shogaol, 8-gingerol e 10-gingerol também apresentam atividade antimicrobiana significativa e podem contribuir de forma conjunta para a eficácia do extrato, além disso durante processos de secagem ou extração parte dos gingeróis pode ser convertida em shogaóis compostos que em alguns casos apresentam atividade biológica ainda mais pronunciada, de modo que a atividade antimicrobiana observada em extratos de gengibre resulta da ação combinada de diversos compostos fenólicos e não apenas da presença isolada do 6-gingerol (Ali *et al.*, 2008; Mao *et al.*, 2019).

Os resultados referentes à inibição de *Staphylococcus aureus* pelo extrato de gengibre evidenciam um comportamento dose-dependente não linear (Gráfico 2). As concentrações identificadas com a letra “a” apresentaram efeito antimicrobiano significativo, todas com capacidade de ultrapassar a linha correspondente à CIM₅₀, sendo a concentração de 1,25% a que apresentou o maior percentual de inibição, aproximadamente 73%. As concentrações identificadas com a letra “b” não tiveram diferenças significativas. Esse comportamento é compatível com o fenômeno da hormese, no qual altas concentrações de compostos bioativos tem efeito inibitório e baixas concentrações podem exercer efeito estimulatório sobre microrganismos (Calabrese; Baldwin, 2003). Esse efeito já foi descrito em estudos envolvendo extratos vegetais e metabólitos fenólicos, incluindo compostos presentes no gengibre, nos quais doses reduzidas podem ativar respostas adaptativas ou metabólicas que favorecem o crescimento bacteriano (Calabrese; Mattson, 2017).

Gráfico 2 - Avaliação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) do extrato hidroalcoólico de gengibre sobre *Staphylococcus aureus*: valores das médias e seus respectivos desvios padrões de cada concentração baseados na porcentagem inibitória.



Fonte: Autor, 2026.

Letras diferentes entre os tratamentos nas linhas significam diferença estatística ($p < 0,05$). Grupos de concentrações representados em porcentagem (%).

A atividade bactericida observada do extrato hidroalcoólico de gengibre frente a *Staphylococcus aureus* pode estar associada à capacidade de compostos fenólicos presentes no rizoma de interferirem diretamente na estrutura e no funcionamento da membrana celular bacteriana. Considerando *S. aureus* ser classificada como bactéria gram-positiva, apresentando parede celular composta principalmente por uma espessa camada de peptidoglicano que, embora confira resistência estrutural, pode ser suscetível à ação de compostos fenólicos e terpenóides presentes em extratos vegetais, os quais podem promover alterações na permeabilidade da membrana citoplasmática levando à perda de íons essenciais, desnaturação de proteínas e interferência em processos metabólicos fundamentais para a sobrevivência bacteriana, o que pode resultar na inibição do crescimento ou até mesmo na morte celular do microrganismo (Wang *et al.*, 2020).

De forma geral, pode-se observar fenômeno hormético na avaliação dose-resposta do extrato de gengibre frente a *Staphylococcus aureus*. Ocorrido pela exposição a estímulos ambientais ou a baixas concentrações de compostos potencialmente tóxicos que atuam como agentes estressores moderados, situação que em microrganismos como *Staphylococcus aureus* pode provocar um estresse celular leve caracterizado pela formação de espécies reativas de oxigênio, alterações na homeostase celular e aumento da demanda energética, levando à ativação de vias adaptativas de resposta ao estresse e de sistemas regulatórios responsáveis por modular a expressão gênica, o que resulta na produção de proteínas efetoras associadas à proteção celular frente a condições adversas, entre as quais se destacam enzimas antioxidantes, chaperonas moleculares e proteínas envolvidas na regulação do metabolismo energético, componentes que contribuem para a manutenção da homeostase celular e para o aumento da tolerância bacteriana a níveis mais elevados de estresse (Mattson, 2008). Por exemplo, como elucidado por Painter *et al.* (2015), que bactérias *Staphylococcus aureus* em resposta a situações de estresse ambiental, aumenta a probabilidade de mutações benéficas para melhoria de sua adaptação e sobrevivência no meio. Seguindo sobre o mesmo trabalho, no qual o tema central é sobre as “small-colony variants (SCVs)”, isto é, variantes de colônias pequenas (crescimento e reprodução mais lenta), é discutido que o surgimento desse tipo de formação de colônias das bactérias *Staphylococcus aureus* após situações de estresse oxidativo é benéfico no quesito resistência ao estresse oxidativo e à produção aumentada da

catalase podendo aumentar a sobrevivência e/ou replicação de bactérias selvagens (crescimento e reprodução mais rápida) por meio da desintoxicação de H_2O_2 .

O efeito antimicrobiano do gengibre está associado principalmente à presença de diversos compostos fenólicos e oleoresinas presentes no rizoma da planta, entre os quais se destacam os gingeróis, shogaóis, paradóis e a zingerona, compostos bioativos amplamente descritos na literatura por apresentarem propriedades antioxidantes e antimicrobianas, os quais possuem a capacidade de interagir com proteínas e fosfolipídios da membrana bacteriana podendo provocar alterações estruturais, desnaturação proteica e interferência em processos metabólicos essenciais para a sobrevivência do microrganismo, além disso o processo de extração hidroalcoólica favorece a solubilização desses compostos fenólicos o que pode contribuir para o aumento da atividade biológica observada no extrato obtido (Ali *et al.*, 2008; Mao *et al.*, 2019).

Outro aspecto relevante refere-se à possível interação sinérgica entre os diferentes compostos bioativos presentes no extrato de gengibre, considerando que em extratos vegetais a atividade antimicrobiana raramente é atribuída a um único composto isolado, mas sim ao efeito combinado de diversos metabólitos secundários presentes na matriz vegetal, os quais podem atuar por diferentes mecanismos como a desestabilização da membrana celular, interferência na síntese de proteínas, inibição de enzimas metabólicas e geração de estresse oxidativo intracelular, de modo que a interação entre diferentes moléculas bioativas pode potencializar a atividade antimicrobiana do extrato tornando-o mais eficaz contra microrganismos como *P. aeruginosa* (Gyawali; Ibrahim, 2014; Mao *et al.*, 2019).

Por fim, no quesito antimicrobiano, se comparar a atuação das concentrações do extrato de gengibre sobre os dois tipos microbianos da CIM₅₀, pode-se observar que o extrato agiu com melhor eficácia em *Pseudomonas aeruginosa*, visto que, todas as concentrações conseguiram atuar inibindo o crescimento do microrganismo em questão, tendo a concentração 2,5% a maior inibição com 88,21% apresentando significância estatística, enquanto em *Staphylococcus aureus*, a maior inibição ocorreu na concentração de 1,25% com a aproximadamente 73% de inibição, sendo que, algumas concentrações agiram em consonância a favor do seu crescimento.

4.3 Avaliação de aspectos qualitativos de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de *Zingiber officinale*

4.3.1 Análise microbiológica

As contagens de bactérias aeróbias mesófilas nos cortes de peito de frango demonstraram elevados valores iniciais (Tabela 1), refletindo a realidade microbiológica de produtos cárneos comercializados *in natura*.

Tabela 2 - Valores de média $\pm$ desvio padrão obtidos a partir da análise microbiológica de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de gengibre na contagem de colônias de microrganismos mesófilos aeróbios, processadas em $\log_{10}$ UFC/g:

Dia	Tratamentos				
	C	CI	CS	IE	SE
0	8,44 $\pm$ 0,8 ac	9,28 $\pm$ 0,39 abcd	8,62 $\pm$ 0,83 abc	8,54 $\pm$ 0,43 abc	8,64 $\pm$ 0,58 abc
3	8,9 $\pm$ 0,79 abcd	9,6 $\pm$ 0,24 bd	9,25 $\pm$ 0,53 abcd	8,28 $\pm$ 0,25 c	9,6 $\pm$ 0,45 abd
6	9,12 $\pm$ 0,36 abcd	8,92 $\pm$ 0,69 abcd	10 $\pm$ 0,62 d	8,84 $\pm$ 0,47 abcd	9,16 $\pm$ 1,01 abcd

Fonte: Autor, 2026.

Legenda: C: controle; CI: controle imersão; CS: controle spray; IE: imersão extrato; SE: spray extrato. Letras diferentes entre os tratamentos nas linhas significam diferença estatística ($p < 0,05$).

Conforme apresentado na Tabela 1, os resultados obtidos no dia 0 indicam que todas as amostras apresentaram contagens de microrganismos aeróbios mesófilos superiores ao valor máximo recomendado pela legislação brasileira para carnes de aves cruas. De acordo com a Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o limite microbiológico estabelecido para microrganismos aeróbios mesófilos em carne de aves crua (exceto miúdos) é definido por um valor m de 10^5 UFC/g e um valor M de 10^6 UFC/g, correspondentes a 5,0 e 6,0 $\log_{10}$ UFC/g, respectivamente. Dessa forma, as contagens iniciais observadas neste estudo ultrapassaram o valor M permitido, indicando que os cortes de frango avaliados já se encontravam fora dos padrões microbiológicos aceitáveis desde o início das análises. Apesar desses valores iniciais, prosseguiu-se com as análises, visto que o objetivo de avaliar os métodos de aplicação e observar a ação do extrato hidroalcoólico de gengibre sobre os microrganismos mesófilos aeróbios não seria afetado.

Conforme apresentado na Tabela 1, as contagens iniciais de microrganismos aeróbios mesófilos foram de 8,44 (C), 9,28 (CI), 8,62 (CS), 8,54 (IE) e 8,64 (SE) $\log_{10}$ UFC/g. A análise conjunta da Tabela 1 demonstra que, ao longo dos seis dias de armazenamento, os grupos controle C e CS apresentaram aumento progressivo no crescimento de microrganismos mesófilos. Por outro lado, o grupo controle CI apresentou crescimento progressivo entre os dias 0 e 3, seguido por uma redução no dia 6, atingindo o valor de 8,92 $\log_{10}$ UFC/g, embora essa variação não tenha sido estatisticamente significativa, o maior crescimento médio de microrganismos mesófilos foi observado no grupo CS no dia 6 de armazenamento, com contagem de 10 $\log_{10}$ UFC/g.

Os tratamentos Controle *Spray* (CS) e Controle Imersão (CI) foram utilizados com o objetivo de comparar os métodos de aplicação na presença e na ausência do extrato de gengibre. O grupo CS apresentou comportamento microbiológico característico de sistemas nos quais ocorre aplicação de água por aspersão sobre a superfície da carne. Conforme observado no dia 0 (Tabela 1), o tratamento CS apresentou carga microbiana inicial de $8,62 \pm 0,33 \log_{10}$ UFC/g. No dia 3 de armazenamento, verificou-se novo aumento da contagem, atingindo $9,25 \pm 0,53 \log_{10}$ UFC/g. Esse comportamento é compatível com estudos que indicam que a aplicação de água por borrifamento pode elevar a atividade de água na superfície do produto e modificar a microatmosfera ao redor da carne, favorecendo o crescimento de bactérias aeróbias mesófilas (Borch *et al.*, 1996). A elevada atividade de água, associada à composição nutricional da carne de frango, favorece o crescimento de microrganismos mesófilos. No dia 6 de armazenamento, o tratamento CS atingiu $10,40 \pm 0,62 \log_{10}$ UFC/g, representando o maior valor observado entre todos os tratamentos. O grupo CI também apresentou aumento das contagens de microrganismos mesófilos entre os dias 0 e 3, com valores de 9,28 e 9,26 $\log_{10}$ UFC/g, respectivamente.

As médias das contagens de microrganismos aeróbios mesófilos para o grupo IE nos dias 0, 3 e 6 de análise foram de 8,54, 8,28 e 8,84 $\log_{10}$ UFC/g, respectivamente. Observou-se, no grupo IE, uma redução de 0,26 $\log_{10}$ UFC/g entre os dias 0 e 3 de armazenamento, seguida por um aumento de 0,56 $\log_{10}$ UFC/g entre os dias 3 e 6, resultando em uma contagem final de 8,84 $\log_{10}$ UFC/g. Dentre os valores médios obtidos, o grupo IE apresentou a maior eficácia inicial, registrando a menor contagem no dia 3 (8,28 $\log_{10}$ UFC/g), valor estatisticamente inferior ao observado em diversos grupos, incluindo o tratamento CS no dia 6, que apresentou a maior média entre os tratamentos, com 10,0 $\log_{10}$ UFC/g. Ao final do período de

armazenamento, o grupo IE manteve a menor média de contagem microbiana ($8,84 \log_{10}$ UFC/g); entretanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Vale salientar sobre as amostras no dia 0 (dia de coleta e primeiro dia de análise dos cortes de peito de frango) que ultrapassaram o padrão microbiológica exigido em regulamentação, entretanto, o extrato conseguiu efeitos bactericidas e bacteriostáticos sobre os microrganismos mesófilos.

Al-Taweel *et al.* (2024) realizaram análises microbiológicas em carcaças de frango submetidas à imersão por 15 minutos em extrato de gengibre nas concentrações de 3% e 5%, observando efeito antimicrobiano significativo para microrganismos mesófilos no segundo e no terceiro dias de armazenamento, em comparação ao grupo controle. A técnica de imersão, ao assegurar contato integral do extrato com a superfície do alimento e elevada disponibilidade inicial de compostos bioativos, como gingeróis e shogaóis, favoreceu a ação bactericida e bacteriostática, evidenciando a potência intrínseca do extrato de gengibre.

A diferença de eficácia entre os métodos de aplicação do extrato, imersão (IE) e pulverização (SE), na redução de bactérias aeróbias mesófilas torna-se evidente na comparação do Dia 3, conforme apresentado na Tabela 1. Enquanto o tratamento IE atingiu contagem de $8,28 \log_{10}$ UFC/g, o tratamento SE apresentou valor superior, de $9,60 \log_{10}$ UFC/g. A técnica de imersão proporciona contato integral do extrato com a superfície do alimento, maior volume do veículo e maior tempo efetivo de exposição, favorecendo a saturação da superfície e a difusão dos compostos bioativos na microestrutura do tecido muscular o que tende a promover reduções microbianas iniciais mais acentuadas quando comparada à aplicação por borrifamento, que resulta em uma camada mais fina e em deposição menos homogênea do agente conservante (Gonzalez *et al.*, 2021).

Em estudos controlados com cortes de frango, Gonzalez *et al.* (2021) demonstraram que tratamentos antimicrobianos aplicados por imersão produziram reduções iniciais significativamente maiores ($\approx 1,7-2,2 \log_{10}$ UFC/g) do que os mesmos tratamentos aplicados por borrifamento ($\approx 0,5-1,2 \log_{10}$ UFC/g) em *Campylobacter jejuni*, evidenciando o efeito prático da maior disponibilidade e do maior contato proporcionados pela imersão. Além disso, comparações metodológicas envolvendo aplicações em matrizes alimentares e sistemas de filmes ou revestimentos comestíveis (*dipping* versus *spraying*) frequentemente indicam melhor desempenho do método de imersão, associado à formação de camadas mais espessas, maior retenção do agente ativo e maior eficácia na proteção contra a deterioração microbiana (Rajaei Lak *et al.*, 2024; Bangar *et al.*, 2021). Essa disparidade sugere que o tratamento SE,

ao gerar uma camada mais delgada e com menor concentração inicial de compostos bioativos, exerce uma pressão seletiva menos intensa, o que pode resultar em liberação mais gradual dos componentes ativos, em contraste com a saturação imediata promovida pela imersão. A notação estatística observada nos resultados também indica uma menor estabilidade da ação antimicrobiana ao longo do período de armazenamento.

O tratamento por imersão (IE), embora tenha apresentado sua máxima eficácia no Dia 3, apresentou recuperação das contagens microbianas no Dia 6, perdendo a distinção estatística observada anteriormente. Essa recuperação sugere que os compostos bioativos do gengibre podem ter sido rapidamente absorvidos pela matriz cárnea ou degradados em função da atividade microbiana e das condições de estocagem, resultando na redução do efeito residual na superfície do produto. A dinâmica observada indica a atuação de mecanismos combinados de diminuição da disponibilidade superficial dos compostos bioativos do gengibre, incluindo a absorção pelo tecido muscular, a interação e ligação com proteínas miofibrilares e possíveis transformações metabólicas ou químicas ao longo do armazenamento. Estudos relatam a detecção de 6-gingerol e 6-shogaol no tecido de peito de frango após a exposição ao extrato, evidenciando a absorção desses compostos pelo músculo (Yilmaz & Toledo, 2021). Além disso, investigações bioquímicas demonstram a interação de gingeróis com proteínas miofibrilares, o que pode reduzir a fração livre com atividade antimicrobiana na superfície do alimento (Souza *et al.*, 2018). De forma complementar, revisões sobre o comportamento de compostos fenólicos em matrizes alimentares e estudos de migração em sistemas de filmes ativos indicam que processos de difusão, ligação a componentes do alimento e degradação durante o armazenamento contribuem para a redução da atividade residual de conservantes naturais ao longo do tempo (Wen *et al.*, 2024).

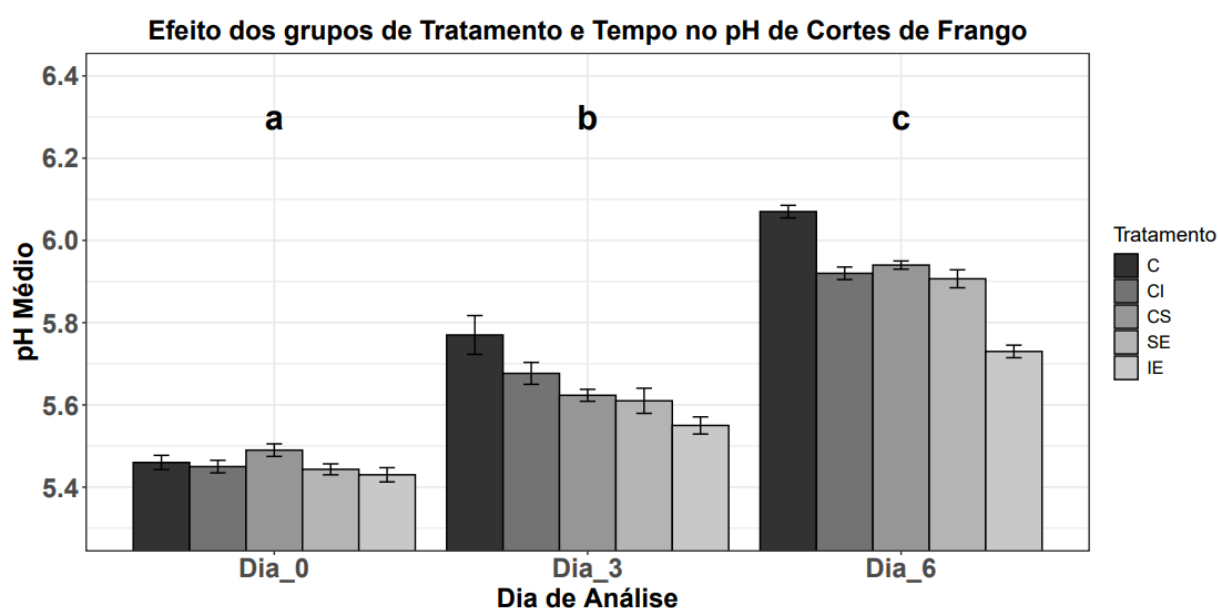
A literatura reforça que os efeitos observados no tratamento por imersão com extrato hidroalcoólico de gengibre (IE) estão diretamente associados aos mecanismos de ação dos principais fitoquímicos do *Zingiber officinale*. Estudos recentes demonstram que o composto 6-gingerol promove a desestabilização da membrana celular, aumenta a permeabilidade, induz vazamento de constituintes intracelulares e ainda inibe bombas de efluxo e fatores de virulência, resultando em forte atividade bacteriostática e bactericida (Elfaky *et al.*, 2024). Esses mecanismos estruturais são coerentes com achados de Wang *et al.* (2020), que observaram que componentes bioativos do gengibre desorganizam a bicamada lipídica bacteriana, levando à perda da integridade de membrana e consequente morte celular, sendo o

6-gingerol um protagonista, atuando também de forma sinérgica com outros compostos, por exemplo, zingibereno, α -farneseno, e α -curcumeno. Continuando em Wang *et al.* (2020) que discorre sobre a ação e os mecanismos antibacterianos do óleo essencial de gengibre, é elucidado como os bioativos possivelmente podem agir na ação frente bactérias: atravessando canais de fluxo de entrada e saída de compostos ficando armazenados em mesossomos; destruição da integridade da membrana celular; inibição da expressão de alguns genes relacionados ao metabolismo energético bacteriano que podem está relacionados à produção de enzimas como, ATPase, ALPase e β -GAL; estresse ribossomal e má formação protéica e danos a nível de DNA provocando também a má formação dessas estruturas. Apesar do presente estudo se tratar do uso de extrato hidroalcoólico de gengibre com base em Mao *et al.* (2019) pode-se observar que as diferentes formulações compartilham os principais fitoquímicos.

4.3.2 Análise físico-química

Os dados obtidos para as análises físico-químicas de cortes de frango e seus grupos de tratamentos correspondentes se encontram no Gráfico 6, 7, 8 e 9.

Gráfico 3 - Avaliação de pH: Valores das médias e seus respectivos desvios padrões obtidos a partir da análise de pH de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de gengibre.



Fonte: Autor, 2026.

Legenda: C: controle; CI: controle imersão; CS: controle spray; IE: imersão extrato; SE: spray extrato. Diferença estatística encontrada apenas para o fator tempo em análise de pH. Letras diferentes entre os tratamentos nas linhas significam diferença estatística ($p < 0,05$).

Na avaliação do pH no dia 0, os valores médios observados foram de 5,461 (C), 5,433 (CI), 5,475 (CS), 5,437 (SE) e 5,447 (IE). Ao final dos seis dias de armazenamento, os valores passaram para 5,943, 5,910, 5,930, 6,060 e 5,726, respectivamente, sendo a evolução das médias apresentada no Gráfico 6. Observa-se que todos os tratamentos apresentaram aumento progressivo dos valores de pH ao longo do período de análise. A análise estatística, realizada por meio do teste de Tukey aplicado às médias de pH dos grupos de tratamento, indicou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para o fator tempo.

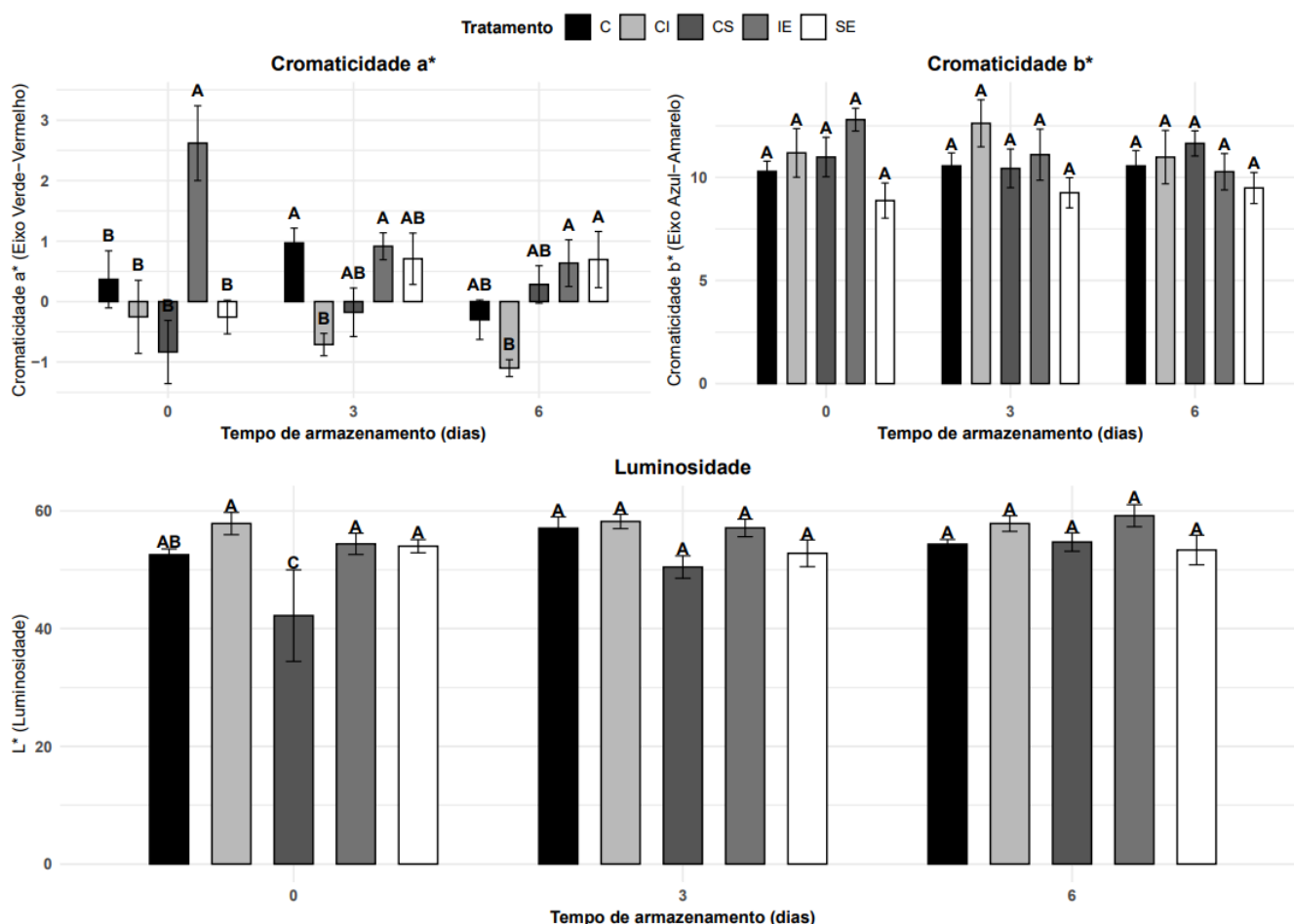
O pH é um dos parâmetros físico-químicos mais empregados para a avaliação da qualidade e do frescor da carne de frango durante o armazenamento, a qual está intimamente ligada às reservas de glicogênio muscular, sendo sensível às alterações bioquímicas pós-morte e ao desenvolvimento microbiano (Beauclercq *et al.*, 2022). De acordo com Beauclercq *et al.* (2017) aves com menor pH muscular foram relacionadas a um perfil metabólico marcado pela maior expressão de genes associados às vias de glicólise e gliconeogênese, além de concentrações elevadas de carboidratos tanto no sangue quanto no tecido muscular. Por outro lado, as aves com maior pH da carne evidenciaram aumento na expressão de genes relacionados ao desenvolvimento muscular, bem como de metabólitos associados ao estresse oxidativo, à degradação proteica e à β -oxidação de lipídios.

Nos tratamentos que utilizaram extrato de gengibre os valores de pH se mantiveram estáveis ao longo do período de armazenamento, sem apresentar variações que pudessem comprometer a qualidade do produto e esse resultado está de acordo com o estudo de Loan *et al.* (2024), que também observaram estabilidade do pH em filés de peito de frango tratados com extrato de gengibre durante o armazenamento refrigerado, de acordo com os autores esse efeito pode ser explicado pela ação dos compostos bioativos presentes no gengibre, que ajudam a controlar o crescimento microbiano inicial, reduzindo a formação de metabólitos ácidos ou alcalinos e contribuindo para a manutenção do pH em níveis mais estáveis

Embora o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), atualmente em vigor e instituído pelo Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, não estabeleça um valor numérico obrigatório de pH para cortes de frango, a literatura técnico-científica e documentos históricos de inspeção, baseados no antigo

RIISPOA (Decreto nº 30.691/1952), utilizam como referência a faixa de pH entre 6,0 e 6,4 para o extrato aquoso da carne, considerada adequada para assegurar a integridade e o frescor do produto. Valores de pH superiores a esse intervalo podem indicar deterioração microbológica ou alterações indesejáveis do metabolismo pós-abate, enquanto valores muito baixos estão geralmente associados a condições de estresse pré-abate e a possíveis defeitos tecnológicos. No presente estudo, todos os tratamentos permaneceram abaixo do limite superior de 6,4 citado na literatura, indicando que, sob a perspectiva da qualidade e da conformidade prática, os cortes de frango mantiveram-se em condições adequadas ao longo do período de armazenamento.

Gráfico 4 - Avaliação de cor: Valores das médias e seus respectivos desvios padrões obtidos a partir da análise colorimétrica de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de *Zingiber officinale*:



Fonte: Autor, 2026.

Legenda: C: controle; CI: controle imersão; CS: controle spray; IE: imersão extrato; SE: spray extrato. Letras diferentes entre os tratamentos nas barras significam diferença estatística ($p < 0,05$).

No gráfico 7 encontram-se os dados referentes a avaliação colorimétrica de cortes de frangos e seus respectivos grupos de tratamento, sendo os seus resultados expressos em L^* , a^* e b^*

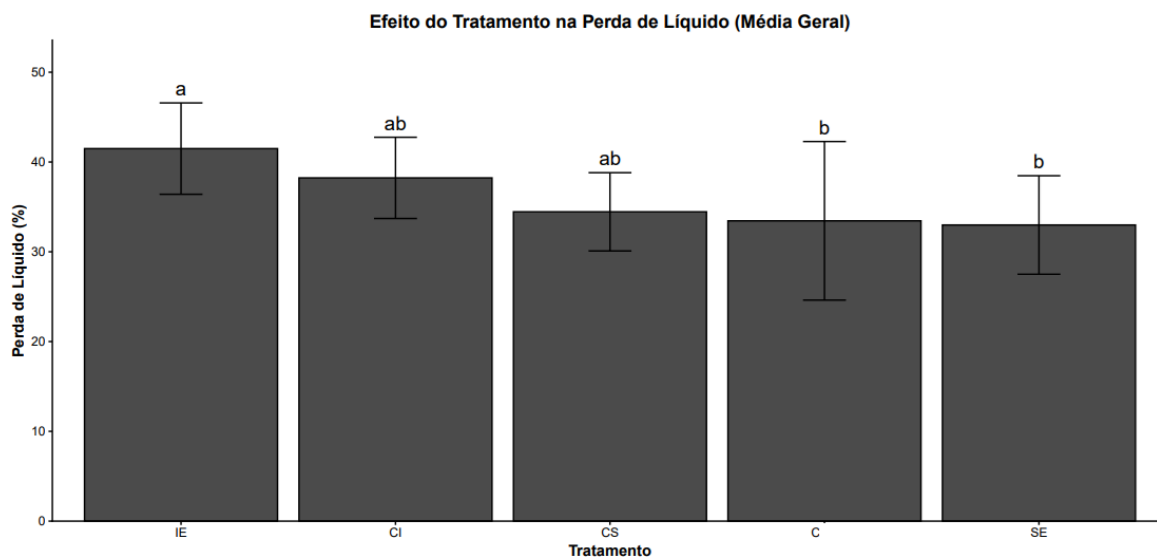
Pode-se observar na cromaticidade de luminosidade que apenas um grupo demonstrou diferença estatística em apenas um dia de análise, sendo ele, o grupo CS no dia 0. O dia 3 e 6 de análise não apresentou diferenças estatísticas. Todos os valores (exceto CS do dia 0) apresentaram valores de luminosidade entre 50 e 60 L^* . Pode-se perceber a estabilização dos valores desse parâmetro e os grupos de tratamento IE e SE não interferiram de forma negativa nos cortes de frango.

Na cromaticidade a^* , observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos apenas no dia 0, especificamente para o tratamento IE. Nesse parâmetro, valores positivos mais elevados indicam maior intensidade da cor vermelha, enquanto valores mais negativos refletem maior tendência à coloração esverdeada. Esses resultados sugerem que o extrato de gengibre promoveu aumento da tonalidade vermelha dos cortes de frango apenas no dia inicial de análise. O grupo IE foi o único que manteve valores positivos de a^* ao longo de todo o período avaliado. A diferença estatística também foi observada no dia 3 de análise, porém restrita à comparação entre os grupos IE e CI. A cromaticidade a^* reflete a intensidade do componente vermelho e está associada ao estado redox da mioglobina; a conversão desta em metamioglobina por processos oxidativos resulta na redução dos valores de a^* e no surgimento de tonalidades amarronzadas indesejáveis, o que compromete a aceitabilidade do produto pelo consumidor (Mancini; Hunt, 2005; Bak *et al.*, 2019). Em peitos de frango, estudos experimentais indicam que pequenas variações nos valores de a^* podem estar associadas a alterações no pH e na capacidade de retenção de água, parâmetros que influenciam diretamente a suculência e a qualidade tecnológica do produto.(Fletcher, 1999; Qiao *et al.*, 2001).

Na cromaticidade de b^* não apresentou-se diferenças estatísticas nos fatores de tempo e grupos de tratamentos.

A avaliação colorimétrica de cortes de frango submetidos a tratamentos com extratos vegetais reveste-se de importância estratégica, pois permite verificar se os compostos bioativos, estão efetivamente preservando ou alterando os atributos visuais fundamentais da carne, como os parâmetros a^* , a luminosidade (L^*) e b^* .

Gráfico 5 - Avaliação de Capacidade de Retenção de Água (CRA): Valores das médias e seus respectivos desvios padrões apresentados na perda de líquido, obtidos a partir da análise de CRA de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de *Zingiber officinale*:



Fonte: Autor, 2026.

Legenda: C: controle; CI: controle imersão; CS: controle spray; IE: imersão extrato; SE: spray extrato. Letras diferentes entre os tratamentos nas barras significam diferença estatística ($p < 0,05$).

O gráfico 6 representa os resultados obtidos a partir da análise de Capacidade de Retenção de Água (CRA). A partir da análise de ANOVA e teste de Tukey foi observado apenas diferenças estatísticas entre os grupos tratamentos e o fator tempo (dias de análise) não apresentou diferenças estatísticas. Os resultados do gráfico foram apresentados quanto a sua perda de líquido, indicando que quanto maior o valor da barra maior a perda de água e menor a CRA.

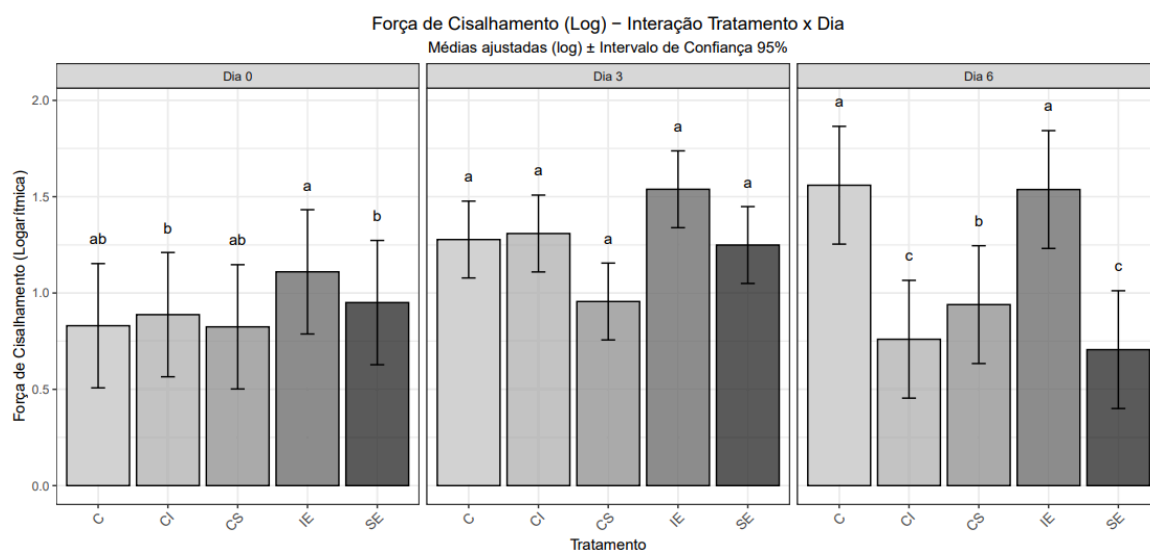
Pode-se observar que o grupo IE obteve o maior valor de CRA e apresentou diferenças estatísticas comparado aos grupos C e SE. O grupo SE e C apresentaram os menores valores de CRA. Enquanto que os grupos CI e CS não apresentaram diferenças estatísticas em comparação ao restante dos grupos. Quanto maior o valor de perda de líquido na CRA indica que menor é a capacidade de retenção da água, indicando que o corte de frango do tratamento IE reteu menos água em suas estruturas internas.

A aplicação do extrato de gengibre pode promover alterações da estrutura na composição proteica do músculo em função de sua atividade proteolítica de natureza enzimática. O complexo de proteases presente no gengibre, incluindo a zingibaina, é capaz de

induzir a fragmentação das miofibrilas e a degradação do tecido conjuntivo, o que pode explicar a redução da capacidade de retenção de água quando essa ação ocorre de forma intensa ou quando há maior penetração do extrato no tecido muscular (Cruz *et al.*, 2020).

A análise da capacidade de retenção de água (CRA) em cortes de frango submetidos ao tratamento com extrato de gengibre é fundamental para a avaliação da qualidade funcional e comercial do produto final, uma vez que esse parâmetro indica a quantidade de água intramuscular que permanece associada à matriz proteica após etapas de manuseio, refrigeração e cocção. Uma elevada retenção hídrica contribui para maior suculência, melhor rendimento após o cozimento, textura mais macia e menor perda por exsudação (*drip loss*), aspectos diretamente relacionados à aceitação sensorial e ao valor agregado do produto. Quando se emprega extrato de gengibre, existe a possibilidade de interação dos compostos bioativos com as proteínas miofibrilares ou de ocorrência de modificações estruturais no tecido muscular, o que pode impactar a capacidade dessas proteínas em reter água. Dessa forma, a determinação da CRA permite avaliar se o tratamento com gengibre mantém, melhora ou compromete a funcionalidade da carne. Assim, a CRA configura-se como um indicador-chave para verificar a viabilidade tecnológica do uso de extratos naturais, assegurando suculência, rendimento e qualidade sensorial em produtos cárneos.

Gráfico 6 - Avaliação de Força de Cisalhamento: Valores das médias e seus respectivos desvios padrões obtidos a partir da análise de Força de Cisalhamento de cortes de frango tratados com extrato hidroalcoólico de *Zingiber officinale*:



Fonte: Autor, 2026.

Legenda: C: controle; CI: controle imersão; CS: controle spray; IE: imersão extrato; SE: spray extrato. Letras diferentes entre os tratamentos nas barras significam diferença estatística ($p < 0,05$).

Como pode-se observar no gráfico 7, no dia 0 de forma imediata os grupos de tratamento tiveram efeitos sobre os frangos no qual o grupo IE apresentou o maior valor de Força de Cisalhamento, enquanto os outros valores apresentaram valores intermediários. No dia 3 percebe-se aumento no valor de todos os grupos. No dia 6 de análise, percebe-se aumento de valor no grupo C. O grupo IE se manteve com valores próximos ao dia 3, enquanto os grupos CI, CS e SE tiveram diminuições em seus valores.

O gengibre contém proteases, frequentemente denominadas zingibain, capazes de promover a fragmentação das miofibrilas e a degradação dos tecidos conjuntivos. Estudos experimentais demonstram que a aplicação de extrato de gengibre pode reduzir a força de cisalhamento e aumentar o índice de fragmentação miofibrilar, indicando efeito de tenderização efetiva em diferentes espécies, como frango, aves envelhecidas e bovinos, especialmente quando a atividade enzimática é predominante (Cruz *et al.*, 2020). Esse fenômeno pode explicar os resultados observados no grupo SE, que apresentou os menores valores tanto na análise de capacidade de retenção de água (CRA) quanto na força de cisalhamento, sugerindo melhora da maciez associada à reorganização estrutural do tecido muscular e à retenção de água nas estruturas da carne de frango.

De acordo com Keppler *et al.* (2020), interações entre proteínas e polifenóis podem resultar na reticulação das proteínas, fenômeno que leva ao aumento da rigidez das estruturas musculares da carne. Esse mecanismo pode ter ocorrido no grupo IE dos cortes de frango, o qual apresentou maior perda de água e aumento da rigidez, conforme evidenciado pelos resultados da análise de força de cisalhamento. Os autores destacam ainda que o efeito prático dessas interações depende fortemente da identidade química do polifenol, da dosagem empregada e das condições de processamento. No presente estudo, esse comportamento pode estar associado, em especial, à forma de aplicação do extrato, seja por borrifamento ou por imersão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo indicam que o extrato hidroalcoólico de *Zingiber officinale* a 10% apresenta potencial tecnológico para aplicação em sistemas alimentares, especialmente em carne de frango, atuando como agente antioxidante e antimicrobiano. Observou-se que sua eficácia varia em função da concentração, do microrganismo-alvo e do método de aplicação.

A atividade antioxidante avaliada pelo método DPPH evidenciou capacidade significativa de sequestro de radicais livres, com IC₅₀ de 2,35 mL/100 mL, confirmando a presença de compostos bioativos com elevado poder redutor. Esse resultado é compatível com dados da literatura e reforça o potencial do gengibre como fonte natural de antioxidantes aplicáveis a matrizes cárneas.

Quanto à atividade antimicrobiana na CIM, o extrato apresentou maior eficácia frente a *Pseudomonas aeruginosa*, com inibição em todas as concentrações testadas, destacando-se a concentração de 2,5%. Para *Staphylococcus aureus*, observou-se inibição em porcentagem menores e comportamento dose-dependente não linear, com efeito hormético em baixas concentrações, evidenciando a necessidade de definição criteriosa da dose mínima eficaz.

Na avaliação microbiológica dos cortes de frango, o método de aplicação foi determinante. A imersão promoveu maior redução inicial de microrganismos aeróbios mesófilos, especialmente no terceiro dia de armazenamento; entretanto, a perda do efeito ao longo do tempo sugere redução da atividade residual do extrato, possivelmente associada à absorção ou degradação dos compostos bioativos. Assim, o uso isolado do extrato mostrou-se eficaz no curto prazo, mas limitado para a estabilidade microbiológica prolongada.

As análises físico-químicas indicaram que o extrato não provocou alterações indesejáveis nos parâmetros de pH e cor, mantendo a qualidade visual e a aceitabilidade dos cortes de frango. Por outro lado, a capacidade de retenção de água e a força de cisalhamento demonstraram influência direta do método de aplicação: a imersão esteve associada a maior perda de água e maior rigidez estrutural, enquanto o borrifamento favoreceu a maciez da carne.

De forma geral, o extrato hidroalcoólico de *Zingiber officinale* mostra-se promissor como conservante natural em carne de frango, sendo a imersão mais indicada para controle microbiano inicial e o borrifamento para preservação de atributos texturais. Contudo, os efeitos dependentes da dose, do método de aplicação e do tempo de armazenamento indicam a necessidade de estudos adicionais, incluindo associações com outras barreiras de conservação e avaliações sensoriais, para viabilizar sua aplicação em escala industrial.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABD EL-GHANY, W. A. *Staphylococcus aureus* in poultry, with special emphasis on methicillin-resistant strain infection: a comprehensive review from one health perspective. **International Journal of One Health**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 257–267, 2021. DOI: 10.14202/IJOH.2021.257-267. Disponível em: <https://www.onehealthjournal.org/Vol.7/No.2/16.html>. Acesso em: 04 jan. 2026.

ABULARACH, M. L. S.; ROCHA, C. E.; FELÍCIO, P. E. *Características de qualidade do contrafilé (Longissimus dorsi) de touros jovens da raça Nelore*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, p. 205–210, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/nTXVQBT6ZbRkKZpTdYL5m5d/?lang=pt>. Acesso em: 15 nov. 2025.

AL-TAWEEL, F. *et al.* *Effect of fresh ginger rhizome extract and trisodium phosphate on microbiological properties of chicken meat*. **Yemeni Journal of Agricultural and Veterinary Sciences**, [S. l.], 2024. Acesso em: 15 dez. 2025.

ALI, B. H.; BLUNDEN, G.; TANIRA, M. O.; NEMMAR, A. *Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (Zingiber officinale Roscoe): a review of recent research*. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 409–420, 2008. DOI: 10.1016/j.fct.2007.09.085. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez13.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0278691507004243?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jan. 2026.

ARMENTA, S.; GARRIGUES, S.; DE LA GUARDIA, M. Green analytical chemistry. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 71, p. 2–8, 2015. DOI: 10.1016/j.trac.2015.04.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016599360800109X>. Acesso em: 13 jan. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). *Relatório anual 2021*. [S. l.]: ABPA, 2022. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2021.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2025.

AZIZ, M. *et al.* *Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables: a review*. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Abingdon, v. 58, n. 3, p. 486–511, 11 fev. 2018. DOI: 10.1080/10408398.2016.1194256. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2016.1194256?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 21 fev. 2026.

BAK, K. H.; *et al.* *Effect of high pressure treatment on the color of fresh and processed meat: a review*. **Food Chemistry**, v. 286, p. 73–83, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.02.001. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/10408398.2017.1363712?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed. Acesso em: 16 dez. 2025.

BANGAR, S. P.; *et al.* Natural antimicrobials as additives for edible food packaging applications: review. **Foods**, v. 10, n. 10, art. 2282, 2021. DOI: 10.3390/foods10102282. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/10/2282>. Acesso em: 04 jan. 2026.

BEAUCLERCQ, S. *et al.* Muscle transcriptome analysis reveals molecular pathways and biomarkers involved in extreme ultimate pH and meat defect occurrence in chicken. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 6447, 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5526995/>. Acesso em: 17 mar. 2026.

BEAUCLERCQ, S. *et al.* A divergent selection on breast meat ultimate pH reveals early differences in serum lipidome of broilers. **Frontiers in Physiology**, v. 13, p. 935868, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9257005/>. Acesso em: 17 mar. 2026.

BIHAN-DUVAL, E. L.; *et al.* Chicken meat quality: genetic variability and relationship with growth and muscle characteristics. **BMC Genetics**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–6, 2008. DOI: 10.1186/1471-2156-9-53. Disponível em: <https://bmcbgenomdata.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2156-9-53>. Acesso em: 08 set. 2025.

BIST, R. B.; *et al.* Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects. **Poultry Science**, [S. l.], v. 103, n. 12, art. 104295, 2024. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104295. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579124008745>. Acesso em: 02 jun. 2025.

BLOIS, M. S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. **Nature**, v. 181, p. 1199-1200, 1958. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/1811199a0>. Acesso em: 09 mar. 2026.

BORCH, E.; KANT-MUERMANS, M. L.; BLIXT, Y. Bacterial spoilage of meat and cured meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, p. 103–120, 1996. DOI: 10.1016/0168-1605(96)01135-X. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8913812/>. Acesso em: 15 dez. 2025.

BRAGAGNOLO, N. Aspectos comparativos entre carnes segundo a composição de ácidos graxos e teor de colesterol. In: **CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA**, 2., 2001. Anais [...]. [S. l.], 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267771289_Aspectos_comparativos_entre_carnes_segundo_a_composicao_de_acidos_graxos_e_teor_de_colesterol. Acesso em: 16 jul. 2025.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643895800085?via%3Dihub>. Acesso em: 20 dez. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria nº 210, de 10 de novembro de 1998**. Aprova o Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carne de Aves. *Diário Oficial da União*: seção 1,

Brasília, DF, n. 219, p. 16, 16 nov. 1998. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/empresario/portaria210199810.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 45, de 3 de novembro de 2010**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre aditivos alimentares autorizados segundo as Boas Práticas de Fabricação. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 4 nov. 2010. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/rdc0045_03_11_2010.html. Acesso em: 05 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 30, de 26 de junho de 2018**. Institui o Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 3 jul. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/produtos-veterinarios/legislacao-1/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-sda-mapa-no-30-de-13-09-2018.pdf/view>. Acesso em: 26 set. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019**. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 26 dez. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/alimentos-normas-estabelecem-padroes-microbiologicos>. Acesso em: 17 dez. 2025.

BUNCIC, S.; SOFOS, J. N. Interventions to control *Salmonella* contamination during poultry, cattle and pig slaughter. **Food Research International**, Amsterdam, v. 45, n. 2, p. 641–655, 2012. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.10.018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996911005941>. Acesso em: 13 jan. 2026.

BURT, S. *Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods — a review*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223–253, 2004. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160504001680?via%3Dihub>. Acesso em: 26 dez. 2025.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Hormesis: the dose-response revolution. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 43, p. 175–197, 2003. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223>. Acesso em: 10 mar. 2026.

CALABRESE, E. J.; MATTSO, M. P. *How does hormesis impact biology, toxicology, and medicine?* **NPJ Aging and Mechanisms of Disease**, v. 3, p. 1–8, 2017. DOI: 10.1038/s41514-017-0013-z. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41514-017-0013-z>. Acesso em: 23 dez. 2025.

CAVALCANTI, D. F. *et al.* The “Hidden Diversity” of Medicinal Plants in Northeastern Brazil. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, p. e76296, 2013. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3817947/>. Acesso em: 23 fev. 2026.

CAROCHO, M.; BARREIRO, M. F.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. *Adding molecules to food, pros and cons: a review on synthetic and natural food additives. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 13, n. 4, p. 377–399, 2014. DOI: 10.1111/1541-4337.12065. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12065>. Acesso em: 20 set. 2025.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. *Natural food additives: quo vadis? Trends in Food Science & Technology*, v. 45, n. 2, p. 284–295, 2015. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.06.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224415001508?via%3Dihub>. Acesso em: 20 set. 2025.

CASABURI, A.; *et al.* *Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage. Food Microbiology*, [S. l.], v. 45, p. 83–102, 2015. DOI: 10.1016/j.fm.2014.02.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002014000276>. Acesso em: 08 set. 2025.

CHENG, C.; *et al.* *Can natural preservatives serve as a new line of protective technology against bacterial pathogens in meat and meat products? Food Quality and Safety*, [S. l.], v. 8, p. 1–17, 2023. DOI: 10.1093/fqsafe/fyad049. Disponível em: <https://academic.oup.com/fqs/article/doi/10.1093/fqsafe/fyad049/7321743>. Acesso em: 03 jun. 2025.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. *General standard for food additives (GSFA)*. Rome: FAO/WHO, 2019. Disponível em: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192e.pdf/. Acesso em: 20 out. 2025.

CRUZ, P. L.; PANNO, P. H. C.; GIANNOTTI, J. D. G.; CARVALHO, R. V.; ROBERTO, C. D. *Effect of proteases from ginger rhizome on the fragmentation of myofibrils and tenderness of chicken breast. LWT – Food Science and Technology*, v. 120, art. 108921, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108921. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819312630?via%3Dihub>. Acesso em: 17 dez. 2025.

DA SILVA, R. N. R. *et al.* *Uso de conservantes naturais em alimentos: um referencial teórico*. In: CORDEIRO, C. A. M. *et al.* (org.). *Ciência e tecnologia de alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas – Volume 2*. 1. ed. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2021. p. 775–786. DOI: 10.37885/210805600. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/210805600.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2026.

DASHIPOUR, A.; RAZAVI, S. M. A.; HOSSEINI, H.; SHOJAEI-ALIABADI, S.; GERMAN, J. B.; GARCIA-GONZALEZ, L. Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films containing *Zingiber officinale* extract. *Carbohydrate Polymers*, Oxford, v. 132, p. 37–46, 2015. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.06.010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813014006035?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jan. 2026.

DAVIDSON, P. M.; TAYLOR, T. M. *Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds*. **Food Microbiology**, v. 24, n. 2, p. 163–170, 2007. DOI: 10.1016/j.fm.2006.09.004. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1128/9781555818463.ch30>. Acesso em: 15 out. 2025.

EFSA — European Food Safety Authority. Scientific opinions / evaluations on food additives (ex.: benzoic acid and benzoates). *EFSA Journal*, 2016. DOI: 10.2903/j.efsa.2016.4433. Disponível em: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2016.4433>. Acesso em: 03 jan. 2026.

ELFAKY, M. A.; *et al.* *Assessing the antibacterial potential of 6-gingerol: membrane disruption, efflux pump inhibition and anti-virulence activities*. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, art. 1298476, 2024. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1298476. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38558886/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

ESTÉVEZ, M. *Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: opportunities, innovative applications and future perspectives*. **Meat Science**, v. 181, art. 108610, 2021. DOI: 10.1016/j.meatsci.2021.108610. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174021001868>. Acesso em: 02 jan. 2026.

EUROPEAN UNION. **Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council on food additives**. *Official Journal of the European Union*, 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02008R1333-20240602>. Acesso em: 02 jan. 2026.

FAO. *Produção: portal para a produção e produtos avícolas*. 2023a. Disponível em: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/en/>. Acesso em: set. 2025.

FERREIRA, E. da C. *et al.* *Temporal assessment of the medicinal plants trade in public markets of the state of Paraíba, northeastern Brazil*. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 17, p. 70, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13002-021-00496-3>. Acesso em: 23 fev. 2026.

FERREIRA, E.O. *et al.* Atividade antimicrobiana dos extratos aquoso e etanólico de *Zingiber officinale* Roscoe. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, v. 8, n. 18, p. e082291-e082291, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/393132004_Atividade_antimicrobiana_dos_extratos_aquoso_e_etanolico_de_Zingiber_officinale_Roscoe. Acesso em: 28 jan. 2026

FLETCHER, D. L. *Broiler breast meat color variation, pH, and texture*. **Poultry Science**, v. 78, n. 9, p. 1323–1327, 1999. DOI: 10.1093/ps/78.9.1323. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911941359X?via%3Dihub>. Acesso em: 19 dez. 2025.

FLETCHER, D. L. *Poultry meat quality*. **World's Poultry Science Journal**, v. 58, n. 2, p. 131–145, 2002. DOI: 10.1079/WPS20020013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1079/WPS20020013>. Acesso em: 15 out. 2025.

FOOD SAFETY BRAZIL. *O que perdas e desperdícios de alimentos têm a ver com a segurança de alimentos?* 2025. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/o-que-perdas-e-desperdicios-de-alimentos-seguranca-de-alimentos/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

GAMA, G. S. P.; *et al.* *Effect of pH on antibacterial and antifungal activity of wood vinegar (pyroligneous extract) from Eucalyptus (hybrid Eucalyptus urophylla × Eucalyptus grandis)**. **Revista Árvore**, v. 47, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/V43sjPtVJwCqCJmyzxrwwqC/?format=html&lang=en>. Acesso em: 26 dez. 2025.

GONZALEZ, S. V.; *et al.* *Evaluation of immersion and spray applications of antimicrobial treatments for reduction of Campylobacter jejuni on chicken wings*. **Foods**, v. 10, n. 4, art. 903, 2021. DOI: 10.3390/foods10040903. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/4/903>. Acesso em: 15 dez. 2025.

GRŽINIĆ, G.; *et al.* *Intensive poultry farming: a review of the impact on the environment and human health*. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 858, art. 160014, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722071145>. Acesso em: 03 jun. 2025.

GUSTAVSSON, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; VAN OTTERDIJK, R.; MEYBECK, A. *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention*. Rome: FAO, 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/4/mb060e/mb060e.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2026.

GYAWALI, R.; IBRAHIM, S. A. *Natural products as antimicrobial agents*. **Food Control**, v. 46, p. 412–429, 2014. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.05.047. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095671351400320X?via%3Dihub>. Acesso em: 19 out. 2025.

HONIKEL, K. O. *Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat*. **Meat Science**, v. 49, n. 4, p. 447–457, 1998. DOI: 10.1016/S0309-1740(98)00034-5. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174098000345?via%3Dihub>. Acesso em: 26 dez. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estatística da produção pecuária*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=producao_agropecuaria&t=resultados. Acesso em: 05 jun. 2025.

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS (ICMSF). *Microorganisms in foods 7: microbiological testing in food safety management*. New York: Springer, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-68460-4#accessibility-information>. Acesso em: 21 jan. 2026.

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, art. 109468, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109468. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820304576?via%3Dihub>. Acesso em: 09 set. 2025.

KEDARE, S. B.; SINGH, R. P. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 4, p. 412-422, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23572765/>. Acesso em: 09 mar. 2026.

KEPPLER, J. K.; SCHWARZ, K.; VAN DER GOOT, A. J. *Covalent modification of food proteins by plant-based ingredients (polyphenols and organosulphur compounds): a commonplace reaction with novel utilization potential.* **Trends in Food Science & Technology**, v. 101, p. 38–49, 2020. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.04.010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224420304520>. Acesso em: 20 dez. 2025.

KERRY, J. P.; O'GRADY, M. N.; HOGAN, S. A. *Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: a review.* **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 113–130, 2006. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.04.024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174006001367?via%3Dihub>. Acesso em: 10 set. 2025.

LEINONEN, I.; KYRIAZAKIS, I. *How can we improve the environmental sustainability of poultry production?* **Proceedings of the Nutrition Society**, [S. l.], v. 75, n. 3, p. 265–273, 2016. DOI: 10.1017/S0029665116000094. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-nutrition-society/article/how-can-we-improve-the-environmental-sustainability-of-poultry-production/A9A3B94C6DB22073A798DC22931E4B98>. Acesso em: 04 jun. 2025.

LEISTNER, L.; GOULD, G. W. *Hurdle technologies: combination treatments for food stability, safety and quality.* New York: Springer, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-0743-7>. Acesso em: 13 jan. 2026.

LI, J. *Natural extracts in polymer packaging: a review.* **Polymers**, Basel, v. 16, n. 5, p. 625, 2024. DOI: 10.3390/polym16050625. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/5/625>. Acesso em: 15 jan. 2026.

LISBOA, H. M.; *et al.* *Innovative and sustainable food preservation techniques: enhancing food quality, safety, and environmental sustainability.* **Sustainability**, [S. l.], v. 16, n. 18, art. 8223, 2024. DOI: 10.3390/su16188223. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/18/8223>. Acesso em: 04 jun. 2025.

LISTRAT, A.; *et al.* *How muscle structure and composition influence meat and flesh quality.* **The Scientific World Journal**, [S. l.], v. 2016, p. 1–14, 2016. DOI: 10.1155/2016/3182746. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4789028/>. Acesso em: 08 set. 2025.

LOAN, H. T. P. *et al.* Preservation of chicken breast meat by ginger extract and ginger essential oil. [S. l.], v. 7, n. 4, p. 575–588, 2024. Disponível em: <https://vjfc.nifc.gov.vn/article?id=4418>. Acesso em: 21 mar. 2026.

MACIEL, C.K. *et al.* Antimicrobianos Naturais: Potencial Bacteriostático do Extrato de Orégano. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 10, p. 3014-3027, 2024. Disponível em: <https://bjhs.emnuvens.com.br/bjhs/article/view/4000>. Acesso em: 28 jan 2026.

MAGALHÃES, K. N. *Plantas medicinais da caatinga do Nordeste brasileiro*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54867/1/2020_liv_knmagalhaes.pdf. Acesso em: 23 fev. 2026.

MAKARYNSKA, A.; VORONA, N. *Analysis of the poultry meat market and justification of expanding its range. Grain Products and Mixed Fodder's: Feed, Quality, Technology and Animal Feed*, [S. l.], v. 22, p. 1–8, 2022. Disponível em: <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/gpmf/article/view/2459/2632>. Acesso em: 26 maio 2025.

MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. *Current research in meat color. Meat Science*, v. 71, n. 1, p. 100–121, 2005. DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.03.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030917400500094X?via%3Dihub>. Acesso em: 17 dez. 2025.

MAO, Q. Q.; XU, X. Y.; CAO, S. Y.; GAN, R. Y.; CORK, C. J.; LI, H. B. *Bioactive compounds and bioactivities of ginger (Zingiber officinale Roscoe)*. *Foods*, Basel, v. 8, n. 6, p. 185, 2019. DOI: 10.3390/foods8060185. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6616534/>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MATTSON, M. P. Hormesis defined. *Ageing Research Reviews*, v. 7, p. 1-7, 2008. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2248601/>. Acesso em: 10 mar. 2026.

MEAD, G. C. *Microbiological quality of poultry meat: a review. Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 6, n. 2, p. 135–142, 2004. DOI: 10.1590/S1516-635X2004000200001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbca/a/8PbvWtDkZ9nLqqpLDgK55XJ/?format=html&lang=en>. Acesso em: 10 out. 2025.

MCMILLIN, K. W. *Advancements in meat packaging. Meat Science*, Amsterdam, v. 132, p. 153–162, 2017. DOI: 10.1016/j.meatsci.2017.04.015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174017302127?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=9bd59d49cf1dca71. Acesso em: 13 jan. 2026.

MIKULEC, N.; *et al.* MALDI-TOF mass spectrometry-based identification of aerobic mesophilic bacteria in raw unpreserved and preserved milk. *Processes*, v. 12, n. 4, art. 731, 2024. DOI: 10.3390/pr12040731. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/12/4/731>. Acesso em: 03 jan. 2026.

MIN, B.; AHN, D. U. *Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products: a review*. **Food Science and Technology**, Ames, v. 14, p. 152–163, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228577245_Mechanism_of_lipid_peroxidation_in_meat_and_meat_products_-A_review. Acesso em: 08 set. 2025.

MISHRA, K.; OJHA, H.; CHAUDHURY, N. K. Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: a critical review. **Food Chemistry**, v. 130, p. 1036-1043, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814611011058>. Acesso em: 09 mar. 2026.

MOLYNEUX, P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 26, n. 2, p. 211-219, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237620105_The_use_of_the_stable_radical_Diphenylpicrylhydrazyl_DPPH_for_estimating_antioxidant_activity. Acesso em: 09 mar. 2026.

MOURA, O. M. *Efeito de métodos de insensibilização e sangria sobre características de qualidade da carne de rã-touro e perfil das indústrias de abate*. 2000. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2000. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8918>. Acesso em: 26 dez. 2025.

MOURA, M. F. D. *Avaliação da vida de prateleira de peito de frango sem pele sob refrigeração*. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/4037/1/Arquivototal.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.

ONU. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 17 abr. 2025.

PARUNRUNGI, A. *et al.* Pengaruh marinasi ekstrak jahe (*Zingiber officinale*) terhadap kualitas fisik daging ayam afkir. **Anoa: Journal of Animal Husbandry**, v. 2, n. 1, p. 14–22, 2023. Disponível em: [https://www.semanticscholar.org/paper/Pengaruh-Marinasi-Ekstrak-Jahe-\(Zingiber-Kualitas-P-arunrunji-Mutmainna/80ff8368a13f32711906d02cddc118fb04acebc8](https://www.semanticscholar.org/paper/Pengaruh-Marinasi-Ekstrak-Jahe-(Zingiber-Kualitas-P-arunrunji-Mutmainna/80ff8368a13f32711906d02cddc118fb04acebc8). Acesso em: 18 dez. 2025.

PENG, Z. Progress in the application of food preservatives in food. **Highlights in Science, Engineering and Technology**, [S.l.], v. 74, p. 1570–1575, 29 dez. 2023. Disponível em: <https://drpress.org/ojs/index.php/HSET/article/view/15857/15382>. Acesso em: 24 abr. 2025. DOI: 10.54097/05gj7k40.

PETRACCI, M. *et al.* Muscle growth and poultry meat quality issues. **Nutrients**, v. 4, n. 1, p. 1–12, jan. 2012. DOI: 10.3390/nu4010001. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/4/1/1>. Acesso em: 15 jul. 2025.

PURSLOW, P. P. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. **Meat Science**, v. 70, n. 3, p. 435–447, jul. 2005. DOI: 10.1016/j.meatsci.2004.06.028. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22063743/>. Acesso em: 8 set. 2025.

ROUGER, A. *et al.* Bacterial contaminants of poultry meat: sources, species, and dynamics. **Microorganisms**, Basel, v. 5, n. 3, p. 50, 2017. DOI: 10.3390/microorganisms5030050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/5/3/50>. Acesso em: 03 jan. 2026.

QIAO, M. *et al.* The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. **Poultry Science**, v. 80, n. 5, p. 676–680, 2001. DOI: 10.1093/ps/80.5.676. Disponível em: <https://academic.oup.com/ps/article/80/5/676/1537367>. Acesso em: 17 dez. 2025.

RAJAEI LAK, H. *et al.* Different coating application methods: Zein-based edible coating containing *Heracleum persicum* essential oil for shelf-life enhancement of whey-less cheese. **Food Science & Nutrition**, v. 12, p. 5990–6010, 2024. DOI: 10.1002/fsn3.4269. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.4269>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SARKHEL, S. *Antimicrobial active packaging with biopolymers and natural extracts: progress and sustainability considerations*. [Journal Name] (2025 review). Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2025/FB/D5FB00689A>. Acesso em: 15 jan. 2026.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757–781, 2015. DOI: 10.1016/j.jff.2015.01.047. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464615000511>. Acesso em: 06 out. 2025.

SHAH, M. A.; BOSCO, S. J. D.; MIR, S. A. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. **Meat Science**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 21–33, 2014. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.03.020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24824531/>. Acesso em: 04 jan. 2026.

SHAJI, S. *et al.* Salmonella infection in poultry: a review on the pathogen and control strategies. **Microorganisms**, Basel, v. 11, n. 11, p. 2814, 20 nov. 2023. DOI: 10.3390/microorganisms11112814. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10672927/>. Acesso em: 04 jan. 2026.

SHAKIL, M. H. *et al.* Nitrites in cured meats, health risk issues, alternatives to nitrites: a review. **Foods**, v. 11, n. 21, art. 3355, 2022. DOI: 10.3390/foods11213355. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/21/3355>. Acesso em: 10 out. 2025.

SIATKOWSKI, A. *et al.* Desenvolvimento sustentável: consequências e impactos de perdas e desperdícios de alimentos. **Journal of Business and Technology**, v. 14, n. 2, p. 3–18, 2020. Disponível em: <https://revistas.faculdefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/513>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SISMER, A. C. *et al.* Aplicação de extratos naturais na inibição do fungo *Penicillium roqueforti*. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 7, n. 14, 2024. Disponível em: <https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/1175>. Acesso em: 28 jan. 2026.

SOFOS, J. N.; GEORNARAS, I. *Overview of current meat hygiene and safety risks and summary of recent studies on biofilms and control strategies*. **Meat Science**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 2–14, 2010. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.04.015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174010001476?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jan. 2026.

SOUZA, V. G. L. *et al.* Shelf life assessment of fresh poultry meat packaged in novel bionanocomposite films incorporated with ginger essential oil. **Coatings**, v. 8, n. 5, p. 177, 2018. DOI: 10.3390/coatings8050177. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/8/5/177>. Acesso em: 15 dez. 2025.

STOILLOVA, I. *et al.* Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). **Food Chemistry**, v. 102, n. 3, p. 764–770, 2007. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.06.023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030881460600481X>. Acesso em: 27 dez. 2025.

TANGKHAM, W. *et al.* Effect of sodium lactate and sodium acetate on shelf-life of raw chicken breasts. **African Journal of Food Science**, v. 6, n. 13, p. 375–380, 15 jul. 2012. DOI: 10.5897/AJFS12.050. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/232815476_Effect_of_sodium_lactate_and_sodium_acetate_on_shelf-life_of_raw_chicken_breasts. Acesso em: 02 jan. 2026.

TERLOUW, E. M. C. Understanding the Determination of Meat Quality Using Biochemical Characteristics of the Muscle: Stress at Slaughter and Other Missing Keys. **Foods**, v. 10, n. 1, art. 84, p. 1–25, 2021. DOI: 10.3390/foods10010084. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/1/84>. Acesso em: 08 set. 2025.

WANG, X. *et al.* Antibacterial Activity and Mechanism of Ginger Essential Oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. **Molecules**, v. 25, n. 22, art. 5449, 2020. DOI: 10.3390/molecules25225449. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/17/3955>. Acesso em: 16 dez. 2025.

WEN, L. *et al.* Research progress on natural preservatives of meat and meat products: classifications, mechanisms and applications. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 2, p. 616–628, 2024. DOI: 10.1002/jsfa.11370. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38546416/>. Acesso em: 14 dez. 2025.

UNITED STATES FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). *Code of Federal Regulations: Title 21 – Food and Drugs*. Washington, DC: U.S. Government Publishing Office, 2023. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21>. Acesso em: 04 jan. 2026.

USDA – United States Department of Agriculture. *Foreign Agricultural Service*. 2025. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 23 maio 2025.

VANNIER, L. R. *et al.* Carne de Frango-Um estudo sobre o consumo, atitudes e o comportamento do consumidor brasileiro. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 9, p. 14854-01e, 2022. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/365343058_Carne_de_Frango_-_Um_estudo_sobre_o_consumo_atitudes_e_o_comportamento_do_consumidor_brasileiro. Acesso em: 28 jan. 2026.

YILMAZ, H.; TOLEDO, R. T. Chemistry of Protein-Phenolic Interactions Toward the Microbiota and Microbial Infections. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, p. 1–14, 2022. DOI: 10.3389/fnut.2021.770309. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2022.914118/full>. Acesso em: 15 dez. 2025.

YU, H. H. *et al.* Application of natural preservatives for meat and meat products against food-borne pathogens and spoilage bacteria: a review. **Foods**, [S.l.], v. 10, n. 10, p. 2418, 12 out. 2021. DOI: 10.3390/foods10102418. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/10/2418>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ZHANG, C.; LIU, Y.; ZHOU, Y.; *et al.* Antibacterial and antibiofilm efficacy and mechanism of ginger extracts. **Foods**, Basel, v. 12, n. 3, p. 611, 2023. DOI: 10.3390/foods12030611. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/3/611>. Acesso em: 13 jan. 2026.