

OBTENÇÃO DE MICROQUITOSANA POR ULTRASONIFICAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL: perspectivas na manutenção da cor da carne bovina

**Gabriel Basto Prando¹, Kaique Augusto Almeida Chaves², Carolina Naves Aroeira³,
Giselle Pereira Cardoso^{4*}**

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Instituto de Ciência e Tecnologia, Diamantina, Minas Gerais, Brasil. ORCID: 0009-0002-3512-003X . E-mail: gabriel.prando@ufvjm.edu.br

² Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri campus JK, Instituto de Ciência e Tecnologia, Diamantina, Minas Gerais, Brasil. ORCID: 0009-0008-2236-3175. E-mail: kaique.augusto@ufvjm.edu.br

³ AgroProx, Piracicaba, São Paulo, Brasil. ORCID: 0000-0003-2981-6567. E-mail: cnaroeira@gmail.com

⁴ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Instituto de Ciência e Tecnologia, Diamantina, Minas Gerais, Brasil. ORCID: 0000-0003-2795-0287. E-mail: giselle.cardoso@ict.ufvjm.edu.br

Resumo: A carne bovina apresenta elevada perecibilidade devido à oxidação e ao crescimento microbiano. Este estudo avaliou revestimentos comestíveis à base de micro quitosana obtida via gelificação iônica a partir de quitosana em pó e farelada. Após o revestimento, as amostras foram armazenadas em BOD a 2 °C por sete dias e analisadas colorimetricamente pelo sistema CIELab. Como resultado, este estudo ressalta a eficiência do revestimento utilizando a microquitosana para a manutenção da qualidade visual e estabilidade da cor, assim como da preservação da cor da carne *in natura* durante o armazenamento.

Palavras-chave: Quitosana; ultrassom; novas tecnologias; Conservação de alimentos; Colorimetria.

INTRODUÇÃO

A carne bovina é uma das fontes proteicas de maior relevância na dieta global. No entanto, é um produto de elevada perecibilidade, suscetível a processos de deterioração microbiana e oxidação lipídica. A degradação dessas matrizes biológicas compromete a integridade sensorial, com perdas de estabilidade da cor e alterações de odor e textura, bem como a segurança microbiológica, constituindo fatores críticos que limitam a vida útil da carne bovina (Sheerzad et al, 2024). Em resposta às crescentes exigências dos consumidores por produtos minimamente processados, livres de conservantes sintéticos e com menor impacto ambiental, a indústria alimentícia tem direcionado esforços para o desenvolvimento de tecnologias baseadas em embalagens ativas e revestimentos comestíveis (Koirala et al, 2024). Essas tecnologias atuam simultaneamente como barreiras físicas e agentes preservativos naturais, capazes de retardar as reações deletérias inerentes à cadeia produtiva da carne, configurando-se como alternativas sustentáveis para a

manutenção da qualidade durante o armazenamento refrigerado (Nogueira, 2024). Nesse contexto, destaca-se o uso de biopolímeros, entre os quais a quitosana tem se consolidado como uma tecnologia de amplo interesse científico devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e atividade antimicrobiana (Kantak; Bharate, 2022). A quitosana tem sido extensivamente estudada em diversos setores, desde a biomedicina até a tecnologia de alimentos, sendo amplamente reconhecida como um composto seguro e funcional para a produção de filmes comestíveis (Gholap et al., 2023). Gholap et al. e Dias (2023) destacam que a capacidade da quitosana de interagir com diferentes superfícies e formar redes poliméricas coesas confere a esse biopolímero um papel fundamental como matriz carreadora de compostos bioativos. Essa característica possibilita a estruturação de sistemas de conservação alinhados aos princípios da segurança alimentar e da sustentabilidade, considerando que a quitosana é obtida majoritariamente a partir de coprodutos da indústria pesqueira (Koirala et al., 2024).

No entanto, limitações estruturais da quitosana em sua forma convencional, impulsionaram avanços na ciência dos materiais, com o desenvolvimento da nanoquitosana viabilizado pelos progressos da nanotecnologia, representando uma evolução significativa desse biopolímero (Koirala et al., 2024). A redução das partículas para a escala nanométrica amplia significativamente a área superficial específica, o que potencializa a eficácia do material como agente de barreira e possibilita a liberação controlada de compostos ativos incorporados na matriz. Prajapati et al., (2022) ressalta que esse aprimoramento resulta em filmes com propriedades mecânicas e de adesão superiores, além de potencializar suas atividades antimicrobiana e antioxidante, conferindo um desempenho mais robusto na preservação de matrizes perecíveis quando comparado ao uso da quitosana em escala macroscópica.

Sendo assim, pesquisas anteriores (Cardoso et al., 2016; Cardoso et al., 2019) demonstraram que o revestimento composto por 3% de gelatina, 1,5% de quitosana e 6% de glicerol em relação ao conteúdo de gelatina + quitosana foi o mais eficaz com relação à manutenção da cor da carne bovina *in natura*. Portanto, este trabalho objetivou avaliar o impacto da aplicação de revestimentos comestíveis à base de microquitosana sobre as cor da carne fresca durante o armazenamento refrigerado por 7 dias.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido nos Laboratórios de Matérias Primas Alimentícias e Análises Físicas (LabMafis), no Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, Minas Gerais.

Objetivou-se analisar a diferença entre a quitosana farelada e em pó para a obtenção de micropartículas, além do efeito do aquecimento final da solução na aglomeração das partículas, também objetivou-se analisar o efeito do glicerol nas soluções filmogênicas. Para isso, foram conduzidos 8 tratamentos além do tratamento controle conforme observado na Figura 1.

1. Obtenção de micropartículas de quitosana

Foram utilizados dois tipos de quitosana: em pó e farelada, gentilmente doadas pela Patense Agroecologia. O método de obtenção utilizado foi o de gelificação iônica, sendo o tripolifosfato de sódio utilizado como agente reticulante (Prajapati et al., 2022; Koirala et al., 2024). As formulações para obtenção das micro quitosanas estão apresentadas na Tabela 1.

A quitosana (em pó ou farelada) foi inicialmente solubilizada em 25 mL de solução de ácido acético (10%). Na sequência, cada solução foi adicionada de

25 mL de tripolifosfato de sódio (1%) e submetida à ultrassonificação em ultrassom por sonda (Q55, QSonica Sonicators, Newtown, CT, USA).

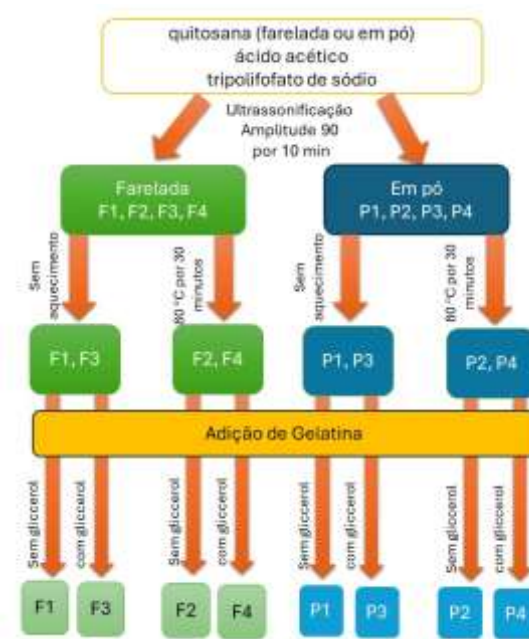


Figura 1. Tratamentos para obtenção das soluções filmogênicas a base de micro quitosana e gelatina.

Tabela 1. Composição para obtenção de micro quitosana.

Amostr a de quitosa na	Quitosana	Ácido Acético (10%)	Tripolif osfato de sódio (1%)	80° C/ 30 min
QF1	1 g (farelada)	25 mL	25 mL	-
QF2	1 g (farelada)	25 mL	25 mL	Sim
Q F3	1 g (farelada)	25 mL	25 mL	-
QF4	1 g (farelada)	25 mL	25 mL	Sim
QP1	1g (em pó)	25 mL	25 mL	-
QP2	1 g (em pó)	25 mL	25 mL	Sim
QP3	1 g (em pó)	25 mL	25 mL	-
QP4	1 g (em pó)	25 mL	25 mL	Sim

As condições operacionais do ultrassom foram fixadas em 90% de amplitude durante 10 minutos, conforme determinado no teste de amplitude prévio (Basto et al., 2025).

Para entender o efeito da temperatura na formação das partículas, as amostras F2, F4, P2 e P4 foram colocadas em banho maria a 80 °C por 30 minutos. O diâmetro hidrodinâmico médio das amostras foi determinado por espalhamento dinâmico de luz (DLS, Dynamic Light Scattering) a 25 °C, com ângulo de incidência do laser de 173°, utilizando um analisador de partículas Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Worcestershire, Inglaterra).

2. Formulações dos Revestimentos

Foram produzidas oito formulações de microquitosana a partir de dois tipos de quitosana, em pó (P) e farelada (F). Para cada tipo de quitosana, foram preparadas quatro formulações, considerando a aplicação ou não de tratamento térmico (80 °C por 30 min) após a formação das micropartículas. Assim, obtiveram-se as formulações F1, F2, F3 e F4, produzidas a partir da quitosana farelada, e P1, P2, P3 e P4, produzidas a partir da quitosana em pó. Posteriormente, as soluções de revestimento foram preparadas utilizando uma formulação base contendo 3,0% (m/v) de gelatina. Cada uma das oito formulações de microquitosana foi incorporada individualmente à solução de gelatina, originando oito revestimentos experimentais. Nessa etapa, também foi avaliado o efeito da adição de glicerol (2,5%, m/v), empregado como plastificante. Dessa forma, para cada tipo de microquitosana, foram obtidos revestimentos sem glicerol (F1, F2, P1 e P2) e com glicerol (F3, F4, P3 e P4). Um tratamento controle (C), constituído apenas pela solução de gelatina, sem adição de microquitosana, também foi incluído para fins de comparação.

As soluções de revestimento foram preparadas pela hidratação de 6 g de gelatina em pó em 50 mL de água destilada por 60 min. Em seguida, foram adicionados 95 mL (ou 100 mL, quando não havia glicerol) de água destilada previamente aquecida a 70 °C, mantendo-se a mistura em banho-maria por 20 min para completa solubilização da gelatina. Posteriormente, foram incorporados 50 mL da respectiva suspensão de microquitosana. Nas formulações F3, F4, P3 e P4, foram adicionados 5 mL de glicerol, correspondendo à concentração final de 2,5% (m/v), completando um volume final de 200 mL. O pH natural das soluções foi mantido, sem ajuste, e as formulações foram homogeneizadas manualmente por 5 min antes da aplicação. O resumo do processo é apresentado na Figura 2.

1. Análises dos revestimentos

O perfil reológico dos revestimentos foi avaliado em um reômetro rotacional (LM200, Lamy rheology), com sistema de medição de spindle DIN 1 e cilindro tamanho 1. Os modelos reológicos Newtoniano,

Oswald the Waele, Bingham e Herschel Bulkley foram testados para verificar o melhor ajuste e o comportamento dos fluidos. Os comportamentos reológicos das amostras foram plotados em curvas de viscosidade (Pa.s) versus taxa de cisalhamento (s⁻¹).

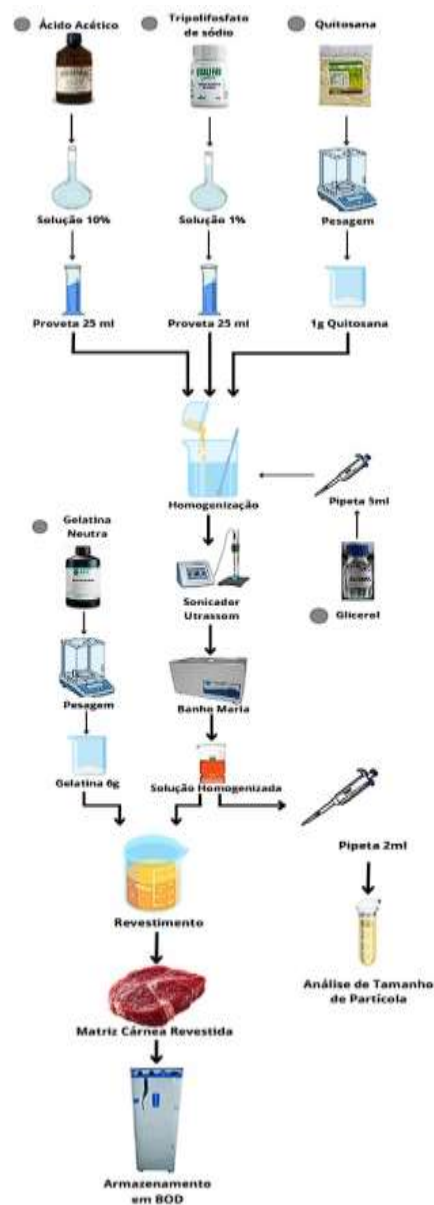


Figura 2. Detalhamento do procedimento experimental para obtenção das microquitosanas, revestimentos e carne revestida.

2. Aplicação dos revestimentos

Foram adquiridos bifes do músculo *Semimembranosus* bovino (chã de dentro) em mercado local. A técnica utilizada para a aplicação



dos revestimentos foi por imersão na solução filmogênica para polimerização dos filmes no próprio bife. Os bifes (armazenados a 2 °C), foram imersos nas soluções de revestimento (que se encontravam a 40 °C) por 5 segundos e, em seguida, acondicionados em bandejas de poliestireno e envoltos por filme plástico transparente de PVC.

As amostras foram armazenadas em câmara climática tipo BOD à temperatura controlada de $2 \pm 0,5$ °C, sem exposição de fotoperíodo. As análises foram realizadas nos seguintes tempos: 1, 3 e 7 dias de armazenamento.

3. Análises dos bifes revestidos

A evolução da cor dos bifes ao longo do período de armazenamento foi acompanhada por meio de registros fotográficos realizados em mini estúdio fotográfico, utilizando um smartphone iPhone 16 Pro Max (Apple Inc.), equipado com sensor principal de 48 MP. Utilizou-se um mini estúdio fotográfico com fundo branco e iluminação controlada para uniformizar o ambiente.

A avaliação objetiva da cor foi realizada nos bifes acondicionados diretamente em placa de vidro, utilizando-se um colorímetro espectrofotômetro CM-5 Konica Minolta, Tóquio, Japão), empregando iluminante D65, ângulo de observação de 10°, modo de leitura em placa de petri e sistema de coordenadas de cor CIELAB. Foram analisados os componentes L*, a*, b* assim como suas variações, ΔL^* , Δa^* , Δb^* . Foram realizadas 10 medições em pontos distintos dos bifes por análise.

Além disso, foi utilizado um bife não revestido como controle no tempo 1 para realização da análise de diferença global da cor delta E.

Para realização das fotos, as imagens foram enquadradas sempre na mesma região da superfície do produto, procurando minimizar variações decorrentes da posição de análise e permitir uma comparação mais precisa entre os diferentes períodos de armazenamento.

4. Análises estatísticas

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$ para produção dos revestimentos, sendo os fatores: tipo de quitosana (farelada e em pó), tratamento térmico da microquitosana (com e sem aquecimento a 80 °C por 30 min), adição de glicerol ao revestimento (com e sem glicerol).

Para a análise das carnes nos 3 dias de estocagem, foi considerado um esquema fatorial de $2 \times 2 \times 2 \times 3$, totalizando os oito tratamentos anteriores em 3 tempos de estocagem (dias 1, 4 e 7). Adicionalmente, foi incluído um tratamento controle, constituído por revestimento à base de gelatina sem adição de microquitosana. Cada tratamento foi conduzido em três repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo avaliados os efeitos principais dos fatores e suas interações. Quando constatadas diferenças significativas ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statística 7.1.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As soluções de quitosana sonicadas foram avaliadas quanto ao tamanho da partícula. A análise foi realizada diretamente nas soluções, sem diluição. As amostras F1, F2 e P4 apresentaram os menores tamanho de partícula ($F1 = 7134,33$ nm, $F2 = 7837,66$ nm e $8055,33$ nm) conforme observado na Tabela 2. Sendo estes tamanhos classificados dentro das medidas de micrômetros, portanto, as quitosanas obtidas foram classificadas como microquitosanas.

Tabela 2. Composição para obtenção de microquitosana.

Tra tam ent o	Tipo de quitosana	Aquecimento	Tamanho de partícula (nm)
F1	farelada	-	7134,33 ^a
F2	farelada	80 °C/30 min	7837,66 ^a
F3	farelada	-	21813,33 ^d
F4	farelada	80 °C/30 min	17466,66 ^{cd}
P1	em pó	-	15870,00 ^{bcd}
P2	em pó	80 °C/30 min	10078,33 ^{ab}
P3	em pó	-	12993,33 ^{abc}
P4	em pó	80 °C/30 min	8055,33 ^a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Não foram observadas diferenças significativas

($p>0,05$) no tipo de quitosana (média em pó de 11749,25 nm e da farelada de 13563,0 nm). observou-se um efeito positivo ($p<0,05$) no aquecimento posterior à sonicação para a obtenção das micropartículas, sendo a média para as amostras aquecidas de 10859,50 nm, enquanto as sem aquecimento tiveram uma média de 14452,75 nm. Portanto, o aquecimento é interessante para a redução do tamanho de partículas de quitosana.

De todos os modelos testados, as soluções dos revestimentos apresentaram comportamento de Oswald de Waele (R^2 de 94,5 a 97,9%), cuja equação é descrita por (equação 1):

$$\tau = \kappa \dot{\gamma}^n \text{ (equação 1)}$$

onde τ é a tensão de cisalhamento (Pa), κ é o índice de consistência (Pa.s^n), $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento (s^{-1}) e n indica o comportamento do fluido, onde $n < 1$: fluido pseudoplástico (afinamento por cisalhamento); $n = 1$: fluido Newtoniano; $n > 1$: fluido dilatante (espessamento por cisalhamento).

Os dados estão dispostos de acordo com a tabela 3.

Tabela 3. Coeficientes do modelo de Oswald de Waele para os revestimentos estudados.

Amostra	R^2	K	n
F1	95,6%	0,02	0,92
F2	97,2%	0,028	0,9
F3	95,2%	0,075	0,784
F4	95,7%	0,045	0,848
P1	94,5%	0,029	0,91
P2	95,1%	0,059	0,818
P3	97,9%	0,025	0,95
P4	97,3%	0,048	0,86

Todos os revestimentos apresentaram comportamento pseudoplástico ($n<1$), cujo comportamento é típico de soluções poliméricas (Mannozi et al., 2021). Nesses sistemas, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento devido ao alinhamento das cadeias macromoleculares na direção do fluxo, reduzindo a resistência ao escoamento. Os índices de consistência (K) foram variáveis, de 0,02 a 0,075 Pa.s^n , indicando diferenças no escoamento das amostras.

O comportamento da viscosidade dos revestimentos foi característico de fluidos pseudoplásticos, e os

revestimentos que possuíam o glicerol na composição apresentaram as maiores viscosidades (Figura 3). O valor de K corrobora os resultados obtidos para a viscosidade, confirmando o papel do glicerol no aumento da viscosidade.

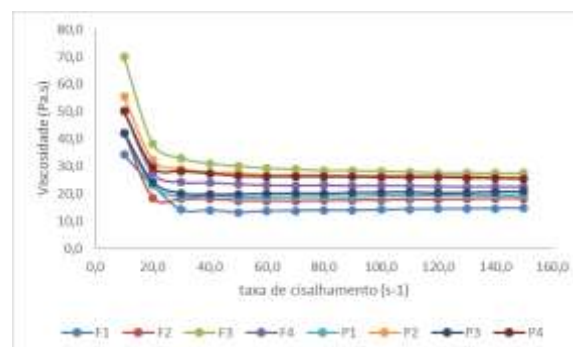


Figura 3. Viscosidade (Pa.s) das amostras F1 a F4 e P1 a P4, para taxas de cisalhamento de 10 s^{-1} a 150 s^{-1} .

Gigante et al. (2025), estudando soluções poliméricas a base de quitosana, glicerol entre outros compostos observaram que a quitosana leva a um aumento da viscosidade das soluções, o que foi atenuado pela presença do plastificante glicerol. Portanto, foi um achado diferente deste trabalho em que o glicerol favoreceu a viscosidade.

Acompanhamento da cor dos bifes com o tempo

O acompanhamento visual das amostras apresenta-se por meio de registros fotográficos nos dias 1, 4 e 7 de armazenamento em BOD a 2° C (Figura 4). A aparência visual das amostras com ao longo do período de armazenamento permitiu observar alterações na aparência da carne, incluindo o escurecimento gradual da superfície. Nas amostras revestidas, verificou-se o aparecimento de brilho superficial característico do revestimento aplicado. Já no tratamento controle, foi possível observar o desenvolvimento de colônias bacterianas a partir do sétimo dia de estocagem.

Importante destacar, também, que o odor do tratamento controle a partir do quarto dia de armazenamento foi mais intenso e característico de deterioração, indicando comprometimento da qualidade do produto.

A comparação entre os três períodos permite utilizar o controle como referência para avaliar a eficiência dos demais tratamentos na preservação das características visuais da carne durante o armazenamento refrigerado. ao comparar as imagens das amostras fareladas (F1 a F4) e em pó (P1 a P4), observa-se que a partir do dia 4, os revestimentos influenciaram no retardo do processo de descoloração dos bifes, indicando menores mudanças na coloração vermelha superficial,

maior brilho (devido ao revestimento) e melhor aparência geral.

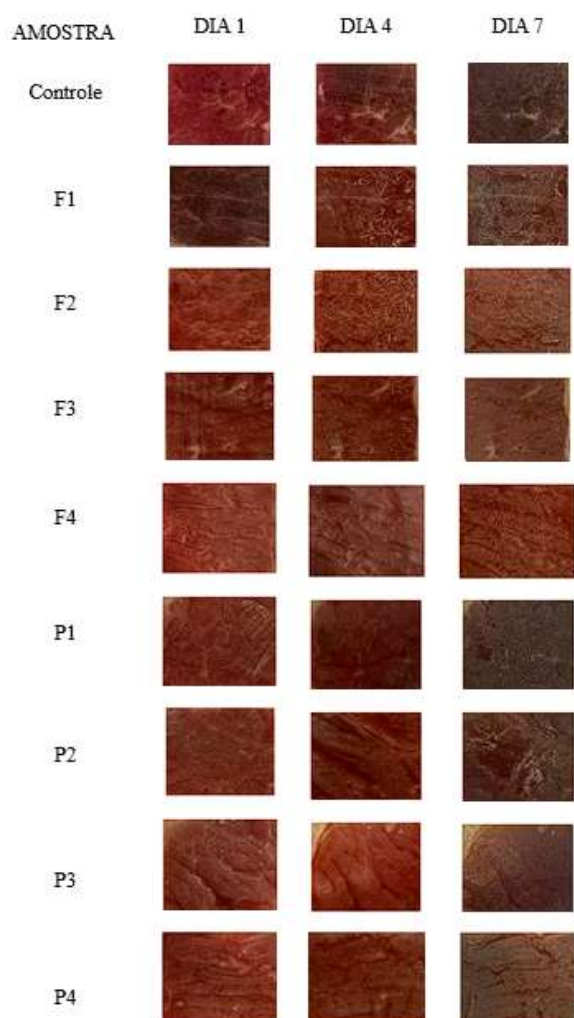


Figura 4. Fotos das amostras F1 a F4 e P1 a P4 nos dias 1, 4 e 7 de estocagem a 2 °C.

Dessa forma, os registros fotográficos servem como análise complementar, permitindo observar o efeito dos diferentes tratamentos na preservação das características visuais das amostras.

O revestimento resultou na manutenção satisfatória da cor das amostras, sendo evidenciada uma manutenção da cor até o quarto dia. no sétimo dia, visualmente as amostras F2 e F4 preservaram a coloração característica da carne fresca, com aparência semelhante à observada no primeiro dia de armazenamento.

Estes dados corroboram com o encontrado por Cardoso et al. (2016) e Cardoso et al. (2019) que avaliaram a utilização de diferentes tipos de quitosana em carne bovina por 7 dias, com aplicações em mono ou duplas camadas.

Sheerzad et al. (2024) realizaram a análise sensorial visual de peitos de frango revestidos com revestimento a base de whey e nanoquitosana; seus resultados

indicaram que os revestimentos com nanoquitosana mantiveram a cor dos bifes refrigerados 4 °C por 12 dias.

O tipo de quitosana (em pó ou farelada), presença de glicerol e dias de armazenamento foram os fatores que afetaram diretamente os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* das amostras. Os valores médios dos parâmetros de cor com relação ao tipo de quitosana são apresentados na tabela 4. A aplicação do revestimento aumentou o valor da luminosidade e da tonalidade de amarelo. Apenas a quitosana farelada apresentou um efeito positivo no componente vermelho ($a^*=12,81$) da cor.

Tabela 4. Valores médios de L^* , a^* e b^* de acordo com o tipo de quitosana (farelada ou em pó) presente nos revestimentos dos bifes armazenados a 2 °C por 7 dias.

	L^*	a^*	b^*
sem quitosana	40,42 ^a	11,05 ^a	9,79 ^a
em pó	43,98 ^b	11,21 ^a	12,53 ^b
farelada	44,23 ^b	12,81 ^b	12,67 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

A presença do glicerol afetou efetivamente os valores de a^* das carnes armazenadas (tabela 5), por ser um plastificante, pode favorecer a formação de uma barreira mais eficiente à difusão de oxigênio, reduzindo a oxidação da oximioglobina para metamioglobina e contribuindo para a preservação da coloração vermelha da carne.

Tabela 5. Valores médios de L^* , a^* e b^* de acordo com a adição ou não de 2,5% de glicerol nos revestimentos dos bifes armazenados a 2 °C por 7 dias.

	L^*	a^*	b^*
controle	40,43 ^a	11,01 ^a	9,75 ^a
2,5% de glicerol	44,03 ^b	11,71 ^b	12,50 ^b
sem glicerol	44,21 ^b	12,47 ^c	12,73 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

No geral, as amostras apresentaram redução dos valores de L^* ao longo dos 7 dias de armazenamento, indicando uma tendência de escurecimento superficial

da carne (Figura 5).

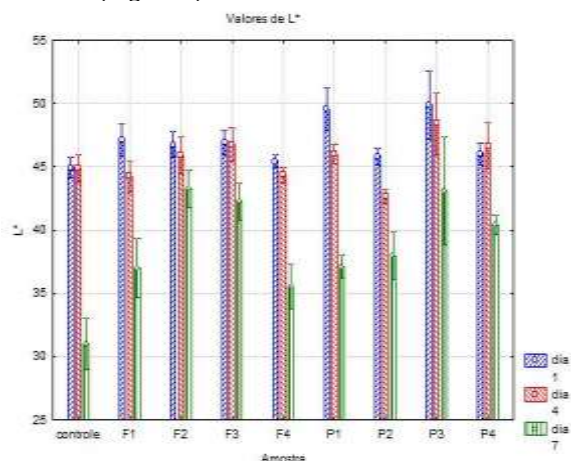


Figura 5. Efeito dos tratamentos controle, F1 a F4 e P1 a P4 sobre a luminosidade (L) de bifos armazenados por 7 dias, sob refrigeração a 2 °C

No primeiro dia de armazenamento, as formulações P1 e P3 apresentaram maiores valores de luminosidade, enquanto as demais amostras apresentaram valores iniciais condizentes com o controle ($L^*=44,94$).

No quarto dia, a maioria das amostras manteve valores relativamente próximos aos observados inicialmente, sugerindo que os revestimentos contribuíram para retardar alterações mais intensas na luminosidade da carne.

Ao final do período experimental, todas as formulações apresentaram uma redução expressiva da luminosidade, entretanto, algumas apresentaram maior capacidade de preservação do L, que pode ser analisada pelo delta L (figura 6).

Para análise das variações ao longo do tempo (delta L, delta a, delta b), foi utilizado com padrão um bife de carne bovina não revestido, do tempo, do tempo 1. Os dados do bife fora: $L^*=42,4$, $a^*=9,4$ e $b^*=7,0$.

Na análise de delta L, espera-se que os tratamentos que tiverem delta L mais próximo de zero, mantiveram a menor variação de L com o tempo. Entre os tratamentos avaliados, destacaram-se F2, F3 e P3, que mantiveram os valores de L^* tempo, indicando menor escurecimento. Em contrapartida, o controle apresentou a maior variação (delta L de -11,20), indicando o maior escurecimento da amostra.

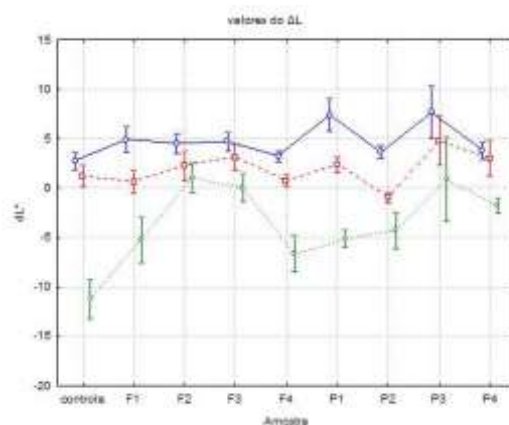


Figura 6. Efeito dos tratamentos controle, F1 a F4 e P1 a P4 sobre a variação de luminosidade (delta L) de bifos armazenados por 7 dias, sob refrigeração a 2 °C

Cardoso et al. (2016) observaram que concentrações mais elevadas de gelatina e quitosana no em revestimentos comestíveis induziram uma redução nos valores de L dos bifos, tornando-os mais escuros. A coordenada a^* dos bifos representa a intensidade da coloração vermelha, maiores valores são desejáveis em carnes frescas e frequentemente associada à maior aceitação do consumidor (Ramos e Gomide, 2007). O controle apresentou o comportamento esperado em 7 dias de armazenamento (figura 7), onde o vermelho da carne reduziu de $a^*=14,60$ para $a^*=4,11$, dando espaço a um pigmento mais escuro (metamioglobina). Em 4 dias de armazenamento os revestimentos estimularam a coloração vermelha dos bifos, ficando inclusive mais vermelhos do que no momento de aplicação. Isso pode ser explicado devido à oxigenação inicial da mioglobina da carne pelo oxigênio presente nos revestimentos, e sua maior manutenção com o tempo.

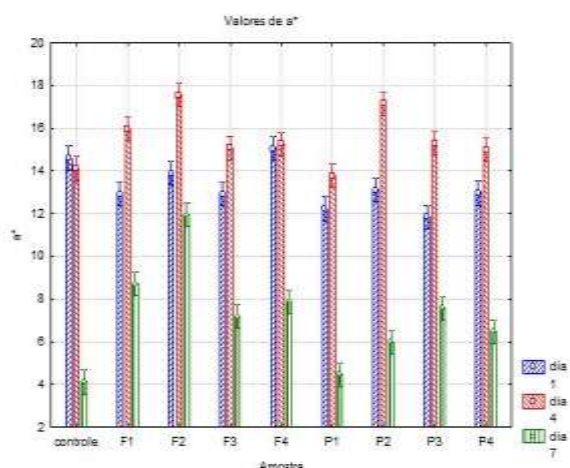


Figura 7. Efeito dos tratamentos controle, F1 a F4 e P1 a P4 sobre o componente vermelho da cor (a^*) de bifos armazenados por 7 dias, sob refrigeração a 2 °C

O oxigênio disponível no revestimento pode ter se ligado à deoximioglobina (Mb^+) presente na

superfície, formando oximioglobina (Omb), pigmento de coloração mais vermelho brilhante. Esse fenômeno, conhecido como *bloom*, pode resultar em valores de a^* superiores aos observados imediatamente após a aplicação do revestimento (tempo 1) (Ramos e Gomide, 2007).

Estes resultados não estão de acordo com o encontrado por Cardoso et al. (2016), onde a cor vermelha média observada em bifes de carne bovina (*M. Semitendinosus* - lagarto) revestidos com gelatina, quitosana e glicerol ($a^* = 13,20$) foi muito semelhante à observada na amostra controle ($a^* = 12,86$).

No sétimo dia ocorreu uma redução dos valores de a^* em todas as amostras, conforme esperado em processos oxidativos da mioglobina. Em destaque, as formulações F2 e P2 apresentaram maiores valores finais de a^* , também valores positivos de delta a^* (figura 8), indicando maior avermelhamento das amostras com o tempo. Em contrapartida, o controle apresentou um dos menores valores finais, demonstrando maior perda da característica avermelhada.

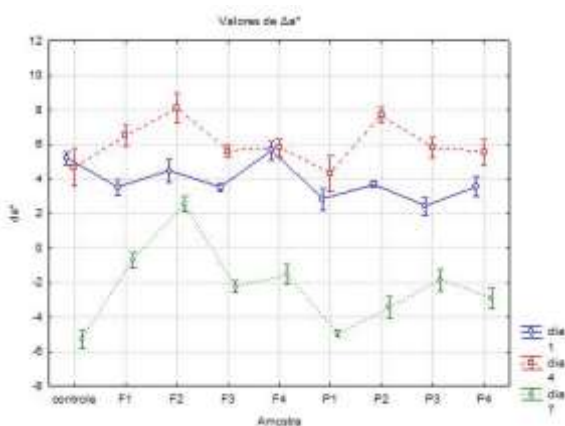


Figura 8. Efeito dos tratamentos controle, F1 a F4 e P1 a P4 sobre a variação do índice de vermelho (delta a^*) de bifes armazenados por 7 dias, sob refrigeração a 2 °C

Os valores de b^* indicam o componente amarelo da cor. No quarto dia, de forma semelhante ao observado para a coordenada a^* , nos tratamentos revestidos foi observado um ligeiro aumento dos valores de b^* , seguido por redução no sétimo dia.

Inicialmente os valores apresentados também apresentaram um caráter positivo, onde todas as formulações apresentaram um valor significativamente próximo, com valor mais baixo pertencendo ao controle. Após quarto dia, ocorreu uma redução moderada dos valores para a maioria das amostras, com maiores proximidades ao valor inicial dos revestimentos F2 e P2.

Ao sétimo dia, ocorreu uma queda significativa nos valores com a maioria dos revestimentos próximos a

zero com o controle apresentando um valor significativamente negativo. Em contrapartida, as formulações F2 e P3 mantiveram valores positivos elevados, sugerindo maior estabilidade cromática durante o período de análise.

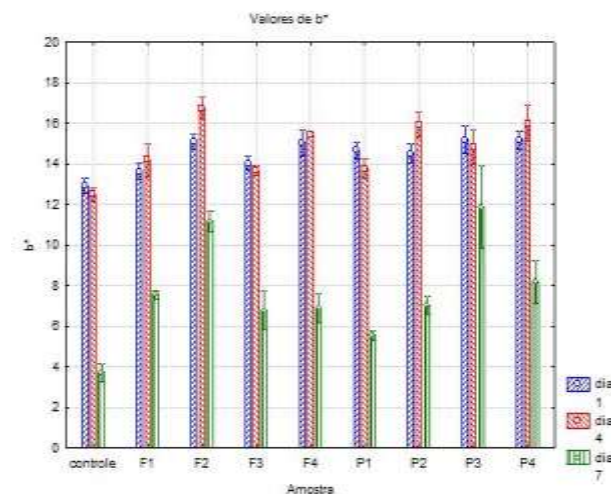


Figura 9. Efeito dos tratamentos controle, F1 a F4 e P1 a P4 sobre o componente amarelo da cor (b^*) de bifes armazenados por 7 dias, sob refrigeração a 2 °C

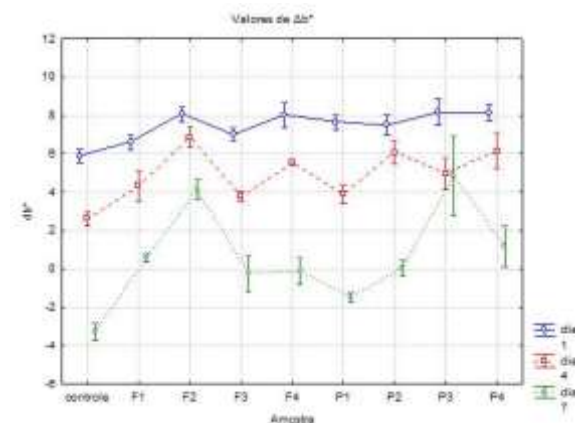


Figura 10. Efeito dos tratamentos controle, F1 a F4 e P1 a P4 sobre a variação do índice de vermelho (delta a^*) de bifes armazenados por 7 dias, sob refrigeração a 2 °C

Cardoso et al. (2016) encontraram que em comparação com o controle ($b = 17,12$), os bifes revestidos com revestimentos de quitosana e gelatina apresentaram menores valores de amarelamento ($b = 16,70$).

As alterações nos valores de L , a e b^* com a aplicação dos revestimentos de gelatina, microquitosana e glicerol podem estar relacionadas à espessura dos filmes formados sobre os bifes, que aumenta à medida que a concentração desses polímeros se eleva. Isso explicaria, por exemplo, a redução dos valores de L^* , uma vez que os filmes se tornam menos translúcidos em decorrência da modificação do índice de refração da camada superficial (Cardoso et al., 2016).

Cardoso et al. (2019), aplicando revestimentos a base

de gelatina e quitosana em bifes de carne bovina, observaram que os valores de L das amostras controle diminuíram acentuadamente ao longo do período de exposição, o que foi relacionado à maior redução na proporção de oximioglobina (OMb) e aos aumentos concomitantes de metamioglobina (MMb) e deoximioglobina (Mb+). Além do escurecimento (menores valores de L), as amostras controle tornaram-se menos vermelhas (menores valores de h) e apresentaram coloração menos vívida (menores valores de C*) durante a exposição em condições de varejo. Essas alterações estão claramente associadas ao acúmulo de metamioglobina (MMb) e, portanto, reforçaram a observação de que os bifes revestidos mantiveram melhor a estabilidade da cor durante o armazenamento. Essa estabilidade provavelmente se deve às propriedades de barreira ao oxigênio, bem como às propriedades antimicrobianas e antioxidantes dos filmes de quitosana-gelatina.

Por fim, os valores de delta E, variação global da cor, indicaram que o revestimento F3 foi que apresentou menor variação global da cor, sendo o revestimento indicado para continuidade do projeto, com análises microbiológicas e sensoriais. Este revestimento foi feito a partir da quitosana farelada, e curiosamente o que apresentou os maiores tamanhos de micro quitosana (21813,33 nm), e maior viscosidade do revestimento. Provavelmente, durante a aplicação o revestimento pode ter ficado com uma espessura maior, que favoreceu a manutenção da cor. Em contrapartida, o tratamento por ultrassom da quitosana diminui seu tamanho de partícula, mas também diminui sua viscosidade (Mannozi et al., 2021), o que pode explicar que maiores partículas geraram o filme mais viscoso e de melhor aplicação.

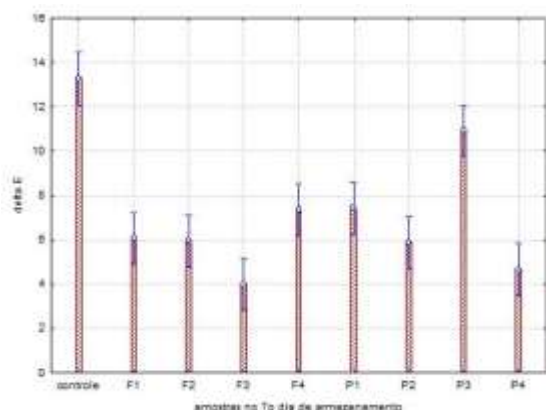


Figura 11. Variação global da cor nos tratamentos controle, F1 a F4 e P1 a P4 no sétimo dia de armazenamento a 2 °C.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação de revestimentos comestíveis à base de micro quitosana influenciaram positivamente a conservação da carne bovina *in natura* durante o armazenamento

em 7 dias sob refrigeração. De maneira geral, as amostras revestidas apresentaram maior estabilidade dos parâmetros colorimétricos avaliados quando comparadas ao controle não revestido, indicando menor intensidade das alterações associadas aos processos naturais de deterioração.

A manutenção mais eficiente da cor da carne foi obtida pelo revestimento F3, composto por microquitosana farelada, gelatina e glicerol.

Tanto a forma física (farelada ou em pó) da quitosana quanto as condições de processamento influenciam diretamente a eficiência do revestimento.

Dessa forma, os resultados confirmam o potencial da microquitosana como componente para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis destinados à conservação de produtos cárneos, representando uma alternativa sustentável e promissora para a ampliação da vida útil da carne bovina *in natura*.

AGRADECIMENTOS

À Patense Agroecologia, à Fapemig pelo apoio financeiro por meio do Projeto APQ04035-16, ao Laboratório MULTIFAR e ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da UFVJM.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, G. P.; DUTRA, M. P.; FONTES, P. R.; RAMOS, A. L. S.; GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M. Selection of a chitosan gelatin-based edible coating for color preservation of beef in retail display. *Meat Science*, v. 114, p. 85-94, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.012>.
- CARDOSO, G. P.; ANDRADE, M. P. D.; RODRIGUES, L. M.; MASSINGUE, A. A.; FONTES, P. R.; RAMOS, A. L. S.; RAMOS, E. M. Retail display of beef steaks coated with monolayer and bilayer chitosan-gelatin composites. *Meat Science*, v. 152, p. 20-30, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.009>.
- DIAS, P. C. *Avaliação das propriedades físico-químicas de um adesivo autocondicionante incorporado com partículas de nanoquitosana*. 2023. Tese (Doutorado em Odontologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/58/58133/tde-06112024-163316/en.php>. Acesso em: 23 abr. 2026.



FERNANDES, M. B. *et al.* Biofilme de quitosana reduz a antracnose em frutos de cultivares de bananeiras. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 23, n. 9, 2025. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10546247>. Acesso em: 23 abr. 2026.

GIGANTE, V.; DAL PONT, B.; CAVALLERO, A.; SBRANA, C.; FABBRI, L. P.; GABRIELE, M.; ALIOTTA, L. Designing eco-friendly edible coatings, valorising agro-wastes, to extend the shelf-life of post-harvest strawberries. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, v. 11, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100984>.

GHOLAP, A. D. *et al.* Chitosan scaffolds: Expanding horizons in biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, v. 323, 2024.

KANTAK, M. N.; BHARATE, S. S. Analysis of clinical trials on biomaterial and therapeutic applications of chitosan: A review. *Carbohydrate Polymers*, v. 278, 2022.

KOIRALA, P. *et al.* Nanochitosan from crustacean and mollusk byproduct: Extraction, characterization, and applications in the food industry. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 262, 2024.

MANNOZZI, C.; GLICERINA, V.; TYLEWICZ, U.; CASTAGNINI, J. M.; CANALI, G.; ROSA, M. D.; ROMANI, S. Influence of two different coating application methods on the maintenance of the nutritional quality of fresh-cut melon during storage. *Applied Sciences*, v. 11, n. 18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11188510>.

NOGUEIRA, S. M. S. *Efeito do revestimento à base de gelatina extraída de escamas de Oreochromis niloticus na avaliação da qualidade de Penaeus vannamei congelado*. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

PRAJAPATI, D. *et al.* Chitosan nanomaterials: a prelim of next-generation fertilizers; existing and future prospects. *Carbohydrate Polymers*, v. 288, 2022.

SHEERZAD, S. *et al.* Improving chicken meat shelf-life: Coating with whey protein isolate, nanochitosan,

bacterial nanocellulose, and cinnamon essential oil. *LWT – Food Science and Technology*, v. 197, 2024.