



Repositório Institucional UNESP

RESSALVA

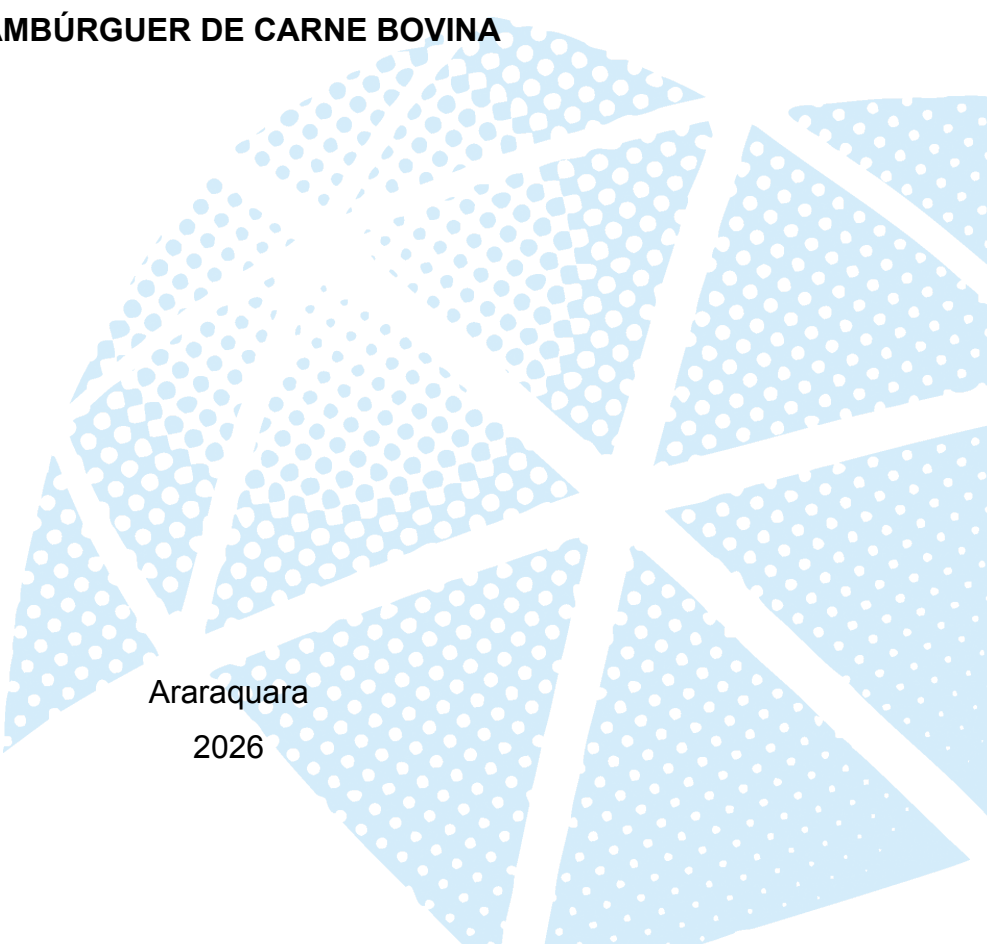
Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 09/06/2028.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Câmpus de Araraquara

RAINARA MICHELIN BELETATO

**APLICAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS BASEADOS EM ALIÁCEAS EM
HAMBÚRGUER DE CARNE BOVINA**

Araraquara
2026



RAINARA MICHELIN BELETATO

**APLICAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS BASEADOS EM ALIÁCEAS EM
HAMBÚRGUER DE CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, para obtenção do título de Mestra em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Orientador(a): Profa. Dra. Renata Tieko Nassu

Araraquara

2026

B428a Beletato, Rainara Michelin
Aplicação de filmes comestíveis baseados em aliáceas em
hambúrguer de carne bovina / Rainara Michelin Beletato. --
Araraquara, 2026
90 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara
Orientadora: Renata Tieko Nassu

1. Hambúrgueres. 2. Alimentos Embalagens. 3. Alimentos
congelados. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS BASEADOS EM ALIÁCEAS EM HAMBÚRGUER DE CARNE BOVINA

AUTORA: RAINARA MICHELIN BELETATO

ORIENTADORA: RENATA TIEKO NASSU

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, área: Alimentos e Nutrição pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. RENATA TIEKO NASSU (Participação Virtual)

Embrapa Pecuária Sudeste / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Prof. Dr. SÉRGIO BERTELLI PFLANZER JÚNIOR (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos / Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade de Campinas (Unicamp)

Profa. Dra. ANDREA CARLA DA SILVA BARRETTO (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos / UNESP / Câmpus de São José do Rio Preto - Ibilce

Araraquara, 09 de junho de 2026.

Dedico este trabalho à minha família

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

E com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2023/03583-9.

Agradeço, primeiramente, a Deus por nunca me abandonar, por renovar minhas forças nos momentos difíceis e por tornar possível a realização deste sonho.

Agradeço às instituições onde esta pesquisa foi desenvolvida, Embrapa Pecuária Sudeste e Embrapa Instrumentação, pela infraestrutura, apoio técnico e ambiente científico que tornaram possível a realização deste trabalho. Agradeço também a colaboração da equipe do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), especialmente a Dra. Marcia Mayumi Harada Haguiwara, que contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento e enriquecimento desta pesquisa.

À minha orientadora Dra. Renata Tieko Nassu, expresso minha sincera gratidão pela orientação, confiança, dedicação e pelos valiosos ensinamentos ao longo de todo o percurso acadêmico, fundamentais para meu crescimento científico e profissional. Às minhas colegas de laboratório, Vanessa e Suelen, agradeço pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento, pelo apoio nos momentos desafiadores e pela convivência diária, que tornaram essa trajetória mais leve e enriquecedora. Aos meus amigos, agradeço pelo incentivo, compreensão e apoio emocional ao longo dessa caminhada, especialmente nos momentos de maior exigência e dedicação.

À minha família, agradeço pelo apoio incondicional, pela compreensão das ausências e pelo constante incentivo à minha formação acadêmica. De maneira especial, agradeço à minha mãe, Rosimeire Michelin, por ser minha maior inspiração, pelo amor, apoio incansável e por nunca medir esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos, sua força e dedicação foram essenciais para que este trabalho se tornasse realidade.

“Para que todos vejam, e saibam, e considerem, e juntamente entendam que a mão do Senhor fez isso.” — Isaías 41:20

RESUMO

Os hambúrgueres de carne bovina são ricos em proteínas e lipídios, mas estão sujeitos a reações oxidativas que, em estágio avançado, podem reduzir o valor nutricional e comprometer a qualidade sensorial durante o armazenamento. As embalagens plásticas são amplamente usadas para sua conservação, porém apresentam desvantagem por ter baixa biodegradabilidade. Nesse contexto, os filmes comestíveis surgem como alternativa sustentável, podendo atuar como embalagens ativas que podem aumentar a estabilidade dos alimentos. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes tipos de embalagem (controle (sem embalagem), papel vegetal e com filme comestível de alho e cebola) sobre a estabilidade físico-química, microbiológica e a aceitação sensorial de hambúrgueres bovinos congelados ao longo de 120 dias de armazenamento. Foram realizadas as análises de composição centesimal e a análise microbiológica no tempo inicial, além da análise dos parâmetros físico-químicos (TBARS, cor, pH, perda por cocção (PPC), perda por encolhimento (PPE), força de cisalhamento e análise de perfil de textura), microbiológicos e sensoriais (aceitação global, intenção de compra e CATA — *Check-All-That-Apply*). Na caracterização inicial, todos os parâmetros físico-químicos atenderam os parâmetros da legislação vigente para hambúrguer bovino. Em relação às análises microbiológicas, as amostras apresentaram contagens abaixo dos limites legais, com redução de aeróbios psicotróficos ao longo do armazenamento. O filme de alho e cebola apresentou menor variação de cor e diferença cromática muito evidente (ΔE) em relação aos outros tratamentos, mantendo maior intensidade de vermelho e a coloração amarelada característica. O pH diminuiu gradualmente em todos os tratamentos. O filme de alho e cebola apresentou menores perdas por cocção (PPC) entre 30 e 120 dias. Quanto à perda por encolhimento (PPE), as diferenças foram observadas principalmente entre o início e os períodos finais de armazenamento para todos os tratamentos. Em relação à força de cisalhamento (FC), o tratamento com filme comestível à base de alho e cebola apresentou menores valores nos tempos de 60 e 90 dias de armazenamento, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Além disso, esse tratamento apresentou menores valores de dureza, coesão, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade ao longo do período analisado, em comparação com o controle e o

papel vegetal, indicando melhor maciez e textura do produto. Na análise de TBARS, observou-se uma tendência de aumento da oxidação lipídica com o tempo para todos os tratamentos. Na análise sensorial, as amostras do tratamento com filme de alho e cebola apresentaram boa aceitação global e intenção de compra, com atributos como “textura macia”, “textura suculenta” e “boa qualidade”. Esses resultados indicam que embalagens com filme ativo de alho e cebola podem prolongar a estabilidade e preservar a qualidade sensorial de hambúrgueres bovinos congelados, configurando-se como uma alternativa viável às embalagens convencionais.

Palavras-chave: hambúrgueres bovinos; embalagens ativas; alho e cebola; vida de prateleira.

ABSTRACT

Beef burgers are rich in protein and lipids, but are subject to oxidative reactions that, in advanced stages, can reduce nutritional value and compromise sensory quality during storage. Plastic packaging is widely used for their preservation, but has the disadvantage of low biodegradability. In this context, edible films emerge as a sustainable alternative, acting as active packaging that can increase food stability. This study aimed to evaluate the effects of different types of packaging (control (no packaging), parchment paper, and edible garlic and onion film) on the physicochemical and microbiological stability and sensory acceptance of frozen beef burgers over 120 days of storage. The centesimal composition and microbiological analyses were performed at the initial time point, in addition to the analysis of physicochemical parameters (TBARS, color, pH, cooking loss (CLL), shrinkage loss (SLL), shear force, and texture profile analysis), microbiological parameters, and sensory parameters (overall acceptance, purchase intention, and CATA — Check-All-That-Apply). In the initial characterization, all physicochemical parameters met the parameters of the current legislation for beef hamburgers. Regarding the microbiological analyses, the samples showed counts below the legal limits, with a reduction in psychrotrophic aerobes throughout storage. The garlic and onion film showed less color variation and a very evident chromatic difference (ΔE) compared to the other treatments, maintaining a higher intensity of red and the characteristic yellowish coloration. The pH gradually decreased in all treatments. The garlic and onion film showed lower cooking losses (CLL) between 30 and 120 days. Regarding shrinkage loss (SLL), differences were observed mainly between the beginning and end of storage periods for all treatments. In relation to shear force (SF), the treatment with edible film based on garlic and onion showed lower values at 60 and 90 days of storage, differing significantly from the other treatments. Furthermore, this treatment showed lower values for hardness, cohesion, elasticity, gumminess, and chewiness throughout the analyzed period, compared to the control and parchment paper, indicating better softness and texture of the product. In the TBARS analysis, a trend of increasing lipid oxidation over time was observed for all treatments; at 120 days, the parchment paper treatment showed higher values and differed significantly from the other treatments. In the sensory analysis, the samples from the garlic and onion film treatment showed good overall acceptance and purchase intention, with positive

attributes such as "soft texture," "juicy texture," and "good quality." These results indicate that packaging with an active garlic and onion film can extend the stability and preserve the sensory quality of frozen beef burgers, representing a viable alternative to conventional packaging.

Keywords: beef burgers; active packaging; garlic and onion; shelf life.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVO GERAL.....	19
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1. PRODUÇÃO DOS FILMES DE ALHO E CEBOLA.....	29
4.1.1. Produção das polpas de alho e cebola.....	29
4.1.2. Produção dos filmes em <i>casting</i> contínuo.....	30
4.2. PRODUÇÃO DOS HAMBÚRGUERES.....	32
4.3. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	33
4.4. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	33
4.5. ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA.....	34
4.5.1. Cor instrumental.....	34
4.5.2. pH.....	35
4.5.3. Perda Por Cocção (PPC).....	35
4.5.4. Perda Por Encolhimento (PPE).....	35
4.5.5. Força de Cisalhamento (FC).....	36
4.5.6. Análise de Perfil de Textura (TPA).....	38
4.5.7. TBARS.....	39
4.6. ANÁLISE SENSORIAL.....	39
4.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
6. CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICE A - FICHA DE ACEITAÇÃO GLOBAL, INTENÇÃO DE COMPRA E CATA.....	86
APÊNDICE B - FICHA DO PERFIL DE CONSUMIDOR DE HAMBÚRGUERES BOVINOS.....	88
APÊNDICE C - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	89

1. INTRODUÇÃO

Segundo os dados do relatório de 2025 do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o Brasil assumiu a posição de maior produtor mundial de carne, superando os Estados Unidos, a produção brasileira foi de 12,35 milhões de toneladas no ano de 2025, registrando um crescimento de 4,2% sobre o ano anterior (USDA, 2025).

A carne e os produtos cárneos são caracterizados por uma composição nutricional rica e diversificada, englobando proteínas de alto valor biológico, lipídios e minerais, os quais apresentam elevada suscetibilidade a diversos mecanismos de deterioração, como a oxidação lipídica e crescimento de microrganismos deteriorantes e patógenos (Amaral *et al.*, 2018; Giannoulis *et al.*, 2026). Os hambúrgueres de carne bovina estão entre os produtos cárneos congelados de maior comercialização e consumo entre diversas faixas socioeconômicas, em razão da praticidade no preparo e da boa aceitação sensorial (Hartmann *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a oxidação lipídica constitui um dos principais fatores limitantes da vida útil de produtos cárneos, como os hambúrgueres. Em estágios avançados, esse processo promove alterações indesejáveis na cor, a textura, o valor nutricional, o odor e o sabor dos produtos cárneos, atributos que constituem os principais determinantes da avaliação negativa da qualidade sensorial pelos consumidores (de Alencar *et al.*, 2022). Além disso, devido a elevada atividade de água ($>0,85$), pH levemente ácido (5,5-5,9) a carne se torna um alimento muito suscetível à deterioração microbiológica, o que pode resultar características sensoriais que impactam negativamente a escolha do consumidor (Mujović *et al.*, 2024).

Associado a isso, dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2014), evidenciou que cerca de um terço de todos os alimentos produzidos globalmente são perdidos ou desperdiçados anualmente, o que acarreta uma perda econômica estimada em aproximadamente US\$7,5 trilhões por ano (Bartocci *et al.*, 2020).

A perda diz respeito aos alimentos que se tornam inadequados para o consumo nas etapas iniciais da cadeia produtiva, como a colheita, o abate e o processamento. Por sua vez, o desperdício ocorre nas fases finais da cadeia, abrangendo desde a comercialização até o consumidor final. Além de desperdiçar recursos naturais como água, energia e terra, há a contribuição de emissões de gases de efeito de estufa (GEE), que estão associadas à produção de alimentos, como a carne bovina (Guimarães *et al.*, 2024). Sendo assim, o prolongamento da vida útil dos produtos é uma maneira de compensar o uso intensivo dos recursos naturais, garantindo que mantenham sua qualidade durante a comercialização e evitando perdas e desperdícios.

Em razão disso, a seleção adequada da embalagem para os produtos alimentícios é de grande importância, pois exerce funções fundamentais na inibição do crescimento microbiano, redução nas taxas de oxidação, amenização de atributos sensoriais indesejáveis e na preservação da integridade nutricional do alimento (Topuz; Uyar, 2020).

A partir disso, as embalagens plásticas flexíveis configuram-se como as mais empregadas na conservação e comercialização de produtos cárneos frescos e curados, em razão de suas propriedades de barreira, transparência e conformabilidade. E suas características, como a leveza, baixo custo de produção e facilidade de processamento, favorecem sua ampla utilização e comercialização (Atanasova *et al.*, 2021). Embora tenham sido desenvolvidos para apresentar alta resistência e durabilidade, muitos dos plásticos mais robustos são empregados em aplicações de curto prazo, sendo que aproximadamente 40% a 45% destinam-se à fabricação de embalagens descartáveis para alimentos (Gates; Crook, 2024).

Os materiais poliméricos comumente utilizados na sua composição incluem o polietileno tereftalato (PET), os polietilenos de alta densidade (PEAD), o cloreto de polivinila (PVC), o cloreto de polivinilideno (PVDC) e as resinas de alta nitrila, que conferem resistência mecânica e estabilidade ao produto durante o armazenamento (De Mori *et al.*, 2024). Por serem materiais não biodegradáveis, os plásticos contribuem significativamente para a poluição ambiental, constituindo um dos principais desafios ecológicos da atualidade. Visto que, os plásticos são polímeros orgânicos de elevado peso molecular, produzidos a partir de materiais não renováveis, como o petróleo.

A partir disso, os filmes comestíveis com propriedades bioativas surgem como uma alternativa tecnológica, pois além de exercer uma função protetora e ser uma opção biodegradável, os filmes comestíveis podem desempenhar papel bioativo ao veicular compostos de interesse para a saúde humana. As plantas e hortaliças apresentam uma ampla variedade de biomoléculas bioativas com propriedades biológicas significativas, incluindo atividades antioxidantes, antimicrobianas, entre outras (Oliveira Filho; Egea, 2022).

Os filmes comestíveis são camadas finas e autossustentáveis, formadas por biomacromoléculas comestíveis, principalmente polissacarídeos (alginato, amido, celulose, quitina, etc.) ou proteínas, adicionados plastificantes, como açúcares ou polióis, a fim de melhorar a flexibilidade mecânica e reduzir a fragilidade estrutural, preservando suas propriedades de barreira (Viana *et al.*, 2018). E as embalagens ativas configuram-se como uma das mais relevantes inovações tecnológicas na área de ciência dos alimentos, particularmente no que se refere ao aumento da segurança microbiológica e à extensão da vida útil de produtos cárneos processados, como hambúrgueres.

Considerando a presença de compostos bioativos tanto no alho quanto na cebola, os quais se destacam entre as hortaliças mais utilizadas na culinária e na medicina tradicional. É possível destacar os flavonoides e compostos fenólicos, especialmente a quercetina presente na cebola (*Allium cepa* L.), entre seus principais compostos bioativos, a qual apresenta elevada atividade antioxidante e antimicrobiana, além de exercer efeito protetor contra a oxidação do colesterol LDL (Deepika; Maurya, 2022). No alho (*Allium sativum* L.), a alicina é o principal composto bioativo, sendo reconhecida por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas (Talib *et al.*, 2024).

A quercetina, um flavonoide abundante em plantas e seus subprodutos, é encontrada em frutas como uvas, maçãs, frutas vermelhas e cítricas, bem como em vegetais como cebola e brócolis. Este composto bioativo está associado a efeitos biológicos relevantes, incluindo prevenção da inflamação e hipertensão arterial, proteção anticancerígena e mitigação do estresse oxidativo celular (Bhargava *et al.*, 2020).

A incorporação de quercetina em filmes de quitosana pode intensificar a capacidade de eliminação de radicais livres, reforçando sua ação antioxidante, podendo reduzir a deterioração microbiana, preservar a cor e prolongar a vida útil da carne vermelha além de influenciar nas propriedades morfológicas e mecânicas do material de embalagem (Souza *et al.*, 2015; Sutharsan *et al.*, 2023). Dessa forma, a incorporação do alho e cebola em filmes comestíveis pode conferir propriedades antioxidantes e antimicrobianas ao material, contribuindo para a preservação da qualidade e da segurança dos alimentos.

Considerando a presença de compostos bioativos, como a quercetina e a alicina, tanto no bulbo quanto na casca da cebola e do alho, hipotetiza-se que filmes comestíveis formulados com extratos integrais dessas hortaliças apresentem potencial para melhorar a estabilidade oxidativa e microbiológica de produtos cárneos processados, como hambúrgueres. Além dos benefícios tecnológicos, o aproveitamento integral das matérias-primas representa uma alternativa inovadora, alinhada aos princípios da sustentabilidade e da economia circular, por reduzir o desperdício, agregar valor às hortaliças e simplificar o processo de obtenção dos extratos. Além disso, a avaliação integrada dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e sensoriais permite uma análise abrangente dos efeitos do filme sobre a qualidade e a aceitação do produto ao longo do armazenamento.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o tipo de embalagem influenciou a estabilidade físico-química, microbiológica e sensorial de hambúrgueres bovinos congelados ao longo de 120 dias de armazenamento. Dentre os tratamentos avaliados, o hambúrguer bovino revestido com filme comestível à base de alho (*Allium sativum* L.) e cebola (*Allium cepa* L.) apresentou desempenho superior, evidenciado pela menor variação de cor durante o armazenamento, menor perda por cocção e melhores características de textura, especialmente maior maciez, quando comparado ao tratamento controle e ao papel vegetal. Além disso, esse tratamento esteve associado a atributos sensoriais positivos e obteve maior aceitação global e intenção de compra em todos os tempos analisados, o que pode influenciar favoravelmente a escolha do consumidor no momento da compra. De forma geral, os resultados indicam que o filme comestível desenvolvido apresenta potencial como alternativa tecnológica para a conservação e o prolongamento da vida de prateleira de hambúrgueres bovinos congelados.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Panorama dos Resíduos Plásticos Pós-consumo no Brasil**. São Paulo: ABIPLAST, 2023. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ALEXANDRE, A. C. S.; et al. Effect of natural and synthetic antioxidants on oxidation and storage stability of mechanically separated tilapia meat. **LWT**, v. 154, p. 112679, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112679>

ALVES MAURICIO, R.; CAMPOS, J. A. D. B.; NASSU, R. T. Meat with edible coating: Acceptance, purchase intention and neophobia. **Food Research International**, v. 154, p. 111002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111002>

ALVES MAURICIO, R.; et al. Development and characterization of edible films from onion and garlic purees via continuous casting for scalable active food packaging. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-026-04361-3>

AMARAL, A. B.; DA SILVA, M. V.; LANNES, S. C. S. Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors—A review. **Food Science and Technology**, v. 38, p. 1–15, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.32518>.

AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION. **Meat Color Measurement Guidelines**. Champaign: American Meat Science Association, 2012. Disponível em: https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/hot-topics/2012_12_meat_clr_guide.pdf. Acesso em: 18 fev. 2026

AMJADI, S.; et al. Multifunctional betanin nanoliposomes-incorporated gelatin/chitosan nanofiber/ZnO nanoparticles nanocomposite film for fresh beef preservation. **Meat Science**, v. 167, p. 108161, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108161>

ANGIOLETTI, B. L.; et al. Improving beef burger quality during cold storage: effect of Aloe vera gel, packaging, and temperature. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 27, e2024033, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.0332024>.

ANTONINI, E.; et al. Nutritional, antioxidant and sensory properties of functional beef burgers formulated with chia seeds and goji puree, before and after in vitro digestion. **Meat Science**, v. 161, p. 108021, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatscience.2019.108021>

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Gaithersburg: AOAC, 2012a. Método 990.26.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Gaithersburg: AOAC, 2012b. Método 991.36.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Gaithersburg: AOAC, 2012c.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Gaithersburg: AOAC, 2012d. Cap. 39, Método 950.46b.

ATANASOVA, N.; et al. Plastic degradation by extremophilic bacteria. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 11, p. 5610, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22115610>.

AZEREDO, H. M. C.; OTONI, C. G.; MATTOSO, L. H. C. Edible films and coatings – Not just packaging materials. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 1590–1595, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.008>.

BADAR, I. H.; et al. Effect of flaxseed-derived diglyceride-based high internal phase Pickering emulsion on the quality characteristics of reformulated beef burgers. **Meat Science**, v. 212, p. 109474, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109474>

BARBERA, S.; TASSONE, S. Meat cooking shrinkage: Measurement of a new meat quality parameter. **Meat Science**, v. 73, p. 467–474, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.01.011>

BARBOSA, T. C. M.; et al. Effect of active gelatin-starch film containing *Syzygium cumini* and *Origanum vulgare* extract on the preservation of lamb burgers. **Meat Science**, v. 191, p. 108844, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108844>

BARRETO, M. R.; et al. Genotoxicological safety assessment of puree-only edible films from onion bulb (*Allium cepa* L.) for use in food packaging-related applications. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 1, p. 201–208, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14977>.

BARTOCCI, P.; et al. LCA analysis of food waste co-digestion. **Science of the Total Environment**, v. 709, p. 136187, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136187>.

BATIHA, G. E. S.; et al. *Rhus coriaria* L. (Sumac), a versatile and resourceful food spice with cornucopia of polyphenols. **Molecules**, v. 27, p. 5179, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27165179>.

BENNETT, R. W.; HAIT, J. M.; TALLENT, S. M. *Staphylococcus aureus* and staphylococcal enterotoxins. In: SALFINGER, Y.; TORTORELLO, M. L. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 5. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2015. p. 509–526.

BHARGAVA, N.; et al. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: a review. **Trends in Food**

Science & Technology, v. 105, p. 385–401, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015>.

BHAT, Z. F.; et al. Edible packaging systems for enhancing the sensory quality of animal-derived foods. **Food Chemistry**, v. 428, p. 136809, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136809>

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, Chicago, v. 32, p. 62–72, 1978.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 27, de 6 de agosto de 2010. Dispõe sobre as categorias de alimentos e embalagens isentos e com obrigatoriedade de registro sanitário. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 9 ago. 2010. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/rdc0027_06_08_2010.html. Acesso em: 24 jul. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. Regulamento técnico – Critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2001. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0091_11_05_2001.html. Acesso em: 24 jul. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 240, de 26 de julho de 2018. Dispõe sobre as categorias de alimentos e embalagens dispensados e com obrigatoriedade de registro sanitário. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 27 jul. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34631601. Acesso em: 24 jul. 2025.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Produção de carnes ultrapassa 31 milhões de toneladas em 2024 e atinge novo recorde na série histórica**. Brasília, DF: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5906-producao-de-carnes-ultrapassa-31-milhoes-de-toneladas-em-2024-e-atinge-novo-recorde-na-serie-historica>. Acesso em: 29 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Métodos Oficiais para Análise de Produtos de Origem Animal**. Brasília, DF: MAPA/SDA, 2017. Parte I, cap. 1, p. 8.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Métodos Oficiais para Análise de Produtos de Origem Animal**. Brasília, DF: MAPA/SDA, 2022. Método 1.26, p. 22. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfda/legislacao-metodos-da-rede-lfda/po-a/metodos_oficiais_para_analise_de_produtos_de_origem_animal-_1a_ed-_2022_a_ssinado.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria SDA nº 724, de 23 de dezembro de 2022. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Hambúrguer. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-724-de-23-de-dezembro-de-2022-456055130>. Acesso em: 29 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria SDA nº 664, de 30 de setembro de 2022. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Carne Moída. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-664-de-30-de-setembro-de-2022-433278402>. Acesso em: 24 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Instrução Normativa nº 313/2024. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2024/09/INSTRUCAO-NORMATIVA-No-313-DE-4-DE-SETEMBRO-DE-2024.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2025.

DA CONCEIÇÃO JORGE, E.; et al. Application of a check-all-that-apply question for evaluating and characterizing meat products. **Meat Science**, v. 100, p. 124-133, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.002>

DE ALENCAR, M. G.; et al. A. et al. Grape skin flour obtained from wine processing as an antioxidant in beef burgers. **Meat Science**, v. 194, p. 108963, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108963>.

DE MORI, C.; NASSU, R. T.; LANGE, T. N. **Uso de embalagens e revestimento comestível em carne bovina in natura e derivados em estabelecimentos de comércio varejistas em São Carlos, SP**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2024. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 64). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1170175>. Acesso em: 26 dez. 2025.

DEEPIKA; MAURYA, P. K. Health benefits of quercetin in age-related diseases. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 27, n. 8, p. 2498, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27082498>.

DÍAZ-MONTES, E.; CASTRO-MUÑOZ, R. Edible films and coatings as food-quality preservers: an overview. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 2, p. 249, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10020249>.

DO NASCIMENTO, N. P.; et al. Enhancing the quality and antioxidant properties of beef burgers with dried Hibiscus sabdariffa L. leaves: characterization and sensory evaluation. **Food Bioscience**, v. 57, p. 103568, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103568>

DOMÍNGUEZ, R.; et al. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. **Food Research International**, v. 113, p. 93-101, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073>

DOMÍNGUEZ, R.; et al.. A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. **Antioxidants (Basel, Switzerland)**, v. 8, n. 10, p. 429, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>

DOS SANTOS, B. M. M.; PIZATO, S.; CORTEZ-VEGA, W. R. Natural edible films and coatings applied in food: a bibliographic review. **Research, Society and Development**, v. 9, e578997613, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7613>.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT: produção de cebola (Onions, dry)**. Roma: FAO, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 30 jul. 2025.

FOOD MARKETING INSTITUTE. **Power of Meat 2025 – Top 10 Findings**. 2025. Disponível em: https://www.fmi.org/docs/default-source/research/power_of_meat_2025_top_10_final.pdf?sfvrsn=9bff7e99_1. Acesso em: 24 jan. 2026.

GATES, E. G.; CROOK, N. The biochemical mechanisms of plastic biodegradation. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 48, n. 6, fuae027, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsre/fuae027>.

GEISSDOERFER, M.; et al. The circular economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757–768, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

GIANNOULIS, N.; et al. Enhancing the safety and shelf life of beef and plant-based burgers by combining High Hydrostatic Pressure (HHP) with nisin or a blueberry-derived product. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 107, p. 104314, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104314>

GRASSO, S.; et al. Effect of texturised soy protein and yeast on the instrumental and sensory quality of hybrid beef meatballs. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 3126–3135, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3552-9>

GUIMARÃES, N. S.; et al. Plate food waste in food services: a systematic review and meta-analysis. **Nutrients**, v. 16, n. 10, p. 1429, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16101429>.

HARTMANN, G. L.; et al. Addition of pumpkin peel flour affects physicochemical and sensory characteristics of bovine burger. **International Journal of Research**, v. 8, n. 2, p. 254-263, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3709208>

HAWLEY, A. L.; et al. The potential role of beef and nutrients found in beef on outcomes of wellbeing in healthy adults 50 years of age and older: a systematic

review of randomized controlled trials. **Meat Science**, v. 189, p. 108830, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108830>

HERAS, M.; et al. Trends in chitosan-based films and coatings: A systematic review of the incorporated biopreservatives, biological properties, and nanotechnology applications in meat preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 42, p. 101259, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101259>

HOLMAN, B.W.B.; et al. Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers's acceptance of beef color. **Meat Science**, v. 127, p. 57-62, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.01.005>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **2024 registra recorde no abate de bovinos, frangos e suínos**. Brasília, DF: IBGE, 2025.

Disponível em:

<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42898-2024-registra-recorde-no-abate-de-bovinos-frangos-e-suinos>.

Acesso em: 24 jul. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of β -glucuronidase-positive Escherichia coli**. ISO 16649-2:2001. Geneva: ISO, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Microbiology of food chain – Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella. Part 1: Detection of Salmonella spp**. ISO 6579-1:2017. Geneva: ISO, 2017.

KIM, W.; RYU, J. H.; KIM, Y. Application of yuba films for preserving beef patties. **LWT**, v. 131, p. 109746, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109746>

LIWARSKA-BIZUKOJC, E. Effect of (bio)plastics on soil environment: A review. *Science of Total Environment*. **Science of The Total Environment**, v. 795, p. 148889, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148889>

MACHARÁČKOVÁ, B.; et al. Cooking loss in retail beef cuts: The effect of muscle type, sex, ageing, pH, salt and cooking method. **Meat Science**, v. 171, p. 108270, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108270>

MILLER, O.; SCARLETT, C. J.; AKANBI, T. O. Lipid stability profiles of uncooked plant-based meat analogue burger patties and comparison of their textural and sensory properties with traditional beef burger patties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 147, p. 108002, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108002>

MOKRZYCKI, W. S.; TATOL, M. Colour difference ΔE – A survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, n. 4, p. 383–411, 2012.

MUJOVIĆ, M.; et al. Effects of dill (*Anethum graveolens*) essential oil and lipid extracts as novel antioxidants and antimicrobial agents on the quality of beef burger. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 13, n. 6, p. 896, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13060896>.

NEVILLE, M.; et al. Consumer-orientated development of hybrid beef burger and sausage analogues. **Food Science & Nutrition**, v. 5, n. 4, p. 852–864, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.466>.

NIMSE, S. B.; PAL, D. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. **RSC Advances**, v. 5, p. 27986–28006, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>

OLIVERA, D. F.; et al. Kinetics of colour and texture changes of beef during storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 821–825, 2012. DOI: [10.1007/s13197-012-0885-7](https://doi.org/10.1007/s13197-012-0885-7)

OLIVEIRA FILHO, J. G.; EGEEA, M. B. Edible bioactive film with curcumin: a potential “functional” packaging? **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 10, p. 5638, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23105638>.

OSWELL, N.; THIPPAREDDI, H.; PEGG, R. B. Practical use of natural antioxidants in meat products in the U.S.: A review. **Meat Science**, v. 145, p. 469–479, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.020>

OTONI, C. G.; et al. Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 5, p. 1151–1169, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>.

OZDEMIR, M.; FLOROS, J. D. Active food packaging technologies. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, n. 3, p. 185–193, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>.

PURSLOW, P. P.; et al. The structural basis of cooking loss in beef: Variations with temperature and ageing. **Food Research International**, v. 89, p. 739–748, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.010>

QUEVEDO, R.; et al. Kinetic modeling of deterioration of frozen industrial burgers based on oxidative rancidity and color. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 7, p. e13655, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13655>

RAMANATHAN, R.; et al. Economic loss, amount of beef discarded, natural resources wastage, and environmental impact due to beef discoloration. **Meat and Muscle Biology**, v. 6, n. 1, p. 13218, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22175/mmb.13218>

RYSER, E.; SCHUMAN, J.D. Mesophilic aerobic plate count. In: SALFINGER, Y., and TORTORELLO, M.L. **Compendium of methods for the microbiological**

examination of foods. 5 ed, American Public Health Association, Washington, DC, 2015. cap. 8, p. 95-101.

REN, F.; et al. Higher Antioxidant Activity, Total Flavonols, and Specific Quercetin Glucosides in Two Different Onion (*Allium cepa* L.) Varieties Grown under Organic Production: Results from a 6-Year Field Study. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 65, n. 25, p. 5122–5132, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01352>

ROCCHETTI, G.; BECCHI, P., P.; LUCINI, L.. Elderberry (*Sambucus nigra* L.) Encapsulated Extracts as Meat Extenders against Lipid and Protein Oxidation during the Shelf-Life of Beef Burgers. **Antioxidants**, v. 11, p. 2130, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11112130>

ROILA, R.; et al. Effect of the application of a green preservative strategy on minced meat products: antimicrobial efficacy of olive mill wastewater polyphenolic extract in improving beef burger shelf-life. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 11, n. 16, p. 2447, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11162447>

ROLDÁN, E.; et al. Characterisation of onion (*Allium cepa* L.) by-products as food ingredients with antioxidant and antibrowning properties. **Food Chemistry**, v. 108, p. 907-916, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.058>

SALUEÑA, B. H.; et al. CIELAB color paths during shelf life. **Meat Science**, v. 157, p. 107889, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>

SOARES, K. S.; et al. Effect of Edible Onion (*Allium cepa* L.) Film on Quality, Sensory Properties and Shelf Life of Beef Burger Patties. **Molecules**, v. 26, n.23, p. 7202, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26237202>

SOUZA, M. P.; et al. Development and Characterization of an Active Chitosan- Based Film Containing Quercetin. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 11, p. 2183–2191, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1580-2>

SØRENSEN G, JØRGENSEN SS. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. **European Food Research & Technology**, v. 202, p. 205-210, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01263541>

SU, L.; et al. Protecting meat color: The interplay of betanin red and myoglobin through antioxidation and coloration. **Food Chemistry**, v. 442, p. 138410, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138410>

TALIB, W. H.; et al. Allicin and Cancer Hallmarks. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 29, n. 6, p. 1320, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29061320>

TANZER, M.; et al. Phthalates, bisphenols and per-and polyfluoroalkyl substances migration from food packaging into food: a systematic review. **Rev Environ Health**, v. 40, n. 3, p. 616-625, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1515/reveh-2025-0027>

TOPUZ, F.; UYAR, T. Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications. **Food Research International**, v. 130, p. 108927, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108927>

TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. **Meat Science**, v. 70, p. 493-508, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Livestock and Poultry: World Markets and Trade 2025**. USDA, 2025. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2025-12/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 18 dez. 2025.

VASAVADA, P.C., CRITZER, F.J. Psychrotrophic microorganisms. In: SALFINGER, Y., and TORTORELLO, M.L. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 5 ed, American Public Health Association, Washington, DC, 2015, p. 175-189.

VIANA, R.M.; et al. Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. **Carbohydrate Polymers**, v. 196, p. 27-32, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.017>

VYNCKE, W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, Leinfelden-Echterdingen, v. 72, n. 12, p. 1084–1087, 1970. DOI: <https://doi.org/10.1002/lipi.19700721218>

VYNCKE, W. Evaluation of the direct thiobarbituric acid extraction method for determining oxidative rancidity in mackerel (*Scomber scombrus* L.). **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, Leinfelden-Echterdingen, v. 77, n. 6, p. 239–240, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1002/lipi.19750770610>

ZHANG, B.; et al. Effects of ginger essential oil on physicochemical and structural properties of agar–sodium alginate bilayer film and its application to beef refrigeration. **Meat Science**, v. 198, p. 109051, 2023. DOI: [10.1016/j.meatsci.2022.109051](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109051).