

**PRODUÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DE
SURIMI E PROTEÍNAS
ISOLADAS A PARTIR DE
COPRODUTOS DE TILÁPIA
(OREOCHROMIS
NILOTICUS) UTILIZANDO
EXTRAÇÃO POR MUDANÇA
DE PH E DIFERENTES
SOLUÇÕES EXTRATORAS**

**PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF SURIMI AND PROTEINS
ISOLATED FROM TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) BYPRODUCTS
USING PH CHANGE EXTRACTION AND DIFFERENT EXTRACTION
SOLUTIONS**

Ciências Agrárias • 19/04/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/776542935](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/776542935)

Ana Luiza de Souza Miranda¹

Diana Carla Fernandes Oliveira²

Francielly Corrêa Albergaria³

Marielle Maria de Oliveira Paula⁴

Maria Emília de Sousa Gomes⁵

Alcinéia de Lemos Souza Ramos⁶

RESUMO

O aproveitamento de coprodutos do pescado representa uma estratégia promissora para a valorização desses materiais e a obtenção de ingredientes proteicos de alto valor agregado. Neste estudo, foram produzidos surimis a partir de diferentes carnes mecanicamente separadas (CMS) obtidas de coprodutos de tilápia (carcaça – C; carcaça + aparas em “V” – CV; peixe inteiro com pele e com cabeça – C/P; e peixe inteiro sem pele e sem cabeça – S/P), avaliando suas características físico-químicas, composição, cor, solubilidade proteica e eficiência de recuperação de proteínas por mudança de pH sob extração aquosa ou salina. Os resultados mostraram que a matéria-prima influenciou ($p < 0,05$) diretamente nas propriedades dos surimis. O surimi CV apresentou maior teor proteico (11%), enquanto C/P apresentou maior teor de colágeno (0,50 mg/g) e maior atividade de água (0,97). Os rendimentos dos surimis variaram entre 86,75% e 174%, evidenciando elevada retenção de água durante o processamento. As curvas de solubilidade proteica em solução aquosa apresentaram perfil de “U”, o que indica que eram mais solúveis em pH extremos e apresentavam ponto isoelétrico em pH próximos de 5,0. O processo de precipitação isoelétrica apresentou elevados rendimentos de recuperação proteica, alcançando até 98,59%. Além disso, a utilização de solução salina promoveu aumento da luminosidade das proteínas precipitadas (58,73 – 77,39), resultando em produtos visualmente mais claros. Assim, os resultados indicam que os coprodutos de tilápia apresentam elevado potencial para produção de surimi e recuperação de proteínas, sendo a escolha da matéria-prima e das condições de extração determinantes para rendimento, composição e posterior aplicação.

Palavras-chave: Ingredientes proteicos; Precipitação isoelétrica; Recuperação de proteínas; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The utilization of fish by-products represents a promising strategy for adding value to these materials and obtaining high-value-added protein ingredients. In this study, surimi was produced from different mechanically separated meats (MSM) obtained from tilapia by-products (carcass – C; carcass + “V” trimmings – CV; whole fish with skin and head – C/P; and whole fish without skin and head – S/P), evaluating its physicochemical characteristics, composition, color, protein solubility, and protein recovery efficiency by pH change under aqueous or saline extraction. The results showed that the raw material directly influenced ($p < 0.05$) the properties of the surimi. CV surimi presented the highest protein content (11%), while C/P presented the highest collagen content (0.50 mg/g) and the highest water activity (0.97). Surimi yields ranged from 86.75% to 174%, demonstrating high water retention during processing. Protein solubility curves in aqueous solution showed a "U" shaped profile, indicating that they were more soluble at extreme pH levels and exhibited an isoelectric point at pH levels close to 5.0. The isoelectric precipitation process showed high protein recovery yields, reaching up to 98.59%. Furthermore, the use of saline solution increased the luminosity of the precipitated proteins (58.73–77.39), resulting in visually clearer products. Thus, the results indicate that tilapia by-products have high potential for surimi production and protein recovery, with the choice of raw material and extraction conditions being crucial for yield, composition, and subsequent application.

Keywords: Protein ingredients; Isoelectric precipitation; Protein recovery; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de processamento de pescados gera volumes expressivos de coprodutos que, quando descartados inadequadamente, resultam em impactos ambientais, sociais e econômicos (World Economic Forum, 2023; Islam & Peñarubia, 2021). Esses coprodutos, como cabeças, peles, vísceras e carcaças, possuem elevado potencial nutritivo e funcional, pois são fontes de proteínas e compostos bioativos de interesse (Ozogul *et al.*, 2021). Nesse contexto, estratégias de valorização têm sido amplamente investigadas com o objetivo de agregar valor ao setor aquícola e reduzir perdas de biomassa (Wagh *et al.*, 2024; Lal *et al.*, 2023).

Entre as espécies de maior relevância econômica destaca-se a tilápia (*Oreochromis niloticus*), cuja produção em larga escala gera quantidades significativas de coprodutos (Álvarez *et al.*, 2018). A elaboração de surimi, um concentrado de proteínas miofibrilares obtido por repetidas lavagens da carne, constitui uma alternativa promissora para o aproveitamento desses materiais, oferecendo uma matriz proteica mais purificada e funcionalmente estável em comparação com outras formas de recuperação, como a carne mecanicamente separada (CMS) (Okada, 1992; Park & Lanier, 2000).

A recuperação de proteínas a partir de coprodutos de pescado tem sido explorada por diferentes técnicas, destacando-se a solubilização/precipitação isoelétrica. Nesse processo, as proteínas tornam-se solúveis em condições ácidas ou alcalinas e precipitam no seu ponto isoelétrico (pI), permitindo a obtenção de isolados com alto valor nutricional e funcional (Tahergorabi *et al.*, 2011; Taskaya *et al.*, 2009). Estudos recentes indicam que a aplicação de soluções salinas pode potencializar a eficiência do processo (Paula *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços, ainda há lacunas importantes sobre como a composição inicial do material de partida, como o surimi, e fatores processuais, como o tipo de solução extratora, afetam a solubilidade, o rendimento e a qualidade das proteínas recuperadas de tilápia. Poucos trabalhos avaliaram simultaneamente tais fatores, o que limita o desenvolvimento de estratégias otimizadas de aproveitamento. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da composição do surimi e do tipo de solução extratora (água deionizada e solução salina) sobre a eficiência da recuperação de proteínas de tilápia pelo método de solubilização/precipitação isoelétrica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU REVISÃO DA LITERATURA

A composição química do pescado é constituída principalmente por água, lipídios, proteínas, carboidratos e minerais. As proporções desses constituintes podem variar significativamente em função de fatores como sexo, idade, época do ano, ambiente de cultivo, estado nutricional, estágio de maturação sexual, espécie e tipo de musculatura (clara ou escura) (Oliveira, 2013).

Entre esses componentes, as proteínas desempenham papel de destaque tanto do ponto de vista biológico quanto tecnológico. Essas macromoléculas apresentam elevada versatilidade funcional, participando de diversos processos metabólicos e influenciando diretamente propriedades tecnológicas dos alimentos, como capacidade de retenção de água, emulsificação, formação de espuma e gelificação (Sikorski, 2001; Salgado, 2015). Nesse contexto, o pescado destaca-se como uma importante fonte proteica na alimentação humana, não apenas pela quantidade, mas também pela elevada qualidade nutricional de suas proteínas.

O teor de proteínas no pescado varia conforme a espécie, situando-se geralmente entre 15 e 25% da composição total. Do ponto de vista qualitativo, as proteínas do peixe apresentaram elevado valor biológico, uma vez que contêm todos os aminoácidos essenciais em proporções adequadas às necessidades humanas (Oetterer, 2012).

Entre as espécies de maior relevância para aquicultura, destaca-se a tilápia (*Oreochromis niloticus*) que, ao longo das últimas décadas, consolidou-se como a principal espécie aquícola cultivada no Brasil. Esse protagonismo está associado à elevada capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, ao rápido crescimento, à rusticidade e à ampla aceitação pelo mercado consumidor. Tais características contribuíram para a expansão da produção e para especialização do setor aquícola nacional no cultivo dessa espécie (Ipea, 2017).

Paralelamente à expansão da produção aquícola, as questões ambientais passaram a ocupar papel central nas discussões relacionadas aos sistemas produtivos, incluindo a indústria de alimentos (Pires *et al.*, 2014). No setor pesqueiro, o processamento industrial do pescado, embora resulte na obtenção de produtos de elevado valor nutricional, também gera quantidades expressivas de coprodutos sólidos. Quando descartados de forma inadequada, esses coprodutos podem representar importantes fontes de poluição ambiental, sobretudo pela elevada carga orgânica presente em tais materiais (Minozzo; Waszczyński; Boscolo, 2008).

Durante o processo de filetagem, uma fração significativa de carne permanece aderida às carcaças, sendo tradicionalmente considerada coproduto do processamento. No entanto, essa fração muscular residual pode ser recuperada por meio da obtenção da

carne mecanicamente separada (CMS) (Freitas *et al.*, 2012). A CMS é produzida pela passagem das carcaças de peixe em equipamentos específicos, denominados despoldadeiras, que promovem a separação da fração muscular dos ossos e de outros tecidos não comestíveis (Pires *et al.*, 2014). Dessa forma, a utilização da CMS representa uma estratégia importante para o aproveitamento de coprodutos do processamento de pescado e para a agregação de valor à cadeia produtiva.

Entre os produtos que podem ser obtidos a partir da carne de pescado, tem-se o surimi, um produto tradicional da indústria pesqueira, cuja denominação tem origem japonesa. O termo refere-se à carne de pescado desossada, triturada e submetida a sucessivas etapas de lavagem (Mira & Lanfer-Marquez, 2005). A produção de surimi apresenta-se como uma alternativa tecnológica promissora para o aproveitamento de espécies de baixo valor comercial e de coprodutos do processamento, como a carne mecanicamente separada (São Martinho, 2011).

O surimi caracteriza-se pela coloração branca, baixo teor de lipídios e ausência de odor intenso característico do pescado. Além disso, o teor de proteínas é, em média, de 12 a 17% (Ordóñez, 2005). Assim, tal produto se torna interessante de ser aplicado para diferentes finalidades, como, por exemplo, base para extração de proteínas isoladas.

O mercado de proteínas encontra-se em constante crescimento, impulsionado pela crescente demanda por fontes proteicas disponíveis para consumo humano e ao desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Diferentes técnicas podem ser empregadas para a recuperação e isolamento de proteínas a partir de pescado e

de seus produtos. Entre essas técnicas destaca-se o método de extração proteica por mudança de pH, também conhecido como solubilização ácida/alcalina ou método de solubilização e precipitação isoelétrica. De modo geral, esse método consiste em triturar a matéria-prima, seguido de homogeneização em aproximadamente cinco a nove volumes de água. Em seguida, o pH é ajustado para valores ácidos ou alcalinos extremos, promovendo a solubilização das proteínas. Posteriormente, as frações insolúveis são removidas por separação gravitacional, geralmente por centrifugação. O sobrenadante obtido é então submetido à precipitação proteica por meio do reajuste do pH ao ponto isoelétrico das proteínas, permitindo sua recuperação na forma precipitada. As proteínas isoladas são, por fim, separadas por centrifugação e recuperadas para posterior utilização (Soladoye *et al.*, 2025).

3. METODOLOGIA

3.1. Matéria-prima

Coprodutos de tilápia (*Oreochromis niloticus*) foram fornecidos por uma unidade de beneficiamento aquícola localizado em Alfenas, Minas Gerais (Fazenda Cabo Verde) e pelo Setor de Piscicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As matérias-primas utilizadas incluíram: (i) carne mecanicamente separada (CMS) obtida exclusivamente de carcaças (C), compostas pela coluna vertebral desprovida de cabeça, pele e vísceras; (ii) CMS oriunda da mistura de carcaças e aparas em formato “V” (CV); (iii) peixe inteiro com pele e cabeça, desprovido de vísceras (C/P); (iv) peixe inteiro sem pele e sem cabeça, também desprovido de vísceras (S/P). As carcaças e aparas em “V” foram provenientes de tilápias com peso médio de

700 ± 100 g e comprimento de 20 ± 5 cm. Os peixes inteiros utilizados corresponderam aos peixes subutilizados, com baixo desempenho zootécnico, geralmente descartados por não atenderem aos padrões comerciais de peso e tamanho.

Todas as matérias-primas foram higienizadas em água corrente clorada. As carcaças e aparas em “V” foram processadas em uma despulpadora elétrica (Brusinox, Brusque, SC, Brasil), gerando os respectivos tipos de CMS. Os peixes inteiros foram primeiramente triturados em moedor elétrico (modelo Caf10, CAF Máquinas, Rio Claro, SP, Brasil) e, em seguida, submetidos ao processo de despulpamento em despulpadora elétrica (modelo HT 100C, Hightech, Chapecó, SC, Brasil) para retirada dos espinhos.

3.2. Produção dos Surimis

A produção dos surimis a partir das diferentes matérias-primas (CMS) foi conduzida por meio de três ciclos consecutivos de lavagem, utilizando uma razão de matéria-prima:solução de 1:3 (p/v). No primeiro ciclo, as amostras foram imersas em água gelada contendo 0,15% de cloreto de sódio (NaCl) e 0,2% de bicarbonato de sódio (NaHCO₃), com agitação por 10 minutos, seguida de repouso por mais 10 minutos. Após esse período, a mistura foi drenada utilizando tecido organza e submetida à centrifugação (1.600 rpm/10 min). O segundo ciclo consistiu na imersão em água gelada contendo 0,3% de NaCl, repetindo-se o mesmo procedimento de agitação, repouso, drenagem e centrifugação (Britânia, BCR15B). No terceiro ciclo, empregou-se apenas água gelada, mantendo as mesmas condições operacionais dos ciclos anteriores. Finalizados os ciclos de lavagem, foram adicionados crioprotetores à massa proteica obtida, consistindo de 4% de sacarose e 0,2% de polifosfato.

3.3. Caracterização dos Surimis

O teor de umidade foi quantificado por secagem em estufa a 105°C (método 925.45b) e cinzas por incineração em mufla a 550°C (método 923.03), de acordo com a metodologia oficial da AOAC (2012). Proteínas foi determinado pelo método Dumas (Simonne *et al.*, 1997) utilizando fator de conversão de 6,25 através do analisador de proteínas LECO FP828 (LECO Corp., MI, EUA). O teor de lipídios foi determinado pela metodologia de Folch; Lees; Stanley (1957). As medições de pH foram realizadas com um medidor de pH (Tec-5; Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) por inserção nas amostras. A atividade de água foi determinada utilizando-se aparelho Aqualab® (modelo 4 TE, Barueri, SP, Brasil). O conteúdo total de colágeno (expresso em mg/g) foi determinado pela quantidade colorimétrica do aminoácido hidroxiprolina (fator de conversão de 8,0) (método 990.26) (AOAC, 2012). O rendimento (%) do surimi foi calculado pela relação entre o peso inicial da carne mecanicamente separada e o peso final do surimi. A avaliação da cor das amostras foi realizada no sistema CIELab, utilizando colorímetro (Spectrophotometer CM-5, Konica Minolta, SP, Brasil) equipado com iluminante padrão D65 e ângulo de observação de 10°. Além disso, a brancura foi calculada de acordo com a Equação 1 (Lanier, 1992).

$$\text{Brancura} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

3.4. Curvas de Solubilidade de Proteínas

As curvas de solubilidade de proteínas foram realizadas nos diferentes surimis produzidos. Com o objetivo de avaliar o efeito das soluções extratoras sobre a quantidade de proteínas solubilizadas, foram testadas duas condições distintas: (1) uma solução simples, composta por água deionizada e (2) uma solução salina de baixa

força iônica, contendo 4% (p/v) de cloreto de sódio (NaCl) e 0,05% (p/v) de cloreto de magnésio (MgCl₂). A escolha da solução salina foi baseada nos achados de Paula *et al.* (2023), que relataram sua eficácia na melhoria da solubilidade proteica em subprodutos de origem animal.

As curvas de solubilidade foram elaboradas para a determinação dos pontos de solubilidade máxima (PS) e mínima (ponto isoelétrico, pI) das proteínas presentes nas amostras de surimis. As amostras foram homogeneizadas em um triturador tipo turrax (Te-102; Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) com a respectiva solução extratora resfriada (2-4°C), na proporção de 1:4 (p/v), por 2 minutos. Alíquotas de 30 mL dos homogeneizados tiveram o pH ajustado com solução de HCl ou NaOH (0,2 M ou 1,0 M), variando entre pH 1,0 a 12,0, em intervalos de 0,5 unidades, conforme metodologia adaptada de Costa *et al.* (2019).

Após centrifugação a 3.000 × g, 4°C, por 20 minutos, (modelo NT825; Novatecnica, São Paulo, Brasil), a concentração de proteínas solúveis (mg/mL) nos sobrenadantes foi quantificada pelo método colorimétrico Biureto (Ramos & Gomide, 2017) seguindo a curva analítica a 540 nm. As curvas de solubilidade foram determinadas em triplicata, com análises realizadas em três repetições.

3.5. Extração das Proteínas

Com base nas curvas de solubilidade proteica previamente estabelecidas, os pontos de solubilidade máxima (PS) e ponto isoelétrico (pI) foram determinados para cada tipo de surimi e utilizados como parâmetros para a obtenção dos concentrados proteicos. Para cada extração, 200 g de surimi foram homogeneizados com a respectiva solução extratora (2-4°C) (relação

1:5, p/v) por 2 min. O pH da mistura foi ajustado ao valor correspondente ao PS utilizando soluções de HCl ou NaOH (1,0 M ou 0,2 M), seguido de centrifugação a 3.000 × g por 20 min a 4°C. O sobrenadante teve seu pH ajustado para pI, centrifugado nas mesmas condições anteriores e o *pellet* (proteínas precipitadas, extrato pI) foi separado para análise posterior (Paula *et al.*, 2023). O procedimento completo da extração está ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Visão geral da extração das proteínas por mudança de pH.



Fonte: Dos autores, 2026.

3.5.1. Caracterização das Frações dos Extratos

Ambos os sobrenadantes (extratos PS e pI) foram submetidos à quantificação dos teores de proteína solúvel, conforme metodologia descrita por Ramos & Gomide (2017). O rendimento do conteúdo proteico total foi calculado conforme a Equação 2.

(Eq.2)

$$PY (\%) = \frac{(PPS - PpI)}{PPS} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

em que PY é o rendimento total de precipitação de proteína e PPS e PpI representam o conteúdo total de proteína (mg/mL) nos extratos

de PS e pl, respectivamente.

3.5.2. Caracterização das Proteínas Precipitadas

As frações de proteínas precipitadas foram pesadas e submetidas à análise de cor instrumental utilizando um colorímetro (Spectrophotometer CM-5, Konica Minolta, SP, Brasil) equipado com iluminante padrão D65 e ângulo de observação de 10°, sendo determinados os parâmetros colorimétricos de luminosidade (L^*), vermelhidão (a^*) e amarelado (b^*), além das coordenadas derivadas de croma (C^*) e ângulo de matiz (h°). As determinações de umidade e proteína total foram realizadas segundo os métodos oficiais preconizados pela AOAC (2012). O rendimento das frações proteicas foi calculado conforme estabelecido na Equação 3.

$$RY (\%) = \frac{WRP}{WBP} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

onde RY é o rendimento total de recuperação de proteína, WRP representa o peso da proteína recuperada (g, em base seca) e WBP é o peso da proteína do coproduto (g, em base seca).

3.6. Análise Estatística

Para caracterização das matérias-primas, as médias foram testadas pela análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, comparadas pelo teste de Tukey (5% de significância).

A caracterização dos extratos foi conduzida em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em um fatorial 4 (matérias-primas) x 2 (solução de extração) com 4 repetições, sendo empregados ANOVA em três vias (tratamento; solução; tratamento x solução) e o

teste de Tukey ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* Sisvar versão 5.4 Build 80.





4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Características dos Surimis

As características dos surimis obtidos a partir de coprodutos da tilápia estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos surimis

Características	Fonte do coproduto			
	Surimi C	Surimi CV	Surimi C/P	Surimi S/P
pH	7,24 ± 0,04 ^c	7,03 ± 0,06 ^c	7,57 ± 0,15 ^a	7,11 ± 0,16 ^{bc}
Atividade de água	0,91 ± 0,00 ^c	0,91 ± 0,00 ^c	0,97 ± 0,00 ^a	0,92 ± 0,00 ^b
Umidade (%)	87,09 ± 0,39 ^a	85,43 ± 0,43 ^c	87,17 ± 0,23 ^a	86,35 ± 0,47 ^b
Proteína (%)	5,29 ± 0,00 ^d	11,00 ± 0,00 ^a	7,63 ± 0,00 ^c	8,39 ± 0,00 ^b
Colágeno total (mg hidroxiprolina /g)	0,14 ± 0,04 ^c	0,30 ± 0,05 ^b	0,50 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,03 ^c
Lipídio (%)	0,53 ± 0,15 ^b	1,46 ± 0,26 ^a	0,86 ± 0,02 ^b	0,59 ± 0,03 ^b
Cinzas (%)	0,18 ± 0,09 ^c	0,34 ± 0,06 ^b	0,46 ± 0,07 ^a	0,14 ± 0,05 ^c
Cor				

Luminosidade, L^*	$53,56 \pm 1,56^b$	$56,48 \pm 1,13^a$	$40,15 \pm 1,37^c$	$54,97 \pm 0,73^{ab}$
Vermelhidão, a^*	$-2,10 \pm 0,11^d$	$0,76 \pm 0,15^a$	$0,00 \pm 0,07^b$	$-1,70 \pm 0,06^c$
Amarelo, b^*	$10,46 \pm 0,98^b$	$17,25 \pm 0,54^a$	$3,71 \pm 0,52^d$	$6,90 \pm 0,35^c$
Croma, C^*	$10,66 \pm 0,95^b$	$17,27 \pm 0,54^a$	$3,71 \pm 0,52^d$	$7,09 \pm 0,33^c$
Ângulo de matiz, h°	$101,07 \pm 1,44^b$	$88,19 \pm 1,34^c$	$89,07 \pm 2,02^c$	$103,49 \pm 1,11^a$
Brancura	$52,34 \pm 1,60^b$	$53,18 \pm 1,19^{ab}$	$40,03 \pm 1,34^c$	$54,41 \pm 0,75^a$
Representação da cor				
Rendimento (%)	131,49	86,75	158,47	174,00

Legenda: Surimi C: produzido a partir de CMS de carcaças; Surimi CV: produzido a partir de CMS de carcaças e aparas em “V”; Surimi C/P: produzido a partir de peixe inteiro com pele e cabeça; Surimi S/P: produzido a partir de peixe inteiro sem pele e sem cabeça.

Os valores altos de rendimento (86,75 – 174%) evidenciaram a elevada capacidade de retenção de água durante o processamento. Esses valores superam os relatados na literatura. Em produções industriais de surimi de polaca do Alaska, após cinco ciclos de lavagem, apresentaram rendimento de 60,2%, atribuídos à maior eficiência industrial na remoção da água associada às proteínas (Moosavi-Nasab *et al.*, 2005). Em estudo com CMS de carpa comum, Sebben *et al.* (2000) relataram rendimentos de 89,23% após um ciclo de lavagem e de 75,71% após três ciclos. De forma geral, os valores superiores observados neste estudo sugerem que as condições

empregadas no processamento favorecem a maior retenção hídrica e, conseqüentemente, maiores rendimentos finais.

Os valores de pH dos surimis variaram entre 7,03 e 7,57, intervalo próximo ao considerado ideal para formação de géis firmes e coesos em peixes de carne branca (7,0-7,5) (Lee *et al.*, 2017). Essa faixa de neutralidade a leve alcalinidade favorece a reticulação da miosina, resultando em melhor desempenho funcional dos géis, conforme já relatado para diferentes espécies (Gao *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2017).

Já a atividade de água (a_w) representa a fração de moléculas de água disponíveis para o crescimento microbiano e para a ocorrência de reações químicas nos alimentos, sendo um importante indicador da estabilidade e da vida útil dos produtos (Aberoumand, 2010). Entre as formulações avaliadas, observou-se que o surimi elaborado com pele e cabeça (C/P) apresentou a maior a_w ($p < 0,05$), seguido pelo surimi obtido do peixe inteiro sem pele e sem cabeça (S/P) (0,92), enquanto os menores ($p < 0,05$) valores foram registrados nas amostras produzidas a partir da carcaça (C) da carcaça + V (CV) (0,91), que não diferiram entre si. O maior teor de colágeno presente nas frações de pele e cabeça, contribuiu para uma maior a_w , uma vez que o colágeno possui elevada capacidade de retenção hídrica e contribui para a formação de uma rede proteica capaz de reter maior quantidade de moléculas de água (Oslan *et al.*, 2022).

Os teores de umidade variaram de 85,43% a 87,17% entre os diferentes surimis, apresentando diferenças ($p < 0,05$ entre os tratamentos). Os maiores valores foram observados no surimi de carcaça e no peixe inteiro com pele e cabeça, enquanto a mistura carcaça + aparas em "V" apresentou o menor teor. Dessa forma, tanto as características da matéria-prima quanto as condições de

processamento influenciam a capacidade de retenção de água e, portanto, o teor de umidade do surimi final. A determinação do teor de umidade constitui um dos critérios utilizados para avaliar a qualidade do surimi.

O teor de proteína variou ($p < 0,05$) entre as diferentes formulações de surimi. O surimi CV apresentou o maior conteúdo proteico, seguido pelo surimi S/P e pelo surimi C/P e, o menor ($p < 0,05$) valor, foi observado no surimi produzido a partir da carcaça (C). As aparas em "V" do filé de tilápia apresentam teor de proteína bruto elevado (~17,6%), o que indica que contêm porções de carne muscular ricas em proteína (Vidotti & Borini, 2006), o que favorece o conteúdo proteico quando utiliza-se essa matéria-prima.

O colágeno é a principal proteína estrutural do tecido conjuntivo, amplamente distribuída em tecidos como pele, ossos, cartilagens, ligamentos, vasos sanguíneos, dentes, córnea e placenta (Rao *et al.*, 2012). No presente estudo, o teor de colágeno total variou ($p < 0,05$) entre as amostras de surimis, sendo a maior concentração ($p < 0,05$) observada para os surimis produzidos a partir de peixe inteiro com pele e cabeça (C/P)), fortemente influenciado pela composição de tecidos ricos em colágeno.

O teor de lipídios variou entre os diferentes surimis, sendo o maior ($p < 0,05$) valor encontrado na amostra CV. Os métodos convencionais de produção de surimi, que envolvem três ciclos de lavagem, normalmente permitem a remoção de até 50% da gordura da matéria-prima (Minozzo & Vaz, 2007). Ainda assim, fatores intrínsecos à matéria-prima, como idade, tipo de tecido e estado fisiológico do peixe, podem influenciar o conteúdo lipídico (Yeannes & Almandos, 2003), justificando as diferenças observadas entre os tratamentos.

Para os teores de cinzas, também foi observado diferença significativa entre as matérias-primas. O maior valor foi observado na amostra C/P, seguida pelo surimi CV. Já os menores conteúdos foram encontrados nos surimis C e S/P, sem diferença estatística entre si. A maior concentração de cinzas nas amostras com pele, cabeça e aparas pode ser atribuída à presença de estruturas naturalmente ricas em minerais, como nadadeiras, ossos e espinhos, que elevam o resíduo mineral na massa proteica. Resultados semelhantes foram descritos por Jairizi *et al.* (2022), que relataram teores mais altos de cinzas em nadadeiras e ossos em comparação à carne de peixe.

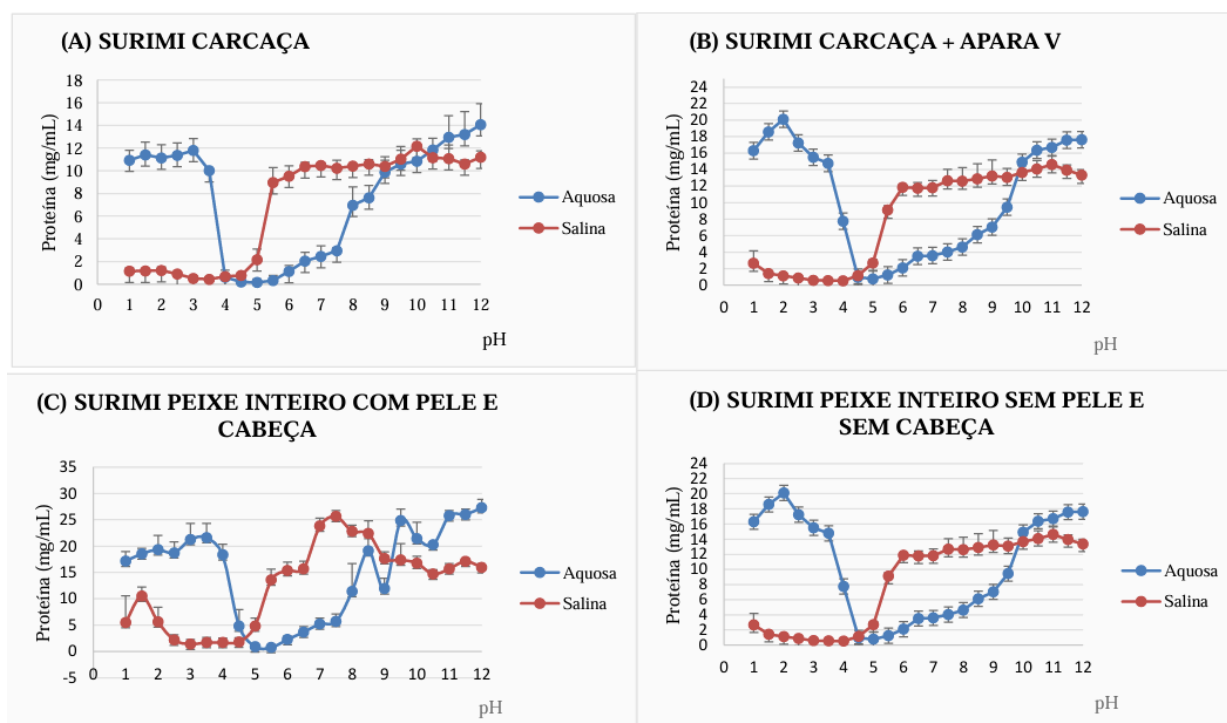
A cor é um dos principais atributos de qualidade do surimi, influenciando diretamente sua aceitação pelo consumidor. Esse parâmetro está relacionado ao processo de lavagem, que remove mioglobina, lipídios e outros compostos indesejáveis, aumentando a luminosidade (L^*) e reduzindo a vermelhidão (a^*) e o amarelado (b^*) (Tahergorabi *et al.*, 2012). A cor dos géis de surimi variou ($p < 0,05$) em função da origem da matéria-prima utilizada ($p < 0,05$). O surimi obtido a partir da carcaça + V apresentou os maiores ($p < 0,05$) valores de luminosidade ($L^*=56,48$) e croma ($C^*=17,27$), indicando uma coloração mais clara e brilhante. Em contraste, o surimi elaborado com peixe inteiro contendo pele e cabeça exibiu a menor luminosidade ($L^*=40,15$) e brancura (40,03), além de menores índices de amarelo (b^*) e croma (C^*), o que denota aparência mais escura e menos saturada. O surimi obtido do peixe inteiro sem pele e sem cabeça apresentou elevada brancura (54,41) e ângulo de matiz mais alto ($h^\circ=103,49$), características associadas a uma tonalidade mais clara e amarelada. Essas características podem ser observadas através da representação das cores dos surimis dispostas na Tabela 1. Tais resultados corroboram evidências de que a seleção da matéria-

prima com frações residuais (pele, cabeça) influenciam diretamente a coloração final do surimi, dado que materiais com maior teor de pigmentos, colágeno e lipídios tendem a reduzir a brancura e a luminosidade (Yin & Park, 2023; Panpipat *et al.*, 2023). Esses achados têm implicações diretas para a escolha de matérias-primas visando a aceitação.

4.2. Solubilidade Proteica

Na Figura 2 é mostrado a curva de solubilidade proteica de extratos de surimis de tilápia de diferentes coprodutos com aplicação de diferentes soluções extratoras (aquosa ou salina).

Figura 2. Curvas de solubilidade proteica (mg/mL) de extratos de surimi de tilápia oriunda da carcaça (A), da carcaça mais apara “V” (B), do peixe inteiro com pele e cabeça (C) e do peixe inteiro sem pele e sem cabeça (D) obtidos com solução aquosa ou salina (4% NaCl; 0,05% MgCl₂) em valores de pH de 1 a 12.



De forma geral, para as curvas obtidas com solução aquosa, observou-se um perfil de solubilidade em forma de U, o que também já foram relatados para outras espécies, tais como o badejo do Pacífico (Choi & Park, 2002) cérebro de porco (Chanted *et al.*, 2022), larvas do gorgulho da palmeira-sagu (Chaijan *et al.*, 2022) e camarão louva-a-deus (*Oratosquilla nepa*) (Chumthong *et al.*, 2024).

Para o extrato de surimi de carcaça (Figura 2A), observou-se que a solubilidade proteica máxima em meio aquoso (14,06 mg/mL) e em meio salino (12,17 mg/mL) ocorreu em pHs alcalinos de 12,0 e 10,0, respectivamente. O ponto isoelétrico (pI) das proteínas do extrato foi identificado em pH 5,0 para o meio aquoso (0,15 mg/mL) e em pH 3,5 para a solução salina (0,43 mg/mL).

Para curva de solubilidade proteica do extrato de surimi carcaça com apra "V" (Figura 2B), na solução aquosa, observou-se um elevado teor de proteína solúvel em pHs ácidos, com pico de solubilidade em pH 2,0, com valores superiores a 20 mg/mL. No entanto, há uma queda na solubilidade em pH 5,0, caracterizando o seu ponto isoelétrico. Já na solução salina, baixos níveis de solubilidade foram encontrados em pH 4,0, com maior solubilidade em pH 11,0 (14,61 mg/mL).

Já a curva de solubilidade proteica do extrato de surimi obtido do peixe inteiro com pele e cabeça (Figura 2C) revela, em solução aquosa, uma alta solubilidade em pHs extremos (ácidos e alcalinos), mas com solubilidade máxima em pH 12,0 (27,29 mg/mL), enquanto o pI foi encontrado em pH 5,5. Com a solução salina, o pI foi encontrado em pH 3,0 (1,38 mg/mL) e com aumento da solubilidade (PS) em pH 7,5 (25,62 mg/mL).

A curva de solubilidade do extrato de surimi proveniente do peixe inteiro sem pele e sem cabeça (Figura 2D), em solução aquosa, apresentou um perfil de solubilidade mínima (pl) em pH 5,0 (0,27 mg/mL) e solubilidade máxima (PS) em pH 1,5 (25,47 mg/mL). Já em solução salina, o pl foi encontrado em pH 3,5 (1,45 mg/mL) e o PS em pH 8,0 (23,74 mg/mL).

As variações na solubilidade proteica observadas entre diferentes espécies de pescado estão associadas tanto às características intrínsecas de cada espécie quanto aos tratamentos prévios empregados na preparação da matéria-prima (Batista, 1999). A redução da solubilidade em torno de pH 5,0-5,5 é comumente atribuída ao comportamento da miosina, uma proteína miofibrilar majoritária cujo ponto isoelétrico encontra-se nessa faixa, condição em que a carga líquida próxima de zero limita as interações com a água. Em valores de pH mais ácidos ou mais alcalinos, o afastamento do pl resulta no aumento de cargas positivas ou negativas nas proteínas, favorecendo sua dispersão em solução pela intensificação das repulsões eletrostáticas (Hamm, 1994; Kelleher & Hultin, 1994). De modo geral, o perfil de solubilidade proteica é determinado por fatores estruturais, incluindo o caráter hidrofóbico ou polar dos aminoácidos, a relação entre pH e pl e o grau de desnaturação das proteínas, os quais modulam sua capacidade de interação com o meio aquoso (Gehring *et al.*, 2009).

4.2.1. Caracterização das Frações dos Extratos

Os efeitos dos tratamentos com diferentes soluções de extração (aquosa e salina) sobre o teor de proteína e o rendimento de precipitação dos surimis C, CV, C/P e S/P, avaliados antes (extrato PS) e após a precipitação isoelétrica (extrato pl), são apresentados na

Tabela 2. Houve interação significativa ($p < 0,05$) entre tipo de surimi e solução extratora para o teor total de proteína do extrato PS ($P = 0,0000$), para o teor do extrato pi ($P = 0,0197$) e para o rendimento de precipitação ($P = 0,0000$), indicando que a resposta proteica depende das variáveis utilizadas.

Tabela 2. Efeitos do tipo de extrato de coproduto e solução de extração nos teores de proteína e rendimento obtidos em pH ótimo de solubilidade (PS) e após precipitação isoelétrica (pi).

Surimis	Extrato PS - Teor de proteína (mg/mL)		Extrato pi - Teor de proteína (mg/mL)		Re precipi
	Solução aquosa	Solução salina	Solução aquosa	Solução salina	
C	10,45 ± 0,12 Ca	11,38 ± 0,24 Ca	0,67 ± 0,03 Ba	0,61 ± 0,08 ABa	93,66 0,30 ^l
CV	17,76 ± 3,45 Ba	9,02 ± 0,33 Cb	1,08 ± 0,03 Aa	0,87 ± 0,04 Ab	93,77 ± Ba

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/producao-e-caracterizacao-de-surimi-e-proteinas-isoladas-a-partir-de-coprodutos-de-tilapia-oreochromis-niloticus-utilizando-extracao-por-mudanca-de-ph-e-diferentes-solucoes-extradoras?noblockage>

Legenda: Surimi C: produzido a partir de CMS de carcaças; Surimi CV: produzido a partir de CMS de carcaças e aparas em “V”; Surimi C/P: produzido a partir de peixe inteiro com pele e cabeça; Surimi S/P: produzido a partir de peixe inteiro sem pele e sem cabeça.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o teor de proteína no extrato PS em solução aquosa, os surimis C/P e S/P apresentaram os maiores concentrações, não diferindo ($p > 0,05$) entre si. O surimi CV apresentou valor intermediário e maior ($p < 0,05$) que o de C. Na solução salina, o extrato do surimi C/P manteve o maior teor proteico, seguido por S/P, ambos superiores ($p < 0,05$) aos valores observados para C e CV. A comparação intragrupo mostrou que a mudança de solução não afetou significativamente os surimis C e C/P, enquanto reduziu os teores proteicos dos surimis CV e S/P, sugerindo que a força iônica exerce influência dependendo da composição do surimi.

Nos extratos obtidos após a precipitação isoelétrica (pI), observou-se que na solução aquosa, o surimi CV apresentou o maior teor proteico (1,08 mg/mL), diferindo dos demais tratamentos, enquanto C, S/P e C/P apresentaram valores inferiores. Na solução salina, os maiores teores foram observados para C/P e CV (0,84 e 0,87 mg/mL) que não diferiram entre si. O surimi S/P apresentou o menor valor (0,38 mg/mL). A comparação entre soluções dentro de cada surimi, mostrou que para C e S/P, não houve diferença significativa entre a solução aquosa e a salina. Em contraste, o surimi CV apresentou redução significativa quando extraído em solução salina em comparação à solução aquosa, enquanto que o surimi C/P apresentou redução significativa quando extraído em solução aquosa em comparação à solução salina. Tais resultados mostram que para CV e C/P a solução de extração salina e aquosa, respectivamente, foram melhores para extrair maiores quantidades de proteína.

O rendimento constitui um parâmetro fundamental para quantificar a fração de proteína ou de biomassa recuperada durante o processo de extração, sendo um determinante direto da eficiência e do processo e também da viabilidade econômica. Assim, quanto ao rendimento de precipitação da proteína total, na solução aquosa, os maiores valores foram observados para C/P e S/P (97,80 e 98,59%), significativamente superior aos rendimentos de C e CV (93,66 e 93,77%). Na solução salina, C/P e S/P mantiveram os rendimentos mais altos (96,69 e 98,09%), sem diferenças entre si, enquanto C apresentou rendimento intermediário (94,69%) e CV o menor valor (90,32%). A comparação das soluções dentro de cada tratamento, mostrou que os rendimentos de C e S/P não foram influenciados pela solução extratora, ao passo que os surimis CV e C/P apresentaram redução significativa na solução salina.

4.2.2. Caracterização das Proteínas Precipitadas

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os resultados encontrados para composição (umidade e proteína), rendimento e cor instrumental das proteínas precipitadas. Na Tabela 5 está a representação de cor das proteínas precipitadas.

Tabela 3. Efeitos do tipo de coproduto e solução de extração na composição (umidade e proteína) e rendimento de proteínas precipitadas de extratos obtidos pelo processo de mudança de pH.

Surimis	Umidade (%)		Proteína (%)		Rei
	Solução aquosa	Solução salina	Solução aquosa	Solução salina	
C	87,06 ± 1,75 ^{Ba}	86,66 ± 0,70 ^{ABa}	6,26 ± 0,48 ^{Ab}	7,00 ± 0,36 ^{Aa}	89,77 ± 3,04 ^d

CV	88,55 ± 0,25 ^{Ba}	87,94 ± 0,75 ^{Aa}	4,87 ± 0,07 ^{Bb}	5,72 ± 0,54 ^{Ba}	63,91 5,39 ^B
C/P	87,48 ±	85,18 ±	4,74 ±	6,12 ±	56,87

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/producao-e-caracterizacao-de-surimi-e-proteinas-isoladas-a-partir-de-coprodutos-de-tilapia-oreochromis-niloticus-utilizando-extracao-por-mudanca-de-ph-e-diferentes-solucoes-extratoras?noblockage>

Legenda: Surimi C: produzido a partir de CMS de carcaças; Surimi CV: produzido a partir de CMS de carcaças e aparas em “V”; Surimi C/P: produzido a partir de peixe inteiro com pele e cabeça; Surimi S/P: produzido a partir de peixe inteiro sem pele e sem cabeça.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4. Efeito do tipo de coproduto e solução de extração na cor (L^* , a^* , b^* , C^* e h) das proteínas precipitadas de extratos obtidos pelo processo de mudança de pH.









Surimis	Cor (média ± de				
	L^*		a^*		b^*
	Solução aquosa	Solução salina	Solução aquosa	Solução salina	Soluç aquo
C	52,19 ± 2,53 ^{Bb}	75,87 ± 0,43 ^{Aa}	0,73 ± 0,44 ^{Aa}	-1,37 ± 0,09 ^{Bb}	19,52 1,29 ^A
CV	51,51 ± 0,99 ^{Bb}	77,39 ± 0,38 ^{Aa}	-0,18 ± 0,32 ^{Ba}	-2,87 ± 0,25 ^{Cb}	16,20 0,51 ^B

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/producao-e-caracterizacao-de-surimi-e-proteinas-isoladas-a-partir-de-coprodutos-de-tilapia-oreochromis-niloticus-utilizando-extracao-por-mudanca-de-ph-e-diferentes-solucoes-extratoras?noblockage>

Legenda: Surimi C: produzido a partir de CMS de carcaças; Surimi CV: produzido a partir de CMS de carcaças e aparas em “V”; Surimi C/P: produzido a partir de peixe inteiro com pele e cabeça; Surimi S/P: produzido a partir de peixe inteiro sem pele e sem cabeça.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 5. Representação da cor das proteínas precipitadas de extratos obtidos pelo processo de mudança de pH.

<u>Surimis</u>	<u>Solução aquosa</u>	<u>Solução salina</u>
C		
CV		
C/P		
S/P		

Legenda: Surimi C: produzido a partir de CMS de carcaças; Surimi CV: produzido a partir de CMS de carcaças e aparas em “V”; Surimi C/P: produzido a partir de peixe inteiro com pele e cabeça; Surimi S/P: produzido a partir de peixe inteiro sem pele e sem cabeça.

Representação da cor: <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>

Os resultados evidenciaram efeitos ($p < 0,05$) tanto do tipo de surimi quanto do meio de solubilização sobre o teor de umidade. Observou-se que, em solução aquosa, o surimi S/P apresentou o maior ($p < 0,05$) conteúdo de umidade (91,13%) em relação aos demais tratamentos. Já quando avaliados em solução salina, os resultados mostraram que o surimi CV (87,94%) apresentou um maior ($p < 0,05$) teor de umidade. Além disso, foi observado uma redução ($p < 0,05$) na umidade nos surimis C/P e S/P na solução salina quando comparado com a solução aquosa, indicando que a presença de íons pode ter favorecido a desidratação ou reduzido a capacidade de retenção de água dessas matrizes proteicas. O alto teor de umidade em todas as amostras é devido à nenhuma etapa de secagem ter sido aplicada após a precipitação isoelétrica.

Quanto ao teor proteico, verificaram-se diferenças ($p < 0,05$) entre as matérias-primas e os meios de extração. De modo geral, a solução aquosa promoveu maior ($p < 0,05$) recuperação de proteínas no tratamento S/P, enquanto que, para os demais tratamentos, observou-se maior teor proteico quando empregada a solução salina. Entre as condições avaliadas, os tratamentos S/P e C processados em solução aquosa apresentaram os maiores teores de proteína, ao passo que, na extração em solução salina, o tratamento C destacou-se por apresentar o maior conteúdo proteico.

Os resultados de rendimento de proteína precipitada evidenciam que o tipo de solução extratora e a fonte de proteína exerce influência significativa sobre a recuperação proteica a partir da matéria-prima. De modo geral, a extração em solução aquosa resultou em maiores rendimentos, não havendo diferença entre as diferentes soluções extratoras somente para o tratamento utilizando peixe inteiro com pele e cabeça (C/P).

Para solução aquosa, o extrato de surimi produzido a partir de carcaça (C) apresentou o maior rendimento de proteína precipitada (89,77%), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os demais extratos de surimis apresentaram rendimentos inferiores e não diferiram entre si, com valores variando de 56,87% a 63,91%, indicando que a matéria-prima impacta na recuperação proteica.

Na extração com solução salina, os maiores rendimentos foram observados para os extratos de surimi C e C/P (62,38% e 56,06%, respectivamente), enquanto o S/P apresentou o menor rendimento (35,54%). A solubilidade de proteínas em solução salina é modulada por fenômenos de *salting-in* e *salting-out*, em que íons provenientes da salinidade inicialmente aumentam a solubilidade por blindagem das cargas das proteínas, mas em concentrações mais elevadas reduzem a solubilidade, dificultando a agregação e precipitação proteica (Duong-Ly & Gabelli, 2014).

Para os parâmetros de cor, de modo geral, observa-se que a mudança do meio aquoso para o meio salino altera significativamente L^* , a^* , b^* , C^* e h . Para L^* , todos os tratamentos apresentaram aumento significativo quando extraídos em solução salina. Assim, a presença de íons favorece uma matriz proteica opticamente mais clara.

Em solução aquosa, todos os tratamentos mantiveram valores positivos ou próximos de zero para a^* , enquanto na solução salina observou-se mudança para valores negativos, refletindo maior tendência ao verde. Para b^* , a redução substancial nos valores em solução salina indica perda de tonalidades amareladas.

Já para os parâmetros C^* e h , em solução aquosa, C e CV apresentaram cromas elevados, associados à maior saturação de cor. Entretanto, a solução salina promoveu reduções significativas nessas métricas, revelando produtos visualmente menos saturados e mais pálidos. Quanto ao ângulo de matiz, os tratamentos deslocaram-se no sentido de valores maiores em solução salina, o que confirma uma mudança para tonalidades mais esverdeadas e menos amareladas.

Um dos critérios mais relevantes para avaliar e comparar diferentes métodos de processamento é a coloração do isolado proteico. Em termos industriais e comerciais, há preferência relevante por isolados com tonalidade clara, especialmente aqueles que apresentam coloração branca. A aparência de um isolado proteico de peixe é influenciada por fatores inerentes à matéria-prima, incluindo o teor de músculo escuro, a presença residual de sangue e a concentração de pigmentos biológicos, particularmente melanina. Esse pigmento, amplamente distribuído em tecidos como olhos, pele e no revestimento escurecido da cavidade abdominal, pode comprometer a clareza do produto final. Assim, a cor torna-se um atributo crítico, sobretudo quando o isolado proteico é obtido a partir de peixes inteiros ou de coprodutos gerados ao longo do processamento, nos quais a variabilidade e o conteúdo de pigmentos tendem a ser maiores (Tahergorabi *et al.*, 2012). Adicionalmente, o método empregado para extração das proteínas também pode influenciar de forma significativa a coloração final do isolado, uma vez que diferentes condições podem alterar a retenção, solubilização ou remoção de pigmentos.

4. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Coprodutos do processamento de tilápia e peixes com baixo desempenho zootécnico constituem matérias-primas promissoras para a produção de surimi e recuperação de proteínas por mudança de pH, evidenciando potencial para valorização desses coprodutos. As diferentes frações avaliadas influenciaram diretamente nas características físico-químicas, composição e propriedades dos surimis obtidos. De modo geral, a incorporação de aparas “V” contribuiu para maior teor proteico, enquanto a utilização de peixe inteiro com pele e cabeça resultou em maiores teores de colágeno e atividade de água.

Ainda, o processo de precipitação isoelétrica mostrou elevada eficiência na recuperação de proteínas, com rendimentos superiores a 90%. Adicionalmente, o meio de extração exerceu influência sobre a composição e as propriedades ópticas das proteínas precipitadas, sendo que a solução salina favoreceu maior luminosidade e coloração mais clara. Em conjunto, os resultados indicam que a escolha da matéria-prima e das condições de extração é determinante para otimizar a qualidade e o rendimento das proteínas obtidas, reforçando o potencial tecnológico e sustentável da utilização de coprodutos para obtenção de ingredientes proteicos de valor agregado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEROUMAND, A. Estimation of microbiological variations in minced lean fish products. **World Journal of Fish and Marine**

Sciences, v. 2, n. 3, p. 204–207, 2010. Acessado em 28 de fevereiro de 2026.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**, 19th edn. AOAC International, Gaithersburg, 2012. Acessado em 05 de outubro de 2025.

BATISTA, I. Recovery of proteins from fish waste products by alkaline extraction. **European Food Research and Technology**, v. 210, p. 84–89, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s002170050539>. Acessado em 15 de outubro de 2025.

CHAIJAN, M.; CHUMTHONG, K.; KONGCHOOSI, N.; CHINARAK, K.; PANYA, A.; PHONSATTA, N.; CHEONG, L. Z.; PANPIPAT, W. Characterisation of pH-shift-produced protein isolates from sago palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*) larvae. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 8, n. 3, p. 313–324, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0085>. Acessado em 16 de dezembro de 2025.

CHANTED, J.; PANPIPAT, W.; CHEONG, L.-Z.; CHAIJAN, M. Recovery of functional proteins from pig brain using pH-shift processes. **Foods**, v. 11, n. 5, p. 695, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods11050695>. Acessado em 12 de novembro de 2025.

CHOI, Y.; PARK, J. W. Acid-aided protein recovery from enzyme-rich Pacific whiting. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 2962–2967, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08846.x>. Acesso em 25 de fevereiro de 2026.

CHUMTHONG, K.; SAELEE, N.; PANPIPAT, W.; PANYA, A.; PHONSATTA, N.; THANGVICHIE, S.; MALA-IN, W.; GROSSMANN, L.; CHAIJAN, M. Utilizing the pH-shift method for isolation and nutritional characterization of mantis shrimp (*Oratosquilla nepa*) protein: a strategy for developing value-added ingredients. **Foods**, v. 13, n. 15, p. 2312, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods13152312>. Acessado em 05 de novembro de 2025.

COSTA, C. G. C. D.; PAULA, M. M. O.; MASSINGUE, A. A.; TORRES FILHO, R. A.; RAMOS, E. M.; CARNEIRO, J. D. S. Protein concentrates obtained from pig by-products using pH-shifting technique: a preliminary study. **Ciência Rural**, v. 49, p. e20181048, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20181048>. Acessado em 25 de setembro de 2025.

DUONG-LY, K. C.; GABELLI, S. B. Salting out of proteins using ammonium sulfate precipitation. **Methods in Enzymology**, v. 541, p. 85-94, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420119-4.00007-0>. Acessado em 02 de outubro de 2025.

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE STANLEY, G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 226, n. 1, p. 497-509, 1957. Acessado em 02 de setembro de 2025.

FREITAS, A. C.; RODRIGUES, D.; ROCHA-SANTOS, T. A. P.; GOMES, A. M. P.; DUARTE, A. C. Marine biotechnology advances towards applications in new functional foods. **Biotechnology Advances**, v. 30, n. 6, p. 1506-1515, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.03.006>. Acessado em 02 de janeiro de 2026.

GAO, Y.; FUKUSHIMA, H.; DENG, S.; JIA, R.; OSAKO, K.; OKAZAKI, E. Effect of pH and heating conditions on the properties of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gel fortified with fish oil. **Journal of Texture Studies**, v. 49, n. 6, p. 595–603, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12365>. Acessado em 17 de fevereiro de 2026.

GEHRING, C. K.; JACZYNSKI, J.; MORITZ, J. S. Improvement of pellet quality with proteins recovered from whole fish using iso-electric solubilization/precipitation. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 18, n. 3, p. 418–431, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00054>. Acessado em 28 de dezembro de 2025.

HAMM, R. The influence of pH on the protein net charge in the myofibrillar system. Reciprocal **Meat Conference Proceedings**, v. 47, p. 5–9, 1994. Acessado em 23 de dezembro de 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**. Brasília, DF: Ipea, 2017. Disponível em: <https://www.portalantigo.ipea.gov.br>. Acessado em 20 dezembro de 2025.

ISLAM, M. J.; PEÑARUBIA, O. R. Seafood waste management status in Bangladesh and potential for silage production. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 2372, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13042372>. Acessado em 20 de novembro de 2025.

JAZIRI, A. A.; HASANUDDIN, H.; SHAPAWI, R.; MOKHTAR, R. A. M.; NOORDIN, W. N. M.; HUDA, N. Nutritional composition and mineral

analysis of the byproducts from tropical marine fish, purple-spotted bigeye (*Priacanthus tayenus* Richardson, 1846) and barracuda (*Sphyraena obtusata* Cuvier, 1829). **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 967, p. 012051, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/967/1/012051>. Acessado em 25 de novembro de 2025.

KELLEHER, S. D.; HULTIN, H. O. Functional chicken muscle protein isolates prepared using low ionic strength, acid solubilization/precipitation. **53rd Annual Reciprocal Meat Conference**, p. 76–81, 1994. Acessado em 02 de dezembro de 2025.

KRISTINSSON, H.; THEODORE, A. E.; DEMIR, N.; INGADOTTIR, B. A comparative study between acid- and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from Channel catfish muscle. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 4, p. C298–C306, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07177.x>. Acessado em 30 de novembro de 2025.

LAL, J.; DEB, S.; SINGH, S. K.; BISWAS, P.; DEBBARMA, R.; YADAV, N. K.; DEBBARMA, S.; VAISHNAV, A.; MEENA, D. K.; WAIKHOM, G.; PATEL, A. B. Diverse uses of valuable seafood processing industry waste for sustainability: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 53, p. 62249–62263, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28890-2>. Acessado em 15 de fevereiro de 2026.

LANIER, T. C. Measurement of surimi composition and functional properties. In: LANIER, T. C.; LEE, C. M. (Ed.). **Surimi technology**. New York: Marcel Dekker Inc., 1992. p. 123–163. Acessado em 02 de março de 2026.

LEE, M. G.; YOON, W. B.; PARK, J. W. Combined effect of pH and heating conditions on the physical properties of Alaska pollock surimi gels. **Journal of Texture Studies**, v. 48, n. 3, p. 215–220, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12230>. Acessado em 02 de janeiro de 2026.

MINOZZO, M. G.; VAZ, S. K. Pasta de tilápia – surimi. In: BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. (Ed.). **Industrialização de tilápias**. Toledo: GFM Gráfica & Editora, 2007. cap. 5, p. 83–96. Acessado em 23 de novembro de 2025.

MINOZZO, M. G.; WASZCZYNSKYJ, N.; BOSCOLO, W. R. Utilização de carne mecanicamente separada de tilápia (*Oreochromis niloticus*) para a produção de patês cremoso e pastoso. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 315-319, 2008. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000329274>. Acessado em 15 de fevereiro de 2026.

MIRA, N. V. M.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Avaliação da composição centesimal, aminoácidos e mercúrio contaminante de surimi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 665-71, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400007>. Acessado em 06 de fevereiro de 2026.

MOOSAVI-NASAB, M.; ALLI, I.; ISMAIL, A. A.; NGADI, M. O. Protein structural changes during preparation and storage of surimi. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 7, p. 448–453, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11467.x>. Acesso em 05 de fevereiro de 2026.

OKADA, M. History of surimi technology in Japan. In: LANIER, T. C.; LEE, C. M. (Ed.). **Surimi technology**. New York: Marcel Dekker Inc.,

1992. p. 3–21. Acessado em 20 de fevereiro de 2026.

OLIVEIRA, J. M. O peixe e a saúde: das recomendações para o consumo às possibilidades ambientais de atendê-lo. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 20, p. 141-146, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/san.v20i1supl.8634592>. Acessado em 10 de janeiro de 2026.

ORDÓÑEZ, J.A, et al. **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal**. 1a. edição, São Paulo: Artmed, 2005. Acessado em 05 de janeiro de 2026.

OSLAN, S. N. H.; LI, C. X.; SHAPAWI, R.; MOKHTAR, R. A. M.; NOORDIN, W. N. M.; HUDA, N. Extraction and characterization of bioactive fish by-product collagen as promising for potential wound healing agent in pharmaceutical applications: current trend and future perspective. **International Journal of Food Science**, v. 2022, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/9437878>. Acessado de 25 de janeiro de 2026.

OZOGUL, F.; CAGALJ, M.; SIMAT, V.; OZOGUL, Y.; TKACZEWSKA, J.; HASSOUN, A.; KADDOUR, A. A.; KULEY, E.; RATHOD, N. B.; PHADKE, G. G. Recent developments in valorization of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 559–582, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.007>. Acessado em 02 de janeiro de 2026.

PANPIPAT, W.; TONGKAM, P.; ÇAVDAR, H. K.; CHAIJAN, M. Single Ultrasonic-Assisted Washing for Eco-Efficient Production of Mackerel (*Auxis thazard*) Surimi. **Foods**, v.12, n. 20, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/foods12203817>. Acessado em 25 de novembro de 2025.

PARK, J. W.; LANIER, T. C. Processing of surimi and surimi seafood. In: LANCASTER, P. A. (Ed.). **Processing of surimi and surimi seafood**. Lancaster: Technomic Publishing Co., 2000. 520 p. Acessado em 10 de janeiro de 2026.

PAULA, M. M. O.; MOURA, A. P. R.; ANDRADE, B. F.; CUNHA, S. F. V.; FONTES, P. R.; RAMOS, A. L. S.; RAMOS, E. M. Nutritional and techno-functional characterization of protein isolates obtained from porcine heart. **Analytical Methods**, v. 17, p. 3767 – 3780, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D5AY00151J>. Acessado em 15 de janeiro de 2026.

PAULA, M. M. O.; BUCHILI, A. F. M.; FONTES, P. R.; RAMOS, A. D. L. S.; RAMOS, E. M. Extraction of proteins from aqueous and salt solutions of porcine edible byproducts using the pH-shifting technique. **Food Chemistry Advances**, v. 3, p. 100486, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100486>. Acessado em 25 de janeiro de 2025.

PIRES, D. R; MORAIS, A. G. N; COSTA. J. F; GOES, L.C.D.S.A; OLIVEIRA, G.M. Aproveitamento do resíduo comestível do pescado: Aplicação e viabilidade. **Revista Verde**, v. 9, n.5, p.34 - 46, 2014. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS>. Acessado em 02 de novembro de 2025.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. Acessado em 01 de julho de 2025.

RAO, J. V.; PALLELA, R.; PRAKASH, G. V. S. B. Prospect of marine sponge collagen and its application in cosmetology. In: KIM, S. K. (Ed.). **Marine cosmeceuticals: trends and prospects**. Boca Raton: CRC Press, 2012. p. 151–172. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b10120-8>. Acessado em 05 de fevereiro de 2026.

SÃO MARTINHO, H. C. R. P. **Produção de surimi e derivados em comunidade pesqueira desfavorecida do Rio de Janeiro**. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar) – Instituto Superior de Agricultura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/4075>. Acessado em 18 de dezembro de 2025.

SEBBEN, C. L.; BEIRÃO, L. H.; MEINERT, E. M.; CESAR, D. C.; CESAR, D. Rendimento e avaliação sensorial de hambúrgueres de carpa (*Cyprinus carpio*) com diferentes condições de processamento e armazenamento sob congelamento. **Boletim CEPPA**, v. 18, n. 1, p. 1–12, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/cep.v18i1.1120>. Acessado em 02 de março de 2026.

SIKORSKI, Z. Functional properties of proteins in food system. In: SIKORSKI, Z. (ed.). **Chemical & functional properties of food proteins**. Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc., 2001. p. 113–132. Acessado em 02 de dezembro de 2025.

SIMONNE, A. H.; SIMONNE, E. H.; EITENMILLER, R. R.; MILLS, H. A.; CRESMAN, C. P. III. Could the Dumas method replace the Kjeldahl digestion for nitrogen and crude protein determinations in foods? **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, n. 1, p. 39–45, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199701\)73:1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199701)73:1). Acessado em 15 de novembro de 2025.

TAHERGORABI, R.; BEAMER, S. K.; MATAK, K. E.; JACZYNSKI, J. Effect of isoelectric solubilization/precipitation and titanium dioxide on whitening and texture of proteins recovered from dark chicken-meat processing by-products. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 896–903, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.018>. Acessado em 02 de janeiro de 2026.

TAHERGORABI, R.; BEAMER, S. K.; MATAK, K. E.; JACZYNSKI, J. Isoelectric solubilization/precipitation as a means to recover protein isolate from striped bass (*Morone saxatilis*) and its physicochemical properties in a nutraceutical seafood product. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 23, p. 5979–5987, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf3001197>. Acessado em 16 de setembro de 2025.

TASKAYA, L.; CHEN, Y. C.; BEAMER, S.; TOU, J. C.; JACZYNSKI, J. Compositional characteristics of materials recovered from whole gutted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) using isoelectric solubilization/precipitation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 10, p. 4259–4266, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf803974q>. Acessado em 15 de dezembro de 2025.

VIDOTTI, R. M.; BORINI, M. S. M. Aparas da filetagem da tilápia se transformam em polpa condimentada. **Panorama da Aquicultura**, v. 16, n. 96, p. 38–41, 2006. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br>. Acessado em 12 de janeiro 2026.

WAGH, M. S.; SOWJANYA, S.; NATH, P. C.; CHAKRABORTY, A.; AMRIT, R.; MISHRA, B.; MISHRA, A. K.; MOHANTA, Y. K. Valorisation of agro-industrial wastes: circular bioeconomy and biorefinery process – a sustainable symphony. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 183, p. 708–725, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.055>. Acessado em 15 de fevereiro de 2026.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Seafood loss and waste value chain report**. Geneva: World Economic Forum, 2023. Disponível em: <https://www3.weforum.org>. Acessado em 14 de outubro de 2025.

YEANNES, M. I.; ALMANDOS, M. E. Estimation of fish proximate composition starting from water content. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 16, n. 1, p. 81–92, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(02\)00168-0](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(02)00168-0). Acessado em 06 de setembro de 2025.

YIN, T.; PARK, J. W. Comprehensive review: by-products from surimi production and better utilization. **Food Science and Biotechnology**, v. 32, p. 1957–1980, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01360-8>. Acessado em 02 de fevereiro de 2026.

¹ Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: anasouzam94@gmail.com

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). E-mail: diana.oliveira@embrapa.br

³ Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: francielly.albergaria1@estudante.ufla.br

⁴ Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: marielle.paula1@ufla.br

⁵ Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: maria.emilia@ufla.br

⁶ Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: alcineia@ufla.br