

EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL E ATIVA PARA CARNES

HIGOR C. MACIEL¹
LORRAN C. FERNANDES¹
MARIA E. SÉRIO^{1*}
MARINA M. G. DE FREITAS¹
LUCINEIA A. C. TONON¹
MÔNICA R. DA S. SCAPIM¹

A exigência dos consumidores por produtos cárneos de qualidade, faz com que a indústria nos últimos anos, invista em inovações na área. O presente trabalho teve como objetivo melhorar a textura de carne bovina da posta branca (*Semitendinosus*), para isso foram desenvolvidos filmes biodegradáveis e ativos utilizados para embalar estas amostras. A enzima papaína adicionada aos filmes, é amplamente utilizada como amaciante de carne, pois acelera o processo de tenderização. Os filmes biodegradáveis foram elaborados pelo método de casting com 1,5% de alginato como agente filmogênico e concentrações de 1% e 2% de papaína, além do filme controle. Os filmes foram caracterizados quanto a espessura, permeabilidade ao vapor d'água e propriedades mecânicas. As amostras de carne foram embaladas com os três tipos de filmes, as análises utilizando texturômetro foram realizadas durante 12 dias de armazenamento a 4°C em incubadora BOD. Os filmes apresentaram características interessantes, como boa barreira a vapor d'água com valores médios de permeabilidade de $7,1 \times 10^{-11}$, $8,35 \times 10^{-11}$ e $1,16 \times 10^{-11}$ g.m⁻².hPa, para os filmes controle, com 1% e 2% de papaína, respectivamente. Além disso, se apresentaram maleáveis e com resistência média à tração de 11,017, 6,086 e 5,404 MPa, respectivamente para os filmes controle, com 1% e 2% de papaína. Os filmes não apresentaram diferença significativa no processo de tenderização da posta branca bovina (*Semitendinosus*), demonstrando que a diminuição da textura da carne ocorreu devido ao processo natural de maturação.

PALAVRAS-CHAVE: QUALIDADE DE CARNE; POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS; EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS; ANÁLISE DE TEXTURA.

¹Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Alimentos/Universidade Estadual de Maringá

*E-mail para correspondência: mariaaeduardaserio@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Brasil vem se destacando entre os principais países produtores de carnes no mundo (ABIEC, 2016) e com o desenvolvimento da cadeia produtiva, os consumidores internos aumentaram o nível de exigência em relação à carne, principalmente no que diz respeito às características qualitativas. Dentre os parâmetros que envolvem a qualidade da carne bovina, a maciez é a característica sensorial mais desejável pelo consumidor (BEHRENDS et. al., 2005; ALVES & MANCIO, 2007).

A papaína é uma cisteína-protease extraída do látex do fruto do mamão papaya (*Carica papaya*), que atua na faixa de pH de 5,0 a 9,0 e temperatura entre 60°C a 70°C, podendo permanecer estável até 90°C. Esta enzima, é muito utilizada para o amaciamento de carnes, pois degrada a actomiosina (complexo protéico formado pelas ligações entre actina e miosina durante o rigor mortis) e as fibras musculares (elastina e colágeno), acelerando o processo de tenderização. A sua alta estabilidade térmica também garante o amaciamento durante o cozimento (STABILE, 1989; KOBLITZ, 2008; ALVES, 2015).

Filmes biodegradáveis são alternativas, ambientalmente corretas, ao uso de polímeros plásticos oriundos do petróleo para embalar alimentos (AYDIN & ZORLUN, 2022; ZHANG & CHEN, 2023). Estes materiais podem ser elaborados a partir de macromoléculas (polímeros naturais) como carboidratos, proteínas e lipídeos (FARIAS et al, 2020). Na produção destes filmes pode-se utilizar as mesmas técnicas empregadas na produção de filmes plásticos convencionais. A técnica de casting têm sido utilizadas por muitos pesquisadores, por ser fácil de baixo custo, onde os polímeros são solubilizados em solvente apropriado, e a solução filmogênica formada é espalhada em recipientes antiaderentes e submetida a secagem em estufa (AYDIN & ZORLUN, 2022).

Por já ser utilizado como ingrediente alimentício, o alginato é um ótimo polímero para embalagens de alimentos (ZHANG & CHEN, 2023). O alginato é um polissacarídeo formado por dois monômeros, β -1,4 D-manurônico (M) e α -1,4-L-gulurônico (G). Todos os monômeros são poliuronídeos e formam ligações iônicas intermoleculares na presença de alguns cátions, como o Ca^{2+} (IGARASHI, 2015).

Embalagens biodegradáveis podem ser ativas ao conter em sua estrutura compostos, que ao interagir com alimento, podem contribuir para manter ou melhorar a qualidade dos alimentos (OLIVEIRA et al., 2021). O presente trabalho teve como objetivo elaborar e caracterizar um filme biodegradável e ativo de alginato incorporado com a enzima papaína, e avaliar a sua eficiência na melhoria da maciez da carne bovina durante o armazenamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O alginato foi adquirido da FMC BioPolymer e papaína no comércio local de Maringá - PR, sendo importada da Índia. A carne utilizada foi a posta

branca bovina (*Semitendinosus*) também adquirida no comércio local de Maringá - PR.

2.2 Procedimento experimental

Os filmes foram obtidos pela técnica de *casting* de acordo com Nascimento et al (2021). Em 200 ml de água destilada à 70 °C com agitação mecânica, foram dissolvidos 3,0 g de alginato de sódio, acrescentou-se 2 ml de glicerol como plastificante, após solubilização adicionou-se a enzima papaína em quantidades pré-determinadas (0, 2 e 4g). Na sequência a solução foi mantida a 65°C e reticulada com 15 ml da solução a 2% de CaCl₂, sob intensa agitação mecânica. O volume de 200 ml de cada solução filmogênica foi vertida em placa de acrílico (20 x 20cm) e submetidas a secagem a 40° C em estufa com circulação de ar por 18 horas. No filme controle não foi acrescentada enzima papaína.

2.3 Caracterização dos filmes

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada pela metodologia descrita por Nascimento et al. (2021) e a permeabilidade ao vapor de água (PVA) pelo método da American Society for Testing and material (E95-96 ASTM, 1995). As análises foram realizadas em triplicata. Os ensaios de tração foram realizados em texturômetro Stable MicroSystem, empregando-se metodologia baseada na norma ASTM D-882-91. As análises foram realizadas com no mínimo 10 repetições.

2.4 Análise de textura da carne

Para análise da eficiência dos filmes ativos com papaína, foram utilizados bifes de aproximadamente 2,5 cm de espessura de carne bovina (posta branca), cortadas sempre no sentido perpendicular às fibras. As amostras de carne previamente cortadas em bifes foram embaladas nos filmes (225 cm²). As carnes embaladas foram mantidas a 4° C por 12 dias em BOD (TE-371, TECNAL), com análises de textura realizadas a cada 48 horas. Para análise de textura, as amostras de carne, sem o filme, foram assadas em forno a temperatura de 170° C, até que a temperatura atingisse 70° C e posteriormente, resfriadas à temperatura ambiente por aproximadamente três horas. Após a cocção das carnes, foram retiradas 4 amostras para o teste de cisalhamento realizado em texturômetro TA. XT2i (Stable Micro Systems SMD) de acordo com a metodologia descrita por Pereira (2012). As análises foram realizadas em triplicata.

2.5 Análise estatística dos dados

Os resultados foram tratados pelos softwares estatísticos Action Stat 3 usando a análise de variância de fator único – ANOVA – e comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Permeabilidade ao vapor de água, PVA

A adição de 2% de papaína reduziu significativamente ($p<0,05$) a permeabilidade ao vapor de água dos filmes de alginato (Tabela 1).

TABELA 1 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS NA ANÁLISE DE PERMEABILIDADE AO VAPOR D'ÁGUA (PVA).

Filme	PVA (g.m/m ² h.Pa)
Controle	$7,10 \times 10^{-11}^a \pm 7,03 \times 10^{-12}$
1%	$8,35 \times 10^{-11}^a \pm 1,42 \times 10^{-12}$
2%	$1,16 \cdot 10^{-11}^b \pm 3,38 \times 10^{-12}$

*Letras diferentes, na mesma coluna, representam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Pacheco (2016) obteve um valor de $1,58 \cdot 10^{-6}$ g.m/m²h.Pa, produzindo filmes de alginato com diferentes soluções reticuladas. Já Salas Valero (2011) encontrou valores de até $1,33 \cdot 10^{-7}$ g.m/m²h.Pa. Esses valores demonstram que a metodologia utilizada produziu filmes com uma ótima barreira ao vapor d'água, auxiliando na qualidade do produto.

3.2 Propriedades mecânicas

A adição de papaína, diminuiu a resistência à tração e a rigidez, mas não afetou o alongamento na ruptura dos filmes (Tabela 2).

TABELA 2 – VALORES MÉDIOS PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS FILMES DE ALGINATO COM E SEM PAPAÍNA.

Filme	Resistência à tração na ruptura (MPa)	Alongamento na ruptura (%)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Padrão	$11,02^a \pm 1,94$	$48,74^a \pm 6,19$	$20,12^a \pm 3,02$
1%	$6,09^b \pm 0,81$	$34,20^a \pm 2,24$	$14,67^b \pm 1,81$
2%	$5,40^b \pm 0,69$	$40,11^a \pm 3,30$	$12,89^b \pm 1,83$

*Letras diferentes, na mesma coluna, representam diferenças significativas ($p < 0,05$).

A presença da papaína pode ter afetado as interações intermoleculares do alginato, aumentando o volume e consequentemente diminuído a resistência dos filmes. Os valores obtidos na resistência à tração de todas as amostras, são considerados baixos. Analisando os resultados referentes ao módulo de elasticidade é possível observar que o filme padrão se difere significativamente ao nível de 5%, o que era previsto, já que o módulo de elasticidade é a relação entre a resistência a tração e o alongamento da ruptura, visto que esses dois parâmetros podem apresentar o mesmo comportamento. O mesmo desempenho sistemático foi observado por Bittante (2015) na produção de filmes biodegradáveis à base de proteína da torta de mamona.

3.3 Microscopia eletrônica de varredura MEV

Analizando as imagens obtidas das superfícies dos filmes controle (Figura 1.a), 1% (Figura 1.b) e 2% (Figura 1.c) de papaína não foram

visualizados poros ou fissuras. Nas micrografias das Figuras 1.b e 1.c foi possível observar alguns precipitados, que provavelmente podem ser atribuídos à presença da enzima papaína, pois na superfície do filme controle os mesmos não foram visualizados (Figura 1.a).

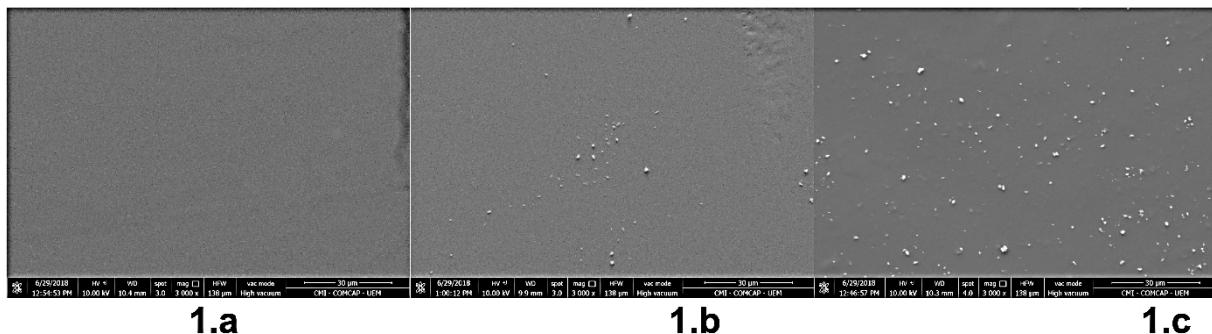


FIGURA 1 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) DAS AMOSTRAS COM AUMENTO DE 3000X.

1.a Microscopia do filme de alginato padrão reticulado com íons de cálcio; 1.b Microscopia do filme de alginato com 1% de papaína reticulado com íons de cálcio; 1.c Microscopia do filme de alginato com 2% de papaína reticulado com íons de cálcio.

3.5 Determinação da textura da carne

A textura das amostras de carne foi analisada pela força de cisalhamento necessária para cortar instrumentalmente as amostras. A presença da papaína nos filmes não alterou significativamente ($p<0,05$) a textura das amostras de carne (Tabela 3).

TABELA 3 – VALORES MÉDIOS PARA A FORÇA DE CISALHAMENTO (N) DAS AMOSTRAS DE CARNE (POSTA BRANCA) EMBALADAS EM RELAÇÃO AO TEMPO DE ARMAZENAMENTO A 4°C.

Filmes	Tempo de armazenamento a 4°C (h)				
	0	96	144	192	264
Padrão	$7,49^a \pm 0,39$	$6,34^a \pm 0,73$	$6,41^a \pm 1,27$	$6,77^a \pm 0,98$	$5,13^a \pm 0,70$
1%	$7,49^a \pm 0,39$	$6,70^a \pm 0,34$	$5,82^a \pm 0,23$	$4,92^a \pm 0,18$	$4,77^a \pm 1,11$
2%	$7,49^a \pm 0,39$	$6,98^a \pm 1,10$	$6,20^a \pm 0,43$	$6,04^a \pm 0,14$	$4,29^a \pm 0,38$

*Letras diferentes, na mesma coluna, representam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Na Figura 2, é possível observar com o gráfico de superfície de resposta, que a concentração de papaína presente nos filmes não modificou a força de cisalhamento da carne e que a força requerida foi diminuindo com o tempo.

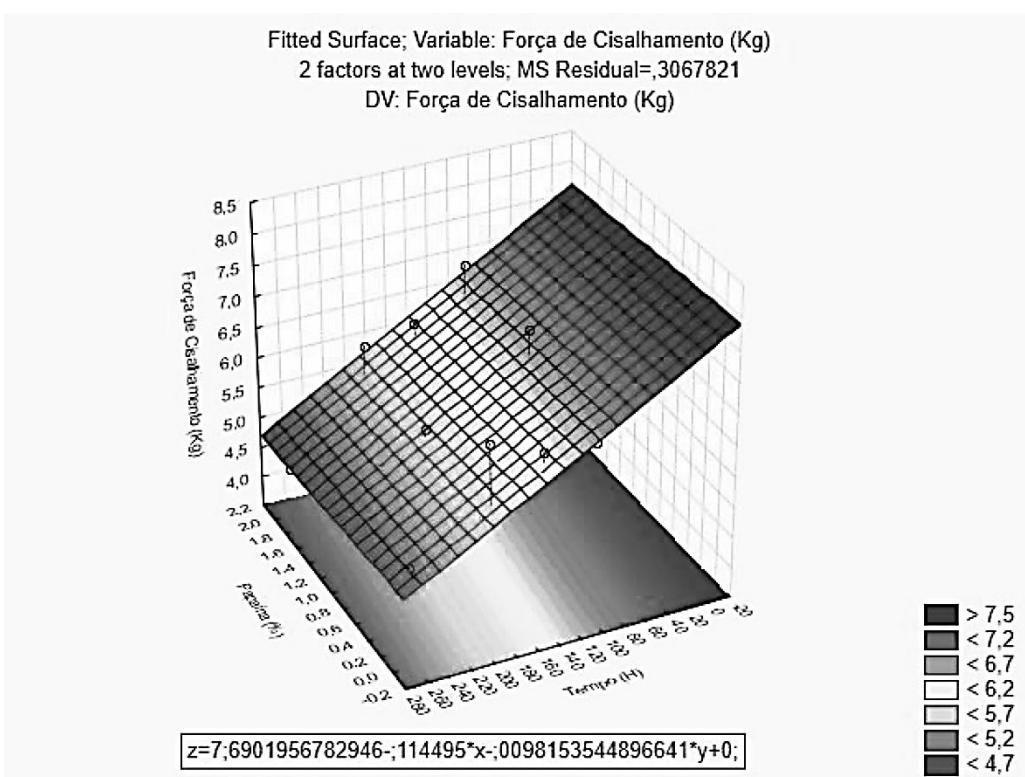


FIGURA 2 – GRÁFICO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA: CONCENTRAÇÃO DE PAPAÍNA VERSUS TEMPO, COM VARIÁVEL DEPENDENTE DA FORÇA DE CISALHAMENTO.

4. CONCLUSÃO

Foi possível obter filmes biodegradáveis de alginato e papaína, porém a incorporação da papaína não promoveu diferença significativa para melhorar a textura de amostras de carne bovina do corte denominado posta branca (*Semitendinosus*). Entretanto, a utilização de 2% de enzima na elaboração do filme diminuiu a permeabilidade ao vapor de água do filme. A presença da enzima reduziu a resistência a tração na ruptura e a rigidez, mas não alterou a elongação na ruptura das amostras de filmes.

BIODEGRADABLE AND ACTIVE PACKAGING FOR MEAT

ABSTRACT: Consumer demand for quality meat products has led the industry to invest in innovations in recent years. The aim of this study was to improve the texture of white meat (*Semitendinosus*). To this end, biodegradable and active films were developed and used to package these samples. The enzyme papain added to the films is widely used as a meat tenderizer, as it speeds up the tenderization process. The biodegradable films were made using the casting method with 1.5% alginate as the film-forming agent and concentrations of 1%

and 2% papain, in addition to the control film. The films were characterized in terms of thickness, water vapor permeability and mechanical properties. The meat samples were packaged with the three types of film and analyzed using a texturometer during 12 days of storage at 4°C in a BOD incubator. The films showed interesting characteristics, such as a good water vapor barrier with average permeability values of 7.1×10^{-11} , 8.35×10^{-11} and 1.16×10^{-11} g.m/m²hPa, for the control films, with 1% and 2% papain, respectively. In addition, they were malleable and had an average tensile strength of 11.017, 6.086 and 5.404 MPa, respectively for the control, 1% and 2% papain films. The films showed no significant difference in the tenderization process of the white beef steak (*Semitendinosus*), demonstrating that the reduction in the texture of the meat was due to the natural maturation process.

REFERÊNCIAS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Perfil da pecuária no Brasil. Relatório Anual 2016. Disponível em: <http://www.girodoboi.com.br/wpcontent/uploads/2016/09/PerfildaPecu%C3%A7a-no-Brasil-ABIEC.pdf>. Acesso em: 30 de jun. de 2023.
- ALVES, G.K. **Uso de papaína e bromelina para obtenção de hidrolisados proteicos de fígado suíno.** Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, nov. 2015.
- ALVES, D.D; MANCIO, A. Maciez da carne: uma revisão. **Revista da Fzva, Uruguaiana**, v. 14, p.193-216, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Designation E96-95: Standard Method for Water Vapor Transmission of Materials.** Philadelphia: ASTM, 1995. (Annual Book of ASTM Standards).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D882-91: Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.** Philadelphia: ASTM, 1996. (Annual Book of ASTM Standards).
- BEHRENDTS, J.M.; GOODSON, K.J.; KOOHMARAIE, M.; SHACKELFORD, S.D. Beef customer satisfaction: USDA quality grade and marination effects on consumer evaluations of top round steaks. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 3, p. 662-670, 2005.
- BITTANTE, A.M.Q.B. **Filmes biodegradáveis à base de proteína da torta de mamona: efeito do pH de extração das proteínas e do reforço com fibras de sisal e/ou glioxal.** 2015. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

FARIAS, Y.B.; COUTINHO, A.K.; TUPUNA-YEROVI, D.S. Incorporation of norbixin in biodegradable alginate films crosslinked with Ca²⁺: Pro-oxidant action. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 138, n. 8, 2020.

IGARASHI, M.C. **Incorporação de antimicrobianos naturais em filme biodegradável à base de alginato para o controle de Listeriamonocytogenes em embutido cárneo fatiado.** 2015. Tese (Doutorado em Bromatologia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

KOBLITZ, M.G.B. **Bioquímica de Alimentos: teoria e aplicações práticas.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2008.

LIMA, A.M.F.; ANDREANI, L.; SOLDI, V.; BORSALI, R. Influência da adição de plastificante e do processo de reticulação na morfologia, absorção de água e propriedades mecânicas de filmes de alginato de sódio. *Química Nova*, v. 30, 2007.

NASCIMENTO, K.M.; CAVALHEIRO, J.B.; NETTO, A.Á.M.; SCAPIM, M.R.S.; BERGAMASCO, R.C. Properties of alginate films incorporated with free and microencapsulated *Stryphnodendron adstringens* extract (barbatimão). *Food Packaging and Shelf Life*, v. 28, 2021.

OLIVEIRA, C.M.; GOMES, B.O.; BATISTA, A.F.P.; MIKCHA, Jane M.G.; YAMASHITA, F.; SCAPIM, M.R.S.; BERGAMASCO, R.C. Development of sorbic acid microcapsules and application in starch-ply (butylene adipate co-terephthalate) films. *Journal Food Process Preserv.*, v. 45, 2021.

PACHECO, L.R.E. **Obtenção e Caracterização de uma matriz polimérica a base de alginato com diferentes agentes reticulantes.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Fluminense - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Campo dos Goytacazes, 2016.

PEREIRA, L.A., **Estudo comparativo de técnicas de determinação da força de cisalhamento de carnes.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Alimentos - Pirassununga, 2012.

SALAS VALERO, L.M. **Elaboração e caracterização de filmes a base de alginato de sódio, reticulados com íons bário (Ba²⁺), estrôncio (Sr²⁺) ou alumínio (Al³⁺).** Campinas, SP: [s.n], 2011.

STABILE, M.N.O. Hidrolisados de Carne Bovina: biotecnologia de obtenção. 1989. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologia Bioquímica- Farmacêutica, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ZHANG, M.; CHEN, H. Development and characterization of starch-sodium alginate-montmorillonite biodegradable antibacterial films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 223, 2023.

ZORLU, E.B.; AYDIN, G. Characterisation and Antibacterial Properties of Novel Biodegradable Films Based on Alginic and Roselle (*Hibiscus sabdarifa L.*) Extract. **Waste and Biomass Valorization**, v.13, p. 2991-3002, 2022.