



## Extração de colágeno de resíduos da indústria pesqueira

Gislaine Gonçalves Oliveira<sup>1\*</sup>, Denise Tiemi Uchida<sup>1</sup>, Juliana Harumi Miyoshi<sup>1</sup>, Daiane de Oliveira Grieser<sup>2</sup>, Pedro de Souza Quevedo<sup>2</sup>, Maria Luiza Rodrigues de Souza<sup>1</sup>

**RESUMO:** O colágeno é a principal proteína da matriz extracelular e desempenha um papel crucial na sustentação estrutural dos tecidos. Os tecidos conjuntivos são compostos por vários tipos de proteínas, conferindo-lhes funções estruturais e fisiológicas específicas. O objetivo deste estudo foi realizar um levantamento bibliográfico sobre o colágeno e sua extração de organismos aquáticos. Utilizou-se uma metodologia exploratória, com a coleta de dados publicados entre 1995 e 2024 nas plataformas Periódicos Capes, Google Acadêmico e Scielo. Os resultados mostraram que existem diversos métodos de extração de colágeno, incluindo processos ácidos, básicos e enzimáticos, cada um com rendimentos variáveis dependendo da espécie e do método utilizado. A extração de colágeno a partir de resíduos pesqueiros se mostrou promissora, agregando valor comercial e reduzindo o impacto ambiental. Suas propriedades, como baixa viscosidade e alta solubilidade, permitem uma ampla gama de aplicações industriais, tornando-o um ingrediente valioso nas indústrias farmacêutica, alimentícia e de cosméticos

**Palavras-chave:** aplicações industriais, proteínas, sustentabilidade.

## Collagen extraction from fishing industry waste

**ABSTRACT:** Collagen is the main protein in the extracellular matrix and plays a crucial role in the structural support of tissues. Connective tissues are composed of several types of proteins, giving them specific structural and physiological functions. The objective of this study was to carry out a bibliographical survey on collagen and its extraction from aquatic organisms. An exploratory methodology was used, with the collection of published data between 1995 and 2024 on the Periódicos Capes, Google Scholar and Scielo platforms. The results showed that there are several collagen extraction methods, including acidic, basic and enzymatic processes, each with variable yields depending on the species and method used. The extraction of collagen from fishing waste has shown promising, increasing the types and the commercial value of fish products, as well as reducing the environmental impact resulting from waste disposal. Its properties, such as low viscosity and high solubility, allow for a wide range of industrial applications, making it a valuable ingredient in the pharmaceutical, food and cosmetics industries.

**Keywords:** industrial applications, proteins, sustainability

## INTRODUÇÃO

Os tecidos conjuntivos são formados por vários tipos de proteína, com funções estruturais e fisiológicas. Suas características bioquímicas e biológicas são estabelecidas pela disposição supramolecular dos elementos fibrilares e das redes micro fibrilares, como as proteínas, as glicoproteínas e outras moléculas solúveis, as quais interferem na sua composição estrutural. O colágeno é a proteína encontrada em maior quantidade na matriz extracelular e possui função de sustentação extracelular (GELSE et al., 2003).

O colágeno é uma proteína estrutural presente em maior quantidade em mamíferos, e constitui até 30% das suas proteínas corporais (MUYONGA et al., 2004; ZEUGOLIS & RAGHUNATH, 2011). Ele constitui o principal elemento estrutural de órgãos e tecidos de vertebrados. Porém, já foram identificados

em invertebrados, como medusas, lulas, pepinos-do-mar, corais e anêmonas-do-mar (SIDDQUI et al., 2013; ZEUGOLIS & RAGHUNATH, 2011).

O colágeno é classificado em estriado (fibroso), não fibroso (formador de rede), microfibrilar (filamentoso) e associado às fibrilas (DAMODARAN et al., 2009). A unidade básica do colágeno é formada por fibrilas, que possuem em sua estrutura moléculas alongadas de tropocolágeno polipeptídicas que se entrelaçam em formato helicoidal, formando um conjunto de três hélices unidas por pontes de hidrogênio, com as extremidades amínica ou carboxílica de formato globular (DAMODARAN et al., 2009). Com isso, forma uma molécula linear com 180nm de comprimento, 1,4 a 1,5nm de largura, e massa molar de 360.000Da, e sua estabilização se dá devido às

Recebido em 16/05/2024; Aceito para publicação em 23/07/2024

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá

<sup>2</sup> Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

\*e-mail: gislaine\_oliveira14@hotmail.com

interações das suas propriedades químicas hidrofóbica e eletrostática (DAMODARAN et al., 2009).

A tripla hélice é composta por 100 resíduos de aminoácidos com uma composição variada. Essa diversidade na composição das cadeias  $\alpha$  resulta na classificação de pelo menos quatro tipos principais de colágeno. No entanto, em cada tecido pode haver mais de um tipo de colágeno (PRESTES et al., 2013).

A indústria pesqueira desempenha um papel significativo na economia global, fornecendo alimentos e matérias-primas para diversas indústrias, como por exemplo diferentes tipos de cortes de peixe, e subprodutos como a pele, carcaça, CMS (carne mecanicamente separada), cabeça, escamas, que através desses subprodutos pode-se obter a farinha de peixe que possibilita a inclusão em diversos alimentos (doce e salgado). Esses produtos em geral são utilizados na alimentação animal como na alimentação humana, como por exemplo em panqueca (OLIVEIRA et al., 2022), alfajor (KIMURA et al., 2017), bolo (DA COSTA et al., 2022), pães (DE SOUZA et al., 2022), biscoito para pet (POPPI et al., 2023) e silagem (VIDOTTI et al., 2006) entre outros.

No entanto, esse setor também gera uma quantidade substancial de aproximadamente 64% de resíduos durante o processamento (MATIUCCI et al., 2021; MORAIS et al., 2021). A extração de colágeno a partir desses resíduos tem se destacado como uma alternativa promissora para agregar valor e reduzir o impacto ambiental dessa indústria (SIMÕES et al., 2007; KUBITZA & CAMPOS, 2006; VIDOTTI & GONÇALVES, 2006).

Os resíduos gerados pela indústria pesqueira, como cabeças, peles, ossos, nadadeiras e carcaças, são ricos em colágeno, tornando-se uma fonte potencial para sua extração. Ao utilizar esses subprodutos, a indústria pode maximizar o aproveitamento dos recursos disponíveis, reduzindo o desperdício e contribuindo para uma abordagem mais sustentável (VIDOTTI & GONÇALVES, 2006).

A extração de colágeno a partir de resíduos pesqueiros cria oportunidades para o desenvolvimento de produtos com alto valor comercial e ajuda a mitigar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses materiais.

A relação entre a indústria pesqueira e a extração de colágeno é uma via de mão dupla: enquanto a indústria fornece os subprodutos ricos em colágeno, a extração desse composto oferece uma oportunidade para melhorar a eficiência e a sustentabilidade desse setor, ao mesmo tempo em que cria possibilidades de mercado e desenvolvimento econômico.

A literatura é bastante limitada em relação aos dados sobre a produção, importação, exportação de colágeno extraído de peixes. Esse cenário ressalta a necessidade de mais pesquisas detalhadas e abrangentes para explorar plenamente o potencial do colágeno de peixes.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo o levantamento bibliográfico sobre a extração de colágeno de resíduos da indústria pesqueira e sua aplicação.

## MATERIAIS E METODOS

Realizou-se uma revisão bibliográfica exploratória sobre a extração de colágeno de resíduos da indústria pesqueira. Foram consultadas as plataformas Periódicos Capes, Google Acadêmico e Scielo. Os termos de busca empregados foram colágeno, estrutura do colágeno, tipos de colágenos, aplicações do colágeno, rendimento, tilápia do Nilo e aproveitamento de resíduos da indústria pesqueira, considerando artigos científicos, revisões, teses e dissertações disponíveis em português, inglês ou espanhol e publicados entre 1990 e 2024. Após triagem, as publicações consideradas pertinentes foram analisadas e discutidas para embasar o presente trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Tipos de colágenos

Já foram identificados 29 tipos de colágeno, os quais possuem em sua estrutura uma sequência repetitiva chamada de Glicina-X-Y, em que as posições X são ocupadas por prolina (Pro) e as posições Y, por hidroxiprolina (Hyp) (DABOOR et al., 2010; FERREIRA et al., 2012; JUNQUEIRA & CARNEIRO, 2013; ZEUGOLIS & RAGHUNATH, 2011). Esses tipos de colágenos apresentam diferenças relacionadas, principalmente, com a organização das moléculas, estabilidade, elasticidade e antigenicidade do tecido de onde é realizada a extração (ELANGO et al., 2017; FERRARO et al., 2016; GOMEZ-GUILLEN et al., 2011). Alguns dos 29 tipos de colágenos apresentam particularidades e propriedades únicas em suas composições, e outros possuem características semelhantes entre si. Porém, todos dispõem de cadeias polipeptídicas (FAUZI et al., 2016; ZEUGOLIS & RAGHUNATH, 2011). Dentre os tipos de colágenos (Tabela 1), 9 deles são encontrados com mais frequência, como os dos tipos I, II, III, IV, V, VII, IX, XI e XIII, os quais formam fibras de colágeno, e são mais abundantes no corpo (FAUZI et al., 2016).

Tabela 1. Tipos de colágeno identificados por grupos e suas distribuições no organismo.

<b>Colágeno formadores de fibrilas</b>	
Tipo I	Pele, tendão e ossos
Tipo II	Cartilagem, corpo vítreo, núcleo pulposo
Tipo III	Pele, parede dos vasos, fibras reticulares da maioria dos tecidos.
Tipo V	Pulmão, córnea, ossos, tecidos fetais; juntamente com o colágeno tipo I
Tipo XI	Cartilagem, corpo vítreo.
<i>Colágeno da membrana basal</i>	
Tipo IV	Membranas basais.
<i>Colágeno microfibrilar</i>	
Tipo VI	Derme, cartilagem, placenta, pulmões, da parede do vaso, disco intervertebral.
<i>Fibrilas de ancoragem</i>	
Tipo VII	Pele, junções epidérmicas, cérvix.
<i>Colágenos formadores de rede hexagonal</i>	
Tipo VIII	Células endoteliais
Tipo X	Cartilagem hipertrófica.
<i>Colágenos FACIT</i>	
Tipo IX	Cartilagem, humor vítreo, córnea.
Tipo XII	Pericôndrio, ligamentos, tendões.
Tipo XIV	Derme, tendão, da parede do vaso, placenta, pulmões, fígado
Tipo XIX	Rabdomiossarcoma humano.
Tipo XX	Epitélio da córnea, pele embrionária, cartilagem esternal, tendão
Tipo XXI	Parede de vasos sanguíneos.
<i>Colágenos transmembranares</i>	
Tipo XIII	Epiderme, endomísio, intestino, condrócitos, pulmões, fígado
Tipo XVII	Junções derme-epidérmicas
<i>Multiplexin</i>	
Tipo XV	Fibroblastos, células musculares lisas, rim, pâncreas.
Tipo XVI	Fibroblastos, queratinócitos.
Tipo XVIII	Pulmões, fígado, timo, músculo, intestino, pele.

Fonte: Adaptado de Gelse et al.(2003) e Jain et al. (2014).

No colágeno tipo I, a cadeia de polipeptídios comum apresenta aproximadamente 1.014 resíduos de aminoácidos com uma sequência repetida ao longo da cadeia de (GlyX-Y) n. Gly é o aminoácido glicina, X quase sempre é prolina e o Y, hidroxiprolina ou hidroxilisina (SILVA et al., 2010). Essa sequência pode se repetir por aproximadamente 334 vezes, podendo a estrutura primária chegar a uma massa molecular até 100.000Da (GÓMEZ-GUILLÉN et al., 2002; SCHRIEBER & GAREIS, 2007). Os outros aminoácidos são formados por hidroxilação pós-translacional de prolina e lisina pela prolil hidroxilase e pela lisil hidroxilase, respectivamente (DAMODARAN et al., 2010). Essa massa molar é muito importante, pois, de acordo com Damodaran et al. (2010), quando for menor que 20000Da, o colágeno obtido não forma géis. Dessa forma, Schrieber & Gareis (2007) relatam que uma gelatina de alta qualidade tem uma massa molar de 60.000 a 80.000 Da. O colágeno do tipo I é encontrado em maior quantidade nos mamíferos, e sua maior utilização é na produção de biomateriais por possuir

características compatíveis com os ossos, dentina, tendões, cápsulas de órgãos, vasos sanguíneos, derme e metabolismo celular (CHUNG & UITTO, 2010; FERREIRA et al., 2012; MAKAREEVA & LEIKIN, 2013; ZEUGOLIS & RAGHUNATH, 2011). O colágeno do tipo I pode ser encontrado na pele, escamas, barbatanas, ossos, espinhas e músculos de peixes de água doce (KOZLOWSKA et al., 2015; KRISHNAMOORTHY et al., 2017; TANG et al., 2015). A composição do colágeno do tipo I quanto aos aminoácidos varia em relação às diferentes espécies. Por exemplo, o colágeno das aves pode apresentar maior concentração de ácido glutâmico (Glu) e ácido aspártico (Asp), o colágeno da pele de tubarão possui menor quantidade de ácido aspártico e hidroxiprolina (Hyp) (LIN & LIU, 2006) e a pele de tilápia possui maior quantidade de valina e glicina e menor de tirosina e histidina (BORDIGNON et al., 2012).

A extração de colágeno através dos resíduos de processamento é uma alternativa para utilização na indústria farmacêutica, alimentícia e de cosméticos,

devido à sua abundância no tecido animal. Mas, a qualidade e aplicação específica do colágeno extraído está diretamente relacionada com suas propriedades funcionais e pureza (RUSTAD, 2003).

### Colágeno extraído de resíduos da indústria pesqueira

O colágeno é um produto de alto valor comercial, vários estudos têm sido realizados para a extração, envolvendo desde os tipos de resíduos de peixes, diferentes metodologias de extração (ácidas, básicas e enzimáticas), identificação dos tipos de colágenos, espécies e parte do corpo dos peixes utilizadas para extração, dentre outros (FAUZI et al., 2016; KITTIPHATTANABAWON et al., 2010; SIQUEIRA et al., 1995).

De acordo com os dados disponibilizados por Santos et al., (2019), a pele de tilápia possui um rendimento de 17,74% enquanto o espinhaço sujo e limpo possui 4,83 e 4,10% respectivamente de rendimento na extração ácida.

Essas pesquisas estão aumentando, pois, a extração do colágeno de peixes tem chamado atenção devido à grande disponibilidade dos diferentes tipos de resíduos gerados pelo processo de filetagem, além do elevado desempenho produtivo dos peixes, menor toxicidade, menor risco de transmissão de doenças em comparação com outras espécies (FAUZI et al., 2016; KRISHNAMOORTHY et al., 2017; MASILAMANI et al., 2016). Um exemplo desabonador se refere aos mamíferos, pois apresentam patologias, como a encefalopatia espongiiforme bovina (vulgarmente conhecida como mal da vaca louca) e a febre aftosa, além das questões religiosas entre muçulmanos, judeus e hindus, que restringem o consumo de produtos derivados de mamíferos (FAUZI et al., 2016; KRISHNAMOORTHY et al., 2017; MASILAMANI et al., 2016). A utilização dos resíduos da indústria pesqueira é uma alternativa de redução dos grandes impactos que o descarte indevido desses resíduos, pode causar ao meio ambiente. Uma estratégia é a extração de colágeno da cabeça, pele, ossos, nadadeiras, ou até mesmo das carcaças inteiras de peixe. Dessa forma, agrega-se valor comercial e reduz-se o impacto ambiental em função do melhor uso dos resíduos da indústria pesqueira (BANDEIRA, 2009).

O grande crescimento da aquicultura nos últimos anos tem sido notável, posicionando a atividade como uma das principais fontes de proteína animal no mundo (FAO, 2022; PEIXE-BR 2024). No entanto, o processo de filetagem de peixes, que é a etapa de maior valor agregado, resulta em uma significativa quantidade de resíduos, como peles, escamas e ossos. Estes resíduos, que tradicionalmente são descartados ou subutilizados, representam uma oportunidade valiosa para a extração de colágeno. Aproveitar esses subprodutos não apenas agrega valor econômico, mas também contribui para a sustentabilidade da indústria, reduzindo o impacto ambiental ao transformar materiais descartados em recursos úteis e comercializáveis.

### Métodos de extração do colágeno e rendimentos

Existem diferentes metodologias para a extração de colágeno de peixes, como, por exemplo, extração ácida, neutra e enzimática (KRISHNAMOORTHY et al., 2017; MASILAMANI et al., 2016). A extração ácida é geralmente aplicada para obter o colágeno de peles e ossos, quando ocorre a reorganização da estrutura do colágeno com poucas alterações hidrolíticas, em um processo que leva em torno de 24 horas (OCKERMAN et al., 1994). A extração básica faz com que as substâncias do colágeno se modifiquem, e se tornem mais solúveis; dessa forma, quando submetidos ao processo de lavagem, são removidas com mais facilidade (SCHRIEBER & GRIES, 2007). A extração enzimática envolve a utilização de enzimas, como a pepsina, a tripsina, a colagenase dentre outras, capazes de decompor as proteínas em seus aminoácidos constituintes. A pepsina suína extraída da mucosa gástrica de suínos é uma das enzimas utilizada por Kittiphattanabawon et al. (2010), para a extração do colágeno de pele de peixes. Os rendimentos são variáveis de espécie para espécie, em função das diferentes ligações de fibrilas de colágeno; a obtenção do colágeno em pó depende de vários fatores, principalmente o tipo de matéria-prima usada, o estado de conservação dessa matéria-prima e o método utilizado para a extração (BORDIGNON et al., 2012; REGENSTEIN & ZHOU, 2006).

Os processos de extração mais utilizados são os ácidos e enzimáticos que está relacionado com o aumento da eficácia da extração resultando em um ganho maior no rendimento do colágeno.

Tabela 02 - Extração e rendimento de colágeno de diferentes tecidos de peixes

Espécie	Método de extração	Tecido	Rendimento (%)	Referência
<i>Sebastes mentella</i>	Pepsina	Pele	92,2	WANG et al. (2007)
<i>Rachycentron canadum</i>	Ácido	Pele	35,5	ZENG et al. (2012)
<i>Rachycentron canadum</i>	Pepsina	Pele	12,3	ZENG et al. (2012)
<i>Ictalurus punctatus</i>	Ácido	Pele	25,90	ZHANG et al. (2016)

Fonte adaptado: (OLIVEIRA, 2017).

### Aplicações do colágeno

O colágeno tem diversas aplicações e rendimentos (Tabela 03). Biopolímeros, produzidos a partir de colágeno de peixe, quitosana, gelatina, alginatos e oligossacarídeos, têm aplicações biomédicas. Estes polímeros possuem capacidade de combinação com outros materiais, biocompatibilidade, estabilidade e porosidade, bem como interagem com as enzimas envolvidas no processo de biossíntese e de

Tabela 03 - Aplicações industriais do colágeno

Fonte proteica	Aplicação biotecnológica	Referência
Escama de peixe	Colite Ulcerativa	AZUMA et al. (2014)
Cartilagem de tubarão	Antioxidante	JEEVITHAN et al. (2015)
Pele de peixe	Anti-hipertensivo e Antioxidante	CHOONPICHARN et al. (2015)
Pele de peixe	Regeneração Tecidual	CHANDIKA et al. (2015)
Pele de peixe	Produção de Biofilmes	TANG et al. (2015)
Pele de peixe	Esponja regenerativa	YAMAMOTO et al. (2015)
Hidrolisado de peixe*	Antibacteriano	ENNAAS et al. (2016)
Escama de peixe	Fertilizantes para plantas	BHAGWAT & DANDGE (2016)
Colágeno humano	Enxerto Corneano	FLAVAHAN et al. (2016)
Escama de peixe	Condrogênese	HSU et al. (2016)
Colágeno Tipo I**	Tratamento tumoral	VOICU et al. (2016)
Pele de peixe	Produção de Biofilmes	ELANGO et al. (2017)
Escama de peixe	Antioxidante	PAL & SURESH (2017)

\*Peptídeo isolado do hidrolisado. \*\*Colágeno comercial. Fonte: (OLIVEIRA, 2017).

### CONCLUSÃO

A utilização do colágeno derivado da indústria pesqueira apresenta várias vantagens e possibilidades, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental e de saúde. A extração de colágeno de resíduos da indústria pesqueira, como pele, escamas e ossos de peixes, contribui para a redução de desperdício e promove a sustentabilidade.

### REFERÊNCIAS

AZUMA, Kazuo et al. Effects of fish scale collagen peptide on an experimental ulcerative colitis mouse model. **PharmaNutrition**, v. 2, n. 4, p. 161-168, 2014.

BANDEIRA, S. F. Extração e caracterização da gelatina obtida de cabeças de carpa (*Aristichthys mobilis*). 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Rio Grande do Sul, Brasil, 2009.

BHAGWAT, Prashant K.; DANDGE, Padma B. Isolation, characterization and valorizable applications of fish scale collagen in food and agriculture industries. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 7, p. 234-240, 2016.

BORDIGNON, Adriana Cristina et al. Aproveitamento de peles de tilápia-do-nilo congeladas e salgadas para extração de gelatina em processo batelada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 473-478, 2012.

degradação (FERREIRA, 2012; CHANDIKA et al., 2015; KUTTAPPAN, 2016). Compostos à base de colágeno puro ou em associação com outros materiais são utilizados em suturas cirúrgicas, na substituição e regeneração de tecidos, em implantes, em contraceptivos e em lentes de contatos, dentre outras aplicações (FERREIRA, 2012).

CHANDIKA, Pathum et al. Fish collagen/alginate/chitooligosaccharides integrated scaffold for skin tissue regeneration application. **International journal of biological macromolecules**, v. 81, p. 504-513, 2015.

CHOONPICHARN, Sadabpong et al. Antioxidant and antihypertensive activity of gelatin hydrolysate from Nile tilapia skin. **Journal of food science and technology**, v. 52, p. 3134-3139, 2015.

CHUNG, Hye Jin; UITTO, Jouni. Type VII collagen: the anchoring fibril protein at fault in dystrophic epidermolysis bullosa. **Dermatologic clinics**, v. 28, n. 1, p. 93-105, 2010.

DABOOR, Said M. et al. Extraction and purification of collagenase enzymes: a critical review. **Am. J. Biochem. Biotechnol**, v. 6, n. 4, p. 239-263, 2010.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed editora, 2018.

DA COSTA, Regiane Oliveira et al. Qualidade nutricional e sensorial de bolos sem glúten e lactose enriquecidos com farinha de tilápia do Nilo. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 29651-29668, 2022.

DE SOUZA, Maria Luiza Rodrigues et al. Diferentes níveis de inclusão de farinha elaborada a partir de carcaças

- cozidas de tilápia do Nilo em pão caseiro. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e389101220208-e389101220208, 2021.
- SANTOS, F. et al. Produção de colágeno em pó a partir da pele e do espinhaço de tilápia do Nilo. In: **XI EPCC- Encontro Internacional de Produção Científica- UNICESUMAR**. UNICESUMAR, 2019. p. 1-8.
- SIQUEIRA, R. S. Manual de microbiologia de alimentos.[sl] EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa e Tecnologia Agroindustrial de Alimentos. Rio de Janeiro**, 1995.
- ELANGO, Jeevithan et al. Effect of chemical and biological cross-linkers on mechanical and functional properties of shark catfish skin collagen films. **Food Bioscience**, v. 17, p. 42-51, 2017.
- ENNAAS, Nadia et al. Collagencin, an antibacterial peptide from fish collagen: Activity, structure and interaction dynamics with membrane. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 473, n. 2, p. 642-647, 2016.
- FAUZI, M. B. et al. Ovine tendon collagen: Extraction, characterisation and fabrication of thin films for tissue engineering applications. **Materials Science and Engineering: C**, v. 68, p. 163-171, 2016.
- FERRARO, Vincenza; ANTON, Marc; SANTÉ-LHOUTELLIER, Véronique. The “sisters”  $\alpha$ -helices of collagen, elastin and keratin recovered from animal by-products: Functionality, bioactivity and trends of application. **Trends in Food Science & Technology**, v. 51, p. 65-75, 2016.
- FERREIRA, Ana Marina et al. Collagen for bone tissue regeneration. **Acta biomaterialia**, v. 8, n. 9, p. 3191-3200, 2012.
- FLAVAHAN, Paul W. et al. Collagen cross-linking treatment increases adhesion in mock corneal grafts. **Contact Lens and Anterior Eye**, v. 39, n. 6, p. 416-419, 2016.
- GELSE, Kolja; PÖSCHL, E.; AIGNER, T. Collagens—structure, function, and biosynthesis. **Advanced drug delivery reviews**, v. 55, n. 12, p. 1531-1546, 2003.
- GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. **Food hydrocolloids**, v. 25, n. 8, p. 1813-1827, 2011.
- GÓMEZ-GUILLÉN, M<sup>a</sup> C. et al. Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. **Food Hydrocolloids**, v. 16, n. 1, p. 25-34, 2002.
- HSU, Han-Hsiu et al. Chondrogenic differentiation of human mesenchymal stem cells on fish scale collagen. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 122, n. 2, p. 219-225, 2016.
- JAIN, S. et al. Collagen: basis of life. **Universal Research Journal of Dentistry**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2014.
- JEEVITHAN, Elango et al. Purification, characterization and antioxidant properties of low molecular weight collagenous polypeptide (37 kDa) prepared from whale shark cartilage (*Rhincodon typus*). **Journal of food science and technology**, v. 52, p. 6312-6322, 2015.
- JUNQUEIRA, L.C. & CARNEIRO, J. **Histologia Básica**. Rio de Janeiro, Brasil. 2013.
- KIMURA, Kátia Setsuko et al. Nutritional, microbiological and sensorial characteristics of alfajor prepared with dehydrated mixture of salmon and tilapia. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 39, n. 1, p. 111-117, 2017.
- KITTIPHATTANABAWON, Phanat et al. Isolation and characterisation of collagen from the skin of brownbanded bamboo shark (*Chiloscyllium punctatum*). **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1519-1526, 2010.
- KOZLOWSKA, J. et al. Northern pike (*Esox lucius*) collagen: Extraction, characterization and potential application. **International journal of biological macromolecules**, v. 81, p. 220-227, 2015.
- KRISHNAMOORTHY, Jayalakshmi et al. Isolation and partial characterization of collagen from outer skin of Sepia pharaonis (*Ehrenberg, 1831*) from Puducherry coast. **Biochemistry and biophysics reports**, v. 10, p. 39-45, 2017.
- KUBITZA, F., & CAMPOS, J. L. Aproveitamento dos subprodutos do processamento de pescados. **Panorama da aquicultura**, v. 16, n. 94, p. 23-29, 2006.
- KUTTAPPAN, Shruthy; MATHEW, Dennis; NAIR, Manitha B. Biomimetic composite scaffolds containing bioceramics and collagen/gelatin for bone tissue engineering-A mini review. **International journal of biological macromolecules**, v. 93, p. 1390-1401, 2016.
- MATIUCCI, Marcos Antônio et al. Aproveitamento de resíduos da filetagem de tilápia na produção de patê com adição de óleo essencial de orégano. **Research, Society**

**and Development**, v. 10, n. 2, p. e59510213059-e59510213059, 2021

.MAKAREEVA, Elena; LEIKIN, Sergey. Collagen structure, folding and function. In: **Osteogenesis imperfecta**. Academic Press, 2014. p. 71-84.

MASILAMANI, Dineshkumar et al. Extraction of collagen from raw trimming wastes of tannery: a waste to wealth approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 338-344, 2016.

MORAES, Paola Silveira et al. Nile tilapia industrialization waste: Evaluation of the yield, quality and cost of the biodiesel production process. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, p. 125041, 2021.

MUYONGA, J. H.; COLE, C. G. B.; DUODU, K. G. Characterisation of acid soluble collagen from skins of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*). **Food chemistry**, v. 85, n. 1, p. 81-89, 2004.

OCKERMAN, H. W., HANSEN, C. L., & CRESPO, F. L. Industrialización de subproductos de origen animal. 1994.

OLIVEIRA, Gislaíne Gonçalves et al. Panquecas sem glúten enriquecida com mix desidratado proteico de salmão e tilápia. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 29909-29928, 2022.

OLIVEIRA, Vagne de Melo et al. Colágeno: características gerais e produção de peptídeos bioativos-uma revisão com ênfase nos subprodutos do pescado. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 5, n. 2, p. 56-68, 2017.

PAL, Gaurav Kumar; SURESH, P. V. Comparative assessment of physico-chemical characteristics and fibril formation capacity of thermostable carp scales collagen. **Materials Science and Engineering: C**, v. 70, p. 32-40, 2017.

POPPI, Amanda Camila de Oliveira et al. Nutritional evaluation and palatability of pet biscuits for dogs. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 26, p. e2022132, 2023.

PRESTES, Rosa Cristina et al. Caracterização da fibra de colágeno, gelatina e colágeno hidrolisado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 15, n. 4, p. 375-382, 2013.

REGENSTEIN, J. M.; ZHOU, P. Collagen and gelatin from marine by-products. In: **Maximising the value of marine by-products**. Woodhead Publishing, 2007. p. 279-303.

RUSTAD, Turud. Utilisation of marine by-products. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v. 2, n. 4, p. 458-463, 2003.

SILVA, E. V. C. Otimização das condições de extração da gelatina de pele de peixes amazônicos por diferentes métodos. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Pará. 2010.

SIMÕES, Marcia Regina et al. Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). **Food Science and Technology**, v. 27, p. 608-613, 2007.

TANG, Lanlan et al. Physicochemical properties and film-forming ability of fish skin collagen extracted from different freshwater species. **Process Biochemistry**, v. 50, n. 1, p. 148-155, 2015.

VIDOTTI, Rose Meire; GONÇALVES, Giovani Sampaio. Produção e caracterização de silagem, farinha e óleo de tilápia e sua utilização na alimentação animal. **Instituto de Pesca**, v. 1, n. 1, p. 19, 2006.

VOICU, Georgeta et al. Synthesis, characterization and bioevaluation of drug-collagen hybrid materials for biomedical applications. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 510, n. 2, p. 474-484, 2016.

ZENG, Shaokui et al. Structure and characteristics of acid and pepsin-solubilized collagens from the skin of cobia (*Rachycentron canadum*). **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1975-1984, 2012.

ZHANG, Qiang et al. Comparison of collagen and gelatin extracted from the skins of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Food bioscience**, v. 13, p. 41-48, 2016.

WANG, L. et al. Isolation and characterization of collagen from the skin of deep-sea redfish (*Sebastes mentella*). **Journal of Food Science**, v. 72, n. 8, p. E450-E455, 2007.

YAMAMOTO, Kohei et al. The characterization of fish (tilapia) collagen sponge as a biomaterial. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, n. 1, p. 957385, 2015.