



Ministério da Educação e Cultura - MEC  
Universidade Federal do Piauí – UFPI  
Pró-Reitoria de Ensino e Pós-Graduação – PRPG  
Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição - PPGAN

TESE DE DOUTORADO

**CAVIAR MOLECULAR DE COLÁGENO  
HIDROLISADO DE PELE DE TILÁPIA DO NILO  
(*Oreochromis niloticus*)**

TATIANE MENESES BRANDÃO

TERESINA

2022

**TATIANE MENESES BRANDÃO**

**CAVIAR MOLECULAR DE COLÁGENO HIDROLISADO DE PELE DE TILÁPIA  
DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Universidade Federal do Piauí como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

**ORIENTADORA: PROF.<sup>a</sup> DRA. MARIA CHRISTINA SANCHES MURATORI.**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À  
VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA  
PELA ALUNA TATIANE MENESES  
BRANDÃO E ORIENTADA PELA PROF<sup>a</sup>  
DR<sup>a</sup> MARIA CHRISTINA SANCHES  
MURATORI

TERESINA

2022

**Universidade Federal do Piauí**  
**Biblioteca Setorial do Centro de Ciências da Saúde**  
**Serviço de Processamento Técnico**

Brandão, Tatiane Meneses.  
B817c Caviar molecular de colágeno hidrolisado de pele de tilápia do Nilo  
(*Oreochromis niloticus*) / Tatiane Meneses Brandão. -- 2022.  
85 f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-  
Graduação em Alimentos e Nutrição, 2022.  
Orientação : Profa. Dra. Maria Christina Sanches Muratori.  
Bibliografia

1. Colágeno Hidrolisado. 2. Pele de Tilápia. 3. Desenvolvimento de  
Produto. 4. Caviar Molecular. I. Muratori, Maria Christina Sanches. II. Título

CDD 613.2

Elaborado por Fabíola Nunes Brasilino CRB 3/ 1014

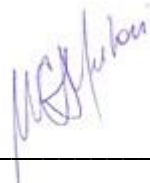
**TATIANE MENESES BRANDÃO**

**CAVIAR MOLECULAR DE COLÁGENO HIDROLISADO DE PELE DE TILÁPIA  
DO NILO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Universidade Federal do Piauí como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

**DATA DA DEFESA: 08/ 07/ 2022**

**BANCA EXAMINADORA**



---

Profa. Dra. Maria Christina Sanches Muratori – Orientadora  
(Presidente)



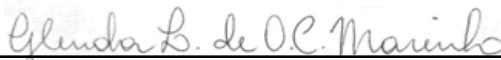
---

Profa. Dra. Stella Regina Arcanjo Medeiros  
(Titular)



---

Prof. Dr. Rodrigo Maciel Calvet  
(Titular)



---

Profa. Dra. Glenda Lídice de Oliveira Cortez Marinho  
(Titular)



---

Prof. Dr. João Batista Lopes  
(Titular)



---

Dra. Luciana Muratori Costa - Secretaria Municipal de Saúde (SMS)  
(Suplente)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar em todos os lugares e em todas as pessoas que estiveram comigo nessa empreitada.

Agradeço por se fazer mãe, justo, amigo, professor na pessoa da minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Christina Sanches Muratori. Que me acolheu desde o primeiro desejo de continuar no caminho da pesquisa e através desta, superar perdas que tive antes de chegar aqui. Não é possível descrever em palavras a gratidão pelo colo que enxugou minhas lágrimas, pela convivência, pelos ensinamentos, pelos espaços de diálogos e pelo incentivo. A senhora foi muito mais que uma orientadora profissional, orientou-me para a vida. Tenho certeza que nosso encontro estava escrito em nosso destino. Foi uma jornada foi incrível!

Agradeço por se fazer amigo, prestativo, colaborativo e parceiro nas pessoas de Nayara Kelen Miranda Mendes, Willy Kelvin dos Anjos Candeira, Luís José Duarte Franco, Suzane Pereira Carvalho, Abdias Jean, Maria Fabrícia Beserra Gonçalves e Daniel Rocha Cardoso. Pessoas que, com muita presteza, me apoiaram nas análises e fizeram essa pesquisa deixar de ser uma possibilidade e virar uma realidade. Vocês são especiais e fazem parte desta conquista!

Agradeço pela expressão do amor puro e verdadeiro personificado em meus pais Elnôra Meneses Brandão e Zenon Melo Brandão, em minha irmã Zoraíma Meneses Brandão e meu filho *pet* Zack. Sem o apoio e o carinho de vocês, a caminhada teria sido muito tortuosa.

Agradeço por se fazer meu companheiro de vida do amanhecer ao anoitecer na pessoa do meu esposo Robson Alves da Silva. Através dele sinto o imenso amor que tens por mim, o seu cuidado, a sua amizade, o seu desejo de que meus sonhos virem sempre uma realidade, a sua torcida pela minha felicidade e pelo meu sucesso. Ah como é bom tê-lo ao meu lado! Como é seguro segurar na sua mão e ter a certeza de que chegaremos onde nossos sonhos desejarem. Que mesmo caindo, levantando, sorrindo e chorando, estaremos sempre juntos! E que seja assim até o final dos nossos dias na Terra. Amo você!

E por fim, gratidão Deus por ter se transformado em bênção na pessoa de minha filha Heloísa Brandão Alves, o maior e mais divino amor, que nesse momento está meu ventre, compartilhando todos os sentimentos desta conquista. Gratidão filha por ser tão guerreira e paciente, te amo e te espero há muito tempo. Gratidão Deus por tamanho milagre. Sempre soube que estás ao meu lado em espírito e carne, e em todos os lugares.

## RESUMO GERAL

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é um peixe africano introduzido e adaptado às condições climáticas brasileiras, cuja importância comercial e nutricional esteve por muito tempo atrelada à sua carne. Porém, outras partes da tilápia, como a pele, pode oferecer subprodutos com potencial comercial e nutricional, a exemplo o colágeno hidrolisado, que demonstra propriedade antioxidante na prevenção do fotoenvelhecimento, antioxidantes em alimentos lipídicos, emulsificantes, substitutos de gordura e clarificantes em bebidas e aditivos. Devido às suas promissoras características nutricionais e tecnológicas e a necessidade de inovação do mercado alimentício, propôs-se desenvolver um caviar molecular à base de colágeno hidrolisado de pele e carcaça de tilápia através do método de esferificação direta, o CMT. Para avaliar a percepção mercadológica e sensorial do novo produto junto aos consumidores, aplicou-se um questionário *on-line*, devido ao período pandêmico de SARS-COV 19, na plataforma Google *Forms*. Foram desenvolvidos quatro tratamentos com duas variáveis independentes: tempo de imersão em cloreto de cálcio e concentração de caldo de peixe (CP). Assim, os tratamentos foram: A (3min em CaCl<sub>2</sub> e 12,5% de CP); B (9min em CaCl<sub>2</sub> e 12,5% CP; C (3min em CaCl<sub>2</sub> e 25% de CP; e D (9min em CaCl<sub>2</sub> e 25% de CP). Em seguida, o CMT produzido através da técnica de esferificação direta foi caracterizado quanto à sua composição centesimal e mineral, quanto às suas características termogravimétricas e vida de prateleira. O produto desenvolvido e avaliado pelos consumidores demonstrou um índice de aceitabilidade de 77,7% e de intenção de compra de 81,1%. E de acordo com as análises físico-químicas e tecnológicas, o tratamento C após o processamento apresentou o maior teor de proteínas (7,32 g/100g), P (150 mg/kg) e K (1320 mg/kg), enquanto o tratamento A, menor teor de lipídios (10,14 g/100g), menor deformação, maior estabilidade térmica e maior teor de cálcio. Observou-se ainda que o CMT, armazenado sob refrigeração ( $\pm 7^{\circ}\text{C}$ ), apresentou crescimento somente de mesófilos e após 30 dias de armazenamento. Nesse período, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos apenas para umidade e cinzas, onde o tratamento A apresentou os maiores teores de umidade e cinzas em relação ao tratamento C, e todos os tratamentos são considerados alto conteúdo de ferro. Pode-se concluir que é viável e potencialmente comercial o desenvolvimento de um caviar molecular à base de colágeno hidrolisado de tilápia e caldo de tilápia, onde os tratamentos com a menor concentração de caldo (A e C) apresentam as melhores características físico-químicas, tecnológicas e microbiológicas.

**Palavras -chave:** colágeno hidrolisado; pele de tilápia; desenvolvimento de produto; caviar molecular

## GENERAL ABSTRACT

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is an African fish introduced and adapted to Brazilian climatic conditions, whose commercial and nutritional importance was for a long time linked to its meat. However, other parts of tilapia, such as the skin, can offer by-products with commercial and nutritional potential, such as hydrolyzed collagen, which demonstrates antioxidant properties in preventing photoaging, antioxidants in lipid foods, emulsifiers, fat substitutes and clarifying agents in beverages and additions. Due to its promising nutritional and technological characteristics and the need for innovation in the food market, it was proposed to develop a molecular caviar based on hydrolyzed collagen from the skin and carcass of tilapia through the direct spherification method, the CMT. To assess the market and sensory perception of the new product among consumers, an online questionnaire was applied, due to the SARS-COV 19 pandemic period, on the Google Forms platform. Four treatments were developed with two independent variables: time of immersion in calcium chloride and concentration of fish broth (CP). Thus, the treatments were: A (3min in CaCl<sub>2</sub> and 12.5% CP); B (9min in CaCl<sub>2</sub> and 12.5% CP; C (3min in CaCl<sub>2</sub> and 25% CP; and D (9min in CaCl<sub>2</sub> and 25% CP). Then, the CMT produced by the direct spherification technique was characterized regarding its proximate and mineral composition, as to its thermogravimetric characteristics and shelf life. The product developed and evaluated by consumers showed an acceptability index of 77.7% and purchase intention of 81.1%. In the physicochemical and technological analyses, treatment C after processing had the highest protein content (7.32 g/100g), P (150 mg/kg) and K (1320 mg/kg), while treatment A, lower lipid content (10.14 g/100g), lower deformation, higher thermal stability and higher calcium content. It was also observed that CMT, stored under refrigeration ( $\pm 7^{\circ}\text{C}$ ), showed growth only of mesophiles and after 30 days of storage. During this period, statistical differences were observed between treatments only for moisture and ash, where treatment A presented the highest moisture and ash contents in relation to treatment C, and all treatments are considered high iron content. It can be concluded that the development of a molecular caviar based on hydrolyzed tilapia collagen and tilapia broth is viable and potentially commercial, where treatments with the lowest broth concentration (A and C) present the best physicochemical characteristics, technological and microbiological.

**Keywords:** hydrolyzed collagen; tilapia skin; product development; molecular caviar.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	10
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	12
	2.1 Objetivo geral	12
	2.2 Objetivos específicos	12
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	13
	3.1 Tilápia	13
	3.2 Os resíduos da produção de tilápia	15
	3.3 O colágeno	17
	3.4 O processo de esferificação	18
	<b>REFERÊNCIAS</b>	21
	<b>CAPÍTULO 1</b>	23
	<b>ARTIGO CIENTÍFICO</b>	23
	<i>Functional Properties of Tilapia Collagen, a Systematic Review</i>	24
	<b>Abstract</b>	25
	<b>1. Introdução</b>	26
	<b>2. Methods</b>	27
	2.1 Criteria for the selection os articles	27
	2.2 Inclusion and exclusion criteria	27
	<b>3. Results and discussion</b>	28
	<b>4. Final considerations</b>	32
	References	33
	<b>CAPÍTULO 2</b>	37
	<b>ARTIGO CIENTÍFICO</b>	37
	“Caviar molecular” de colágeno hidrolisado de pele de tilápia: percepção mercadológica e sensorial	38
	<b>Resumo</b>	38
	<b>1. Introdução</b>	39
	<b>2. Materiais e métodos</b>	40
	2.1 Objeto de estudo	40
	2.2 Período de estudo e forma de coleta dos dados	40
	2.3 Instrumentos de coleta de dados	40
	2.4 Análise dos dados	42



<b>3. Resultado e discussão</b> .....	42
3.1 Objeto de estudo.....	42
3.2 Perfil do consumidor .....	43
3.3 Hábitos e comportamento do consumo de caviar.....	46
3.4 Intenção de compra e aceitação do “caviar molecular” .....	49
<b>4. Conclusão</b> .....	56
<b>Referências</b> .....	57
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	61
<b>ARTIGO CIENTÍFICO</b> .....	61
Caviar molecular à base de colágeno hidrolisado de pele de tilápia ( <i>Oreochromis niloticus</i> ): desenvolvimento, caracterização e vida de prateleira.....	62
<b>Resumo</b> .....	62
<b>1. Introdução</b> .....	63
<b>2. Matérias e métodos</b> .....	64
2.1 Local de estudo.....	64
2.2 Obtenção da matéria-prima.....	65
2.3 Protocolo experimental.....	65
2.4 Preparo do caldo de tilápia.....	65
2.5 Produção dos CMT.....	66
2.6 Determinação físico-química, composição centesimal e valor calórico dos CMT.....	66
2.7 Análise mineral .....	67
2.8 Avaliação tecnológica dos CMT.....	67
2.8.1 Análise termogavimétrica.....	67
2.8.2 Análise de textura.....	67
2.9 Análise microbiológica.....	68
2.10 Análise estatística .....	69
<b>3. Resultados e discussão</b> .....	69
<b>Conclusão</b> .....	81
<b>Referências</b> .....	81

## 1 INTRODUÇÃO

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi introduzida nos açudes do Nordeste do Brasil em 1971 e foi difundida para o resto do país pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (SILVA et al., 2015). Trata-se de preferência nacional dentre os pescados cultivados e consolidou o Brasil na quarta posição entre os maiores produtores de tilápia no mundo (ABP, 2020).

Com a tilapicultura foram produzidos 432.149 t de peixes em 2019 representando 57,0% da piscicultura brasileira, caracterizando 7,98% de aumento de em relação 2018. O destaque do cultivo da tilápia advém da resistência a baixas concentrações de oxigênio e altos níveis de amônia dissolvidos na água; ao rápido crescimento; boa conversão alimentar e aceitação de ração artificial desde a fase larval. Destaca-se também pela musculatura firme e clara, pela ausência de espinhas intramusculares em forma de “Y” e pelas características organolépticas de sua carne (TEIXEIRA, 2022).

Além de características que favorecem a criação e a industrialização da tilápia, ela também se consolidou como importante fonte nutricional por ser acessível economicamente e versatilidade para desenvolvimento de diferentes produtos à base de pescado. Porém, segundo as estimativas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção dessa espécie aumentará em 30,0% até 2030 e a filetagem gerará resíduos que devem ser utilizados para produção de coprodutos reduzindo desperdícios de nutrientes e poluição do ambiente (ABP, 2020; BANDEIRA et al., 2017).

A filetagem de tilápia gera, aproximadamente 70% de resíduos (cabeça, ossos, pele e escamas) que quando descartados sem tratamento, podem causar poluição na atmosférica (odores, gases tóxicos ou material particulado), no ambiente aquático (eutrofização, contaminação dos lençóis aquáticos) e no solo. Todavia, esses resíduos podem ser fonte de nutrientes com elevado valor biológico e geralmente são utilizados para produção de ração animal, em curtumes vestuário, fertilizantes, adubos e pouco aproveitados para alimentação humana (BORDIGNON, 2010; SUCASAS et al., 2012).

A pele da tilápia é um resíduo rico em biomoléculas, como collagenases, pepsina, tripsina, quimotripsina. O colágeno da pele de tilápia caracteriza-se como um produto biodisponível, com bom rendimento após o processo de extração, pouco risco na transmissão de doenças e baixa toxicidade. Também é bastante aceito em diferentes culturas e religiões (OLIVEIRA et al., 2017).

Na indústria de alimentos, o colágeno de pele de tilápia destina-se principalmente à produção de gelatina. Mas, pode ser potencial utilizado na formulação de diversos outros

produtos devido a sua elevada viscosidade, força de gel, propriedades funcionais, capacidade de formar de biomoléculas e influenciar na elasticidade, na consistência e na estabilidade do produto. Em sua forma hidrolisada, o colágeno da pele da tilápia contém peptídeos bioativos que podem contribuir nas funções fisiológicas do organismo humano. Vislumbra-se ainda seu emprego como ingrediente na elaboração de novos produtos alimentícios e bebidas funcionais devido aos seus peptídeos bioativos que estão associados à qualidade nutricional. Também é possível empregá-lo em produtos biomédicos, como na produção de suturas, agentes hemostáticos, substituição e/ou regeneração tecidual, oxigenador de membrana e matrizes biodegradáveis (ALFARO, 2010; OLIVEIRA et al., 2017; HASHIM *et al.*, 2015).

Devido ao reaproveitamento de resíduos da filetagem da tilápia, ao potencial do colágeno hidrolisado da pele de tilápia para a indústria alimentícia e visando a geração de novos produtos alimentícios com reaproveitamento de resíduos e características tecnológicas inovadoras, se propôs utilizar o colágeno hidrolisado da pele da tilápia para a produção de esferas, tipo caviar.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Desenvolver um “caviar molecular” a base de colágeno hidrolisado de pele e caldo de resíduos de tilápia do Nilo, o CMT.

### **2.2 Específicos**

- Estudar a potencialidade funcional do colágeno de tilápia;
- Determinar uma formulação para o CMT que mantivesse as características sensoriais (formato, cor e cheiro) semelhantes a um caviar;
- Avaliar a percepção mercadológica e sensorial do caviar molecular desenvolvido;
- Identificar a composição centesimal do caviar molecular;
- Determinar as características tecnológicas do CMT;
- Estudar a vida de prateleira do CMT desenvolvido (aspectos microbiológicos e físico-químicos).

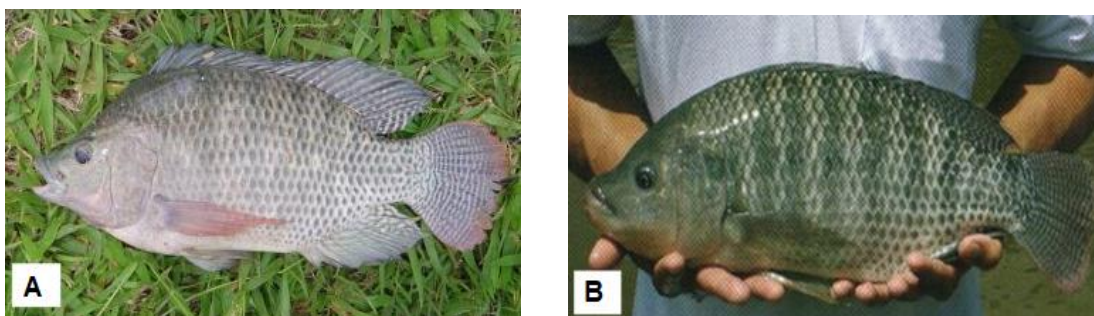
### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Tilápia do Nilo

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é um peixe do grupo dos Teleósteos, Ordem Peciforme, pertencente à Família Cichlidae, Subfamília Pseudocrenilabrinae. Originou-se da bacia do rio Nilo, no leste da África, encontrando-se distribuída em regiões tropicais e subtropicais, como em Israel, no Sudoeste Asiático e no Continente Americano (BACELAR *et al.*, 2020). As tilápias são consideradas como fontes de proteína animal que têm boa aceitação de mercado, boa conversão alimentar e representam 62,3% de toda a produção de peixes do Brasil (IBGE, 2021).

Entre as mais de 70 espécies de tilápias existentes, apenas quatro se destacam na aquicultura mundial, entre elas estão: a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) linhagens Bouaké e Chitralada; a tilápia-azul (*Oreochromis aureus*); a tilápia-de-Moçambique (*Oreochromis mossambicus*) e a tilápia-de-Zanzibar (*Oreochromis hornorum*). Além dessas quatro espécies, somam-se as suas variações puras e os híbridos, que apresentam cores que vão do branco ao vermelho, mais conhecidas como tilápias-vermelhas ou Saint Peter fish (ZIMMERMANN, 1999; MASSAGO, 2007).

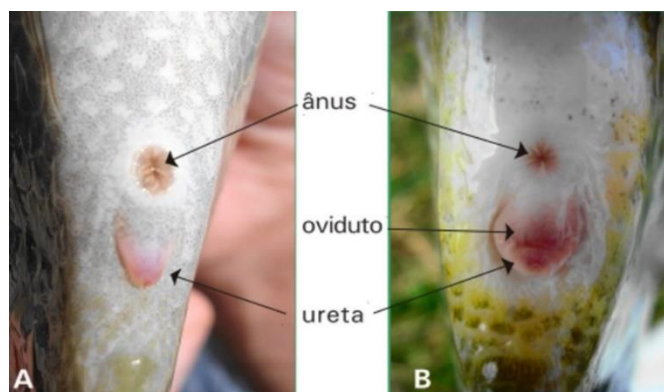
No Brasil, a tilápia-do-Nilo da linhagem Bouaké, proveniente da Costa do Marfim, foi introduzida na Região Nordeste em 1971 e, a partir daí, distribuiu-se pelo país, sendo cultivada da bacia do rio Amazonas até o extremo Sul (MASSAGO, 2007). As linhagens de tilápia Bouaké e Chitralada (Figura 1) destacam-se como as principais cultivadas no Brasil em viveiros e em tanques-rede (PEIXE BR, 2021).



**Figura 1** - Linhagens de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). A – Bouké; B – Chitralada; Fonte: compilação da autora<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Montagem a partir de imagens coletadas no site < <https://antherotec.com.br/especies-comerciais-de-peixes/> >. Acesso em: 02 fev. 2022.).

Adaptada e aclimatada aos ambientes lênticos, (rios, lagos, lagoas, lagoas, represas, açudes e reservatórios) a tilápia é um peixe ovíparo de alta prolificidade, podendo reproduzir até seis vezes ao ano. A maturidade sexual varia de seis a doze meses dependendo das espécies e fatores ambientais climáticos. Os machos são maiores que as fêmeas, apresentando

características anatômicas fenotípicas diferenciais visíveis, dimorfismo sexual (Figura 2). Apresentam maturação sexual tardia e maior peso corporal. Na maioria das espécies o macho faz o ninho, enquanto a fêmea faz a oviposição, incubação dos ovos e desenvolvimento larvário até a fase de alevino na boca (CAMOLEZI, 2020).



**Figura 2** - Dimorfismo sexual de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). A – Macho; B – fêmea. Fonte: compilação da autora. Montagem a partir de imagens coletadas no site < <https://criapeixe.blogspot.com/2013/06/reproducao-de-tilapias-oreochromis.html>>. Acesso em: 03 fev. 2022.

A produção da tilápia está presente na maioria dos estados brasileiros e destaca-se pela capacidade adaptativa à variadas condições de cultivo das diferentes regiões. Alimentam-se dos itens básicos da cadeia trófica e têm ciclo de engorda próximo de seis meses. Aceitam uma grande variedade de alimentos, respondem com eficiência à ingestão de proteínas de origem vegetal e animal e são bastante resistentes às doenças. Aceitam superpovoamentos e suportam baixos teores de oxigênio dissolvido e baixas salinidades. Desovam durante todo o ano (ABP, 2020; CHAMBO, 2018).

As características zootécnicas da tilápia, como rápido crescimento em sistema intensivo e rusticidade proporciona o grande interesse em seu cultivo e sua ampla comercialização. Os consumidores apreciam o filé de tilápia (Figura 3) pelo filé firme sem espinhos intramusculares em forma de “Y”, pelo baixo teor de gordura (0,9 g/100 g de carne), baixa caloria (172 kcal/100 g) e rendimento de filé de aproximado de 33,0 % a 37,0 % (SILVA, *et al.*, 2015; DUARTE, 2017; PINHEIRO, 2019).



**Figura 3**- Filés de tilápia (*Oreochromis* sp.) comercializados no Mercado do Peixe, Teresina-PI. Fonte: autora, 2021.

### 3.2 Os resíduos da produção de tilápia

Os resíduos orgânicos são gerados em todas as etapas produtivas, desde a reprodução, a alevinagem, a engorda, o processamento e a comercialização, até o prato final do consumidor. Mas os resíduos oriundos do processamento e da comercialização podem servir de matéria-prima para coprodutos industrializados de valor nutricional (VIDOTTI *et al.*, 2016).

Apesar do desenvolvimento mundial da tilapicultura, as indústrias filetadoras não aproveitam integralmente os resíduos da tilápia (Figura 4) para elaboração de coprodutos comestíveis, caracterizando de 62,5% a 66,5% de desperdício (BOSCOLO *et al.*, 2004; BACELAR *et al.*, 2020). Os resíduos são constituídos pelas sobras de carne aderidas na cabeça e ossos, pela pele, pelos ossos, escamas e vísceras (OETTERER, 2006; CHAMBO, 2018).



**Figura 4** - Resíduos da filetagem de destinados ao descarte no Mercado do Peixe (Teresina – PI). Fonte: autora, 2021.

A cabeça, os ossos com restos musculares e as vísceras constituem 54,0% do que seria descartado; a pele 10,0 %; as escamas 1,0 % e as aparas dorsais, ventrais e do corte em “v” do filé 5,0% (BOSCOLO *et al.*, 2004). A maioria desses resíduos é descartada de maneira inadequada, compondo sério problema ambiental.

Os peixes mortos naturalmente e as carcaças em decomposição, podem ser utilizados para elaboração de compostagem orgânica. Vísceras e ossos em bom estado são matéria-prima para produção de farinhas, óleos e silagem para alimentação animal (BANDEIRA *et al.*, 2017).

A farinha de peixe constitui uma das matérias-primas mais adequadas do ponto de vista nutricional para elaboração de rações destinadas a alimentação de organismos aquáticos (NRC, 2011). É composta por 70,0 % de proteína, 9,0 % de lipídios e 8,0 % de umidade (BLANCO *et al.*, 2007), sendo excelente fonte de proteína, lipídios e energia; possui componentes químicos solúveis em água. Trata-se de um forte atrativo e palatilizante em dietas para carnívoros; perfil adequado de aminoácidos essenciais; ácidos graxos da cadeia ômega-3, ácidos

eicosapentaenoicos (EPA) e docosahexaenoicos (DHA); uma boa fonte de vitaminas como riboflavina, niacina, vitaminas A e D; fonte de minerais, tais como, cálcio, fosforo, ferro, zinco, selênio e iodo (OLSEN *et al.*, 2012), podendo apresentar alta digestibilidade (NRC, 2011; PASTORE *et al.*, 2013)

O óleo de peixe pode ser extraído de peixes inteiros, vísceras, peles ou pelo processo de produção de farinha de peixe. É composto por 90% de lipídios neutros (triacilgliceróis, ácidos graxos livres) e lipídios polares (fosfolipídios, esfingolipídios e lipídios oxidados) (PRENTICE, 2011). É considerado a principal fonte de ácidos graxos polinsaturados  $\omega$ -3, especialmente eicosapentaenoico (EPA) e o ácido docosahexaenoico (DHA) (BLANCO *et al.*, 2007). Esses ácidos se destacam pelos benefícios que propiciam a saúde humana, sendo atualmente utilizados na formulação de alimentos e suplementos dietéticos, em especial para fins nutracêuticos (FAO, 2014).

A elaboração de produtos utilizando resíduos alimentícios tem aumentado ao longo dos anos. Por ser material de descarte possuem um menor custo, que podem se constituir em produtos de elevado valor nutricional em diferentes tipos de formulações (ABUD *et al.*, 2009). Transformar os materiais orgânicos coprodutos com valor agregado é a base para o desenvolvimento sustentável (LIMA, 2013). Logo, reduzir o uso inconsciente de matéria-prima para evitar desperdícios e promover a reciclagem dos resíduos são condições essenciais para a garantia de processos mais econômicos e com menor impacto ambiental.

Os resíduos de tilápia, se aproveitados de maneira correta e com uso de tecnologia são matérias-primas para a elaboração de produtos secundários de alta qualidade nutricional. Podendo assim, contribuir para resolver problemas de saúde pública, como a má nutrição, a carência ou deficiência de proteínas nas dietas alimentares, ou na redução dos impactos negativos gerados pelo descarte no meio ambiente (PIRES *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2017).

A musculatura aderida aos ossos em bom estado pode ser mecanicamente separada para a fabricação de hidrolisados proteicos, hambúrgueres e empanados (VIDOTTI, *et al.*, 2016).

Outro subproduto da filetagem, de valor comercial e biológico, é a pele. Ela já vem sendo utilizada na produção de couro e gelatina, mas tem potencial clínico no fabrico de biomateriais utilizáveis na bioengenharia, como o biocurativo para queimaduras em pele humana (LIMA JUNIOR *et al.*, 2017).

Desta forma, promover a utilização de novas tecnologias para agregar valor à pele da tilápia, principalmente ao colágeno presente nela significa contribuir para que os recursos ambientais sejam utilizados responsavelmente e em todo seu potencial para a geração de renda e alternativa para a manutenção da saúde humana.



### 3.3 O colágeno

O colágeno é uma proteína nutricional fibrosa de origem animal que tem a função de auxiliar na manutenção das estruturas orgânicas sendo benéfica para os ossos, músculos, tendões, cartilagens, veias, pele e dentes. Seus componentes são a base de aminoácidos, glicina, prolina, lisina, hidroxilisina, hidroxiprolina e alanina. Forma o principal tipo de fibra extracelular, sendo a proteína corporal mais abundante no organismo animal representando aproximadamente 25% a 30%. Está presente desde os invertebrados mais primitivos, como as esponjas, até o homem (CRUZ, 2021).

As fibrilas de colágeno são formadas por meio da polimerização de unidades moleculares do tropocolágeno que é constituído por três cadeias polipeptídicas que estão organizadas em tríplice hélice e agrega-se em microfibrilas, as quais se juntam para formar fibrilas, nos colágenos tipo I, II e III. Nos tipos I e III, essas fibrilas formam as fibras (CHAMBO, 2018).

O colágeno possui uma estrutura molecular relativamente simples e não é solúvel em água. Suas proteínas formam agregados supramoleculares (fibrilas, filamentos ou redes), sozinhas ou em conjunto com outras matrizes extracelulares. Insolúvel em água devido a grande quantidade de aminoácidos hidrofóbicos da proteína, possui coloração branca, opaca e apresenta propriedades, mecânicas singulares e é quimicamente inerte (SILVA *et al.*, 2012).

Existem diferentes tipos de colágeno, os quais variam em composição, comprimento e estrutura molecular. Já foram identificados mais de 20 tipos de colágenos geneticamente diferentes, sendo o tipo I o mais comum, estando presente na pele, tendões, cartilagens e ossos (ALVES *et al.*, 2015).

Dentre as aplicações de colágeno na saúde humana destaca-se a contribuição da integridade estrutural da matriz extracelular. Ela atua favorecendo a fixação das células e preservando as propriedades mecânicas e químicas da cartilagem. Nesse sentido, mantém a estabilidade e regeneração da cartilagem, principalmente dos aminoácidos glicina e prolina essenciais. Para preservação dessas características a ingestão de 10mg diários tem mostrado resultados significativos e uma melhoria da circulação sanguínea e do controle de doenças associadas, como hipertensão arterial, gastrite e diabetes tipo II (SILVA *et al.*, 2012).

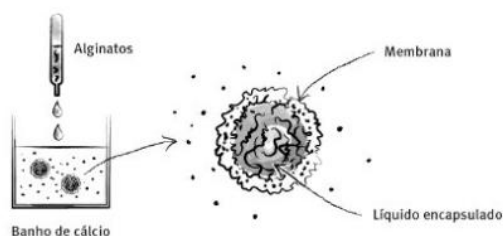
Outros benefícios do consumo de colágeno, segundo Cruz (2021) e Germano (2016) são: resistência e elasticidades dos tecidos afetados pelo processo de envelhecimento, reumáticos ou não; prevenção e tratamento de patologias degenerativas que afetam os ossos, os ligamentos, os músculos e os tendões; melhora da elasticidade dos tecidos, prevenindo e tratando as doenças reumáticas em diferentes articulações; hidratação do corpo; e fortalecimento das articulações.

Conforme aumenta a longevidade humana, cresce preocupação com a qualidade de vida, o que tem levado o consumidor a procurar e ingerir produtos que melhorem suas condições de saúde e previnam seus sinais de envelhecimento, principalmente aqueles associados à pele. Assim, tem-se buscado cada vez mais estudar o colágeno para a promoção da saúde humana (BOMBANA *et al.*, 2019; ADDOR, 2011). A pele da tilápia é uma importante fonte de colágeno. Na camada mais externa da derme profunda há fibras colágenas horizontais e verticais (perpendiculares à superfície da pele), e na interna, fibras horizontais compactadas e espessas (ALVES *et al.*, 2015; LIMA JUNIOR *et al.*, 2017). Estudos histológicos da pele da tilápia demonstraram que o colágeno, ali presente, pode compor biomateriais, devido à sua característica de orientar e de definir a maioria dos tecidos em regeneração, além de possibilitar biodegradabilidade (ALVES *et al.*, 2015).

O colágeno da pele da tilápia possui grande quantidade de grupos reativos, como aminas, ácidos carboxílicos e hidroxilas alcoólicas, que possibilitam alterações químicas do tecido e aumenta sua adaptação aos outros tecidos. Outra vantagem é que o colágeno tipo I de peixes tropicais, como a tilápia, possui temperatura de degradação superior à temperatura corporal dos mamíferos o que favorece seu uso na medicina regenerativa. Estudos mostram que, nesse aspecto, o colágeno tipo I derivado da tilápia possui um grande potencial de uso clínico, podendo ser comparado, inclusive, aos materiais em utilização, derivados de mamíferos (POON, 2015).

### 3.4 O processo de esferificação

A esferificação é uma das técnicas mais utilizadas na Gastronomia molecular que consiste transformar um líquido em uma esfera “sólida” com o líquido base no seu interior. Para isso, adiciona-se alginato de sódio ao líquido escolhido. A mistura é submersa, normalmente por gotejamento, numa solução rica em cálcio formando-se uma película gelificada. A solução de alginato endurece na presença dos íons de cálcio, e se gelifica na camada superficial (Figura 5) (GIL, 2010).

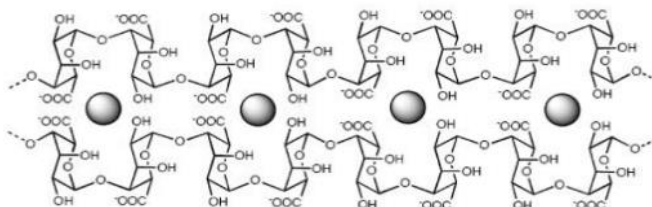


**Figura 5** – Processo de encapsulação direta. Fonte: Haumont (2018).

O alginato de sódio utilizado experimentalmente apresenta-se, à temperatura ambiente, na forma de pó branco – amarelado. É solúvel em água, a quente ou a frio, sendo, no entanto,

necessário agitar fortemente para que se dissolva. Forma uma solução coloidal viscosa. O cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) é um sal que se apresenta, à temperatura ambiente, na forma de um sólido granulado branco solúvel em água (GIL, 2010).

O alginato de sódio é constituído por cadeias poliméricas individualizadas, associadas a íon de sódio. A propriedade de gelificação do alginato na presença de cátions bivalentes é útil na formação da película gelificada. Quando a solução de alginato de sódio é misturada com a solução aquosa de cloreto de cálcio, os íons de sódio são substituídos pelos íons de cálcio. Para cada íon cálcio que entra para se ligar às cadeias de alginato saem dois íons de sódio. Esta troca de íons tem como consequência a formação de cadeias que antes estavam individualizadas e passaram a estar associadas duas a duas, entre si, por um íon de cálcio (Figura 6). O polímero resultante é, assim, mais denso e mais duro (HALMONT, 2018; WALDMAN *et al.*, 1998).



**Figura 6** - Formação do gel de alginato: ligação entre as cadeias homopoliméricas através dos íons cálcio situados entre os grupos de carga negativa. Fonte: Gil (2010).

O sistema gelificado forma “pérolas” recheadas de líquido que podem ser confundidas com ovos de peixe e consideradas, a depender da composição da formulação, um substituto de caviar. Uma vez formadas, são estáveis e termo irreversíveis. E quanto mais tempo as esferas ficarem mergulhadas na solução de cloreto de cálcio, maior será a espessura da película externa, uma vez que o líquido no interior vai reagindo com o cálcio e gelificando. Esse processo é irreversível (SESAL, 2008).

## REFERÊNCIAS

- ABUD, A. *et al.* Incorporação da farinha de resíduo do processo de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.
- ADDOR, F. A. S. A. Abordagem nutricional do envelhecimento cutâneo: correlação entre os efeitos em fibroblastos e os resultados clínicos. **Surgical and Cosmetic Dermatology**, v. 3, n. 1, p. 12-16, 2011.
- ALFARO, A.T. Otimização das condições de extração e caracterização da gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis urolepishornorun*). Tese: (Tese de doutorado). **Universidade Federal de Pelotas**, Pelotas, RS, Brasil, 2010.
- ALVES, A. P. N. N. *et al.* Avaliação microscópica, estudo histoquímico e análise de propriedades tensiométricas da pele de tilápia do Nilo. *Rev Bras Queimaduras*, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PEIXES. **Anuário Brasileiro da Piscicultura Brasileira**, 2020.
- BACELAR, R.G.A. *et al.* Utilização de resíduos de filetagem de tilápia na tecnologia de alimentos: uma revisão. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, volume22, nº2, 2020.
- BANDEIRA, M. da G. A.; NASCIMENTO, J. S. Estudo prospectivo relativo à atividade da tilápia para a indústria de alimentos no período de 2006 a 2016. **Cad. Prospec.**, Salvador, v. 10, n. 3 p. 552-562, jul./set. 2017.
- BLANCO, M. *et al.* Towards sustainable and efficient use of fishery resources: present and future trends. **Trends in Food Science & Technology, Kidlington**, v. 18, n. 1, p. 29-36, 2007.
- BOMBANA, V.B. *et al.* Uso do colágeno hidrolisado na prevenção do envelhecimento cutâneo. **PERSPECTIVA**, Erechim. v. 43, n.161, p. 101-110, mar., 2019.
- BORDIGNON, A. C. Caracterização da pele e da gelatina extraída de peles congeladas e salgadas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia). Centro de Ciências Agrárias, **Universidade Estadual de Maringá**, 2010.
- BOSCOLO, W. R. *et al.* parent digestibility of energy and protein of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and corvina (*Plagioscion squamosissimus*) by-product meal, and canela crayfish (*Macrobrachium amazonicum*) meal for Nile. **Rev. Bras. Zootecnia**, fev. 2004.
- CAMOLEZI, F. L. Construction of na alkaline phosphatase-liposome system: a tool for biomineralizatio study. **The international Journal of biochemistry & cell biology**. v.134, 2020.
- CHAMBO, A. P. S. Aproveitamento do resíduo de filetagem da tilápia do Nilo para produção de farinhas com potencial aplicação na alimentação humana. 2018. [xiv], 80 f. Tese (doutorado em Zootecnia). **Universidade Estadual de Maringá**, Maringá, 2018.

CRUZ, D.D.S.D. **Uso de colágeno no tratamento de doenças osteoarticulares: uma revisão integrativa.** Monografia (Graduação em farmácia) - Centro Universitário AGES, Bahia, 2021.

DUARTE, F.O.S. Caracterização da carne da tilápia do Nilo (*Oreochromis Niloticus*) submetida a dietas suplementadas com óleo de peixe. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2017

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges.** FAO: Rome, 2014.

GIL, M. J. G. M. Gastronomia Molecular: uma abordagem de investigação para alunos do Básico e Secundário. Dissertação (Mestrado em Química Industrial). **Universidade da Beira Interior** – UBI, Covilhã, 2010.

GERMANO, Maria da Conceição Matos, et al. Colágeno e os benefícios para pele. X Mostra Científica da Farmácia, 10., 2016, Quixadá. Anais. Quixadá: Centro Universitário Católica de Quixadá, 2016.

HALMONT, R. Um químico na cozinha: a ciência da gastronomia molecular. **Zahar**, 2018.

HASHIM, P., MOHD RIDZWAN, M.S., BAKAR, J. & MAT HASHIM, D. Collagen in food and beverage industries. **International Food Research Journal**, vol.22: 1-8. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Comunicado Técnico Edição 30/2021, 2021.

LIMA JUNIOR, E. M. L. *et al.* Uso da pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*), como curativo biológico oclusivo, no tratamento de queimaduras. **Revista brasileira de queimaduras.** Vol.16, 2017.

LIMA, L. K. F. de. Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado. **Embrapa Pesca e Aquicultura.** Palmas, 2013.

MASSAGO, H. **Desempenho de alevinos de quatro linhagens da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e análise da variabilidade genética pelos marcadores RAPD.** Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL- NRC –. Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, 2011.

OLIVEIRA, V. de M. *et al.* Colágeno: características gerais e produção de peptídeos bioativos - uma revisão com ênfase nos subprodutos do pescado. **ActaFish**, pág. 56-68, 2017.

OETTERER, M. ARCE, M. A. B. SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos.** E. Manole, São Paulo, 2006.

PASTORE, A. *et al.* Frataxina: uma proteína em busca de uma função. **Journal Neurochemistry**, 2013.

PEIXE BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2021. Associação Brasileira da Piscicultura, <https://www.peixebr.com.br/anuario-2021>.

PIRES, D.R. *et al.* Espécies de pescado subexploradas e seu potencial para elaboração de subprodutos com valor agregado. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pag. 148 - 157, 2014.

PINHEIRO, Y. C. Avaliação física de filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*). Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

POON, F.; KANG, S.; CHIEN, A. L. Mechanisms and treatments of photoaging. Photodermatology, **Photoimmunology & Photomedicine**, v. 31, n. 2, p. 65-74, 2015.

SESAL. Tecnologia aplicada a la cocina”. **Sesal**, 2008. [http://www.sesal.org/documents/CASTELLS\\_5ª\\_reunião.pdf](http://www.sesal.org/documents/CASTELLS_5ª_reunião.pdf), consultado em 25/05/2022.

SILVA, Tatiane Ferreira, PENNA, Ana Lúcia Barretto. Colágeno: Características químicas e propriedades funcionais. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, v. 71, n 3, p.-530-9, 2012.

SILVA, E. V.C.da. Otimização das condições de extração de gelatina de pele de peixes amazônicos por diferentes métodos. Tese de doutorado em Ciências e Tecnologia de alimentos. **Universidade Federal do Pará**, 2015.

SOUZA, N.E. *et al.* Supplemental dietary flaxseed oil affects both neutral and phospholipid fatty acids in cultured tilapia. **European journal of lipid science and technology**, 110: 707-713, 2017.

SUCASAS, L. F. de. A.; OETTERER, M.; BORGHESI, R. Aproveitamento de resíduos reduz desperdícios e poluição ambiental. **Visão agrícola**. jul.-dez., 2012.

TEIXEIRA, S. Por que cultivar tilápia-do-Nilo nas pisciculturas?. CPT, São Paulo, 2022. Acesso em 01/02/2022. <https://www.cpt.com.br/dicas-cursos-cpt/por-que-cultivar-tilapia-do-nilo-nas-pisciculturas>

VIDOTTI, R. M. *et al.* Resíduos orgânicos gerados na piscicultura. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 13, n. 2, Jul-Dez 2016.

ZIMMERMANN, D. E. **Fundamentos psicanalíticos: teoria, técnica e clínica: uma abordagem didática**. Artmed, Porto Alegre, 2007.

WALDMAN, A. S. *et al.* The Alginate Demonstration: Polymers, Food Science, and Ion Exchange”. **Journal of Chemical Education**, 75, 1998.

## **CAPÍTULO 1**

### **ARTIGO CIENTÍFICO**

**Versão aceita e publicada pela revista Research, Society and Development**

BRANDÃO, T. M.; LIMA, M. A. de; RODRIGUES, L. L.; BACELAR, R. G. A.; COSTA, L. M.; COSTA, A. P. R.; SILVA, R. A. da; MURATORI, M. C. S. Functional Properties of Tilapia Collagen, a Systematic Review. **Research, Society and Development**. v.9, n. 12, 2020.

**Functional Properties of Tilapia Collagen, a Systematic Review**

**Propriedades Funcionais do Colágeno de Tilapia, uma Revisão Sistemática**

**Propiedades funcionales del colágeno de tilapia, una revisión sistemática**

Received: 10/11/2020 | Reviewed: 10/14/2020 | Accept: 12/16/2020 | Published: 12/19/2020

Tatiane Meneses Brandão

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0825-3227>

Universidade Federal do Piauí, Brazil

E-mail: [tatianembrandao@gmail.com](mailto:tatianembrandao@gmail.com)

Michele Alves de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4956-2667>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brazil

E-mail: [miches91@hotmail.com](mailto:miches91@hotmail.com)

Larissa Lages Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1702-1428>

Universidade Federal do Piauí, Brazil

E-mail: [larisalages@gmail.com](mailto:larisalages@gmail.com)

Rafael Gomes Abreu Bacelar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4525-4480>

Universidade Federal do Piauí, Brazil

E-mail: [rafael.bacelar@hotmail.com](mailto:rafael.bacelar@hotmail.com)

Luciana Muratori Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9453-8853>

Universidade Federal do Piauí, Brazil

E-mail: [luciana.muratori@hotmail.com](mailto:luciana.muratori@hotmail.com)

Amilton Paulo Raposo Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1966-913X>

Universidade Federal do Piauí, Brazil



E-mail: [amilfox@uol.com.br](mailto:amilfox@uol.com.br)

Robson Alves da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4530-8370>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brazil

E-mail: [robson@ifpi.edu.br](mailto:robson@ifpi.edu.br)

Maria Christina Sanches Muratori

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4569-0995>

Universidade Federal do Piauí, Brazil

E-mail: [chrismuratori@uol.com.br](mailto:chrismuratori@uol.com.br)

## **Abstract**

This systematic review aimed to list the functional properties attributed to collagen obtained from tilapia in scientific studies. The results showed that the antioxidant property is related to the form in which the collagen is presented and the method of antioxidant activity evaluation. It was observed a greater antioxidant activity in the collagen hydrolysate extract obtained from the skin, which plays an important role in the skin chronological aging and in the inhibitory capacity of the photoaging. The functional properties of tilapia collagen hydrolysate should be the object of future analysis in order to complement this research, before integrating them into the list of food or ingredients applicable to the food industry. Keywords: Antiaging; Antioxidant; Food; Hydrolysate; Skin.

## **Resumo**

Esta revisão sistemática teve como objetivo listar as propriedades funcionais atribuídas ao colágeno obtido da tilápia em estudos científicos. Os resultados mostraram que a propriedade antioxidante está relacionada à forma como o colágeno se apresenta e ao método de avaliação da atividade antioxidante. Foi observada uma maior atividade antioxidante no extrato hidrolisado de colágeno obtido da pele, que desempenha um papel importante no envelhecimento cronológico da pele e na capacidade inibitória do fotoenvelhecimento. As propriedades funcionais do hidrolisado de colágeno de tilápia devem ser objeto de análises futuras de forma a complementar esta pesquisa, antes de integrá-las à lista de alimentos ou ingredientes aplicáveis à indústria alimentícia.

**Palavras-chave:** Antienvhecimento; Antioxidante; Alimentos; Hidrolisado; Pele.

## **Resumen**

Esta revisión sistemática tuvo como objetivo enumerar las propiedades funcionales atribuídas al colágeno obtenido de la tilapia en estudios científicos. Los resultados mostraron que la propiedad antioxidante está relacionada con la forma en que se presenta el colágeno y con el método de evaluación de la actividad antioxidante. Se observó una mayor actividad antioxidante en el extracto de colágeno hidrolizado obtenido de la piel, que juega un papel importante en el envejecimiento cronológico de la piel y en la capacidad inhibidora del fotoenvejecimiento. Las propiedades funcionales del hidrolizado de colágeno de tilápia

deberían ser objeto de análisis futuros para complementar esta investigación, antes de integrarlas en la lista de alimentos o ingredientes aplicables a la industria alimentaria.

**Palabras clave:** Anti-envejecimiento; Antioxidante; Alimento; Hidrolizado; Piel.

## 1. Introduction

Over the years, consumers have become more concerned with including healthy food in their diet. Their main goal is to improve quality of life, prevent non-transmissible chronic diseases, and even contribute to esthetic condition. Such interest leads to an increase in the demand for foods with functional properties.

Functional foods contain one or more ingredients with a positive effect on health beyond basic nutrition when consumed on a regular basis as part of a diversified diet. One of these ingredients is the collagen, which plays an important role in the structural integrity of the tissue where it is present (Bordignon, 2010).

Collagen, the most abundant protein in mammals, is the main fibrous component of bone, tendon, cartilage, vein, skin, tooth, muscle, and cornea of the eyes (Silva & Penna, 2012). Campos (2008) and Bordignon (2010) stated that collagen is a structural protein, representing nearly 30% of total protein in the animal body. Collagen is made up of three alpha polypeptide chains with over one thousand amino acids organized in a triple-helix structure. This distribution enables several types of bonds and countless practical application in the foods, cosmetic, and pharmaceutical industry.

Silva and Penna (2012) stated that the usage of collagen in foods as a functional ingredient is due to its emulsifying, foaming, colloids stabilizing, biodegradable layer forming, and microencapsulating properties. Moreover, the antioxidant activity of the collagen peptides has been widely demonstrated in several oxidative systems (Gómez-Guillén et al., 2011). It has been observed that the bioactive collagen peptides are able to eliminate free radical, prevent lipid oxidation, act as chelating agents to assist metal transitions, as well as act as antimicrobial, antioxidant, antihypertensive, antiproliferative, antidiabetic, antithrombotic, opioids agonist, anticancerogenic, and anticoagulant agents (Ennaas et al., 2016, Ferraro, Anton & Santé-Lhoutellier, 2016, Kim & Venkatesan, 2014).

There are several organisms from which collagen can be obtained, for example fish. Fish has a significant economic importance because of its high availability, small risk of disease transmission, no religious barrier and toxicity, and the high yielding collagen in the extraction process (Senaratne, Park & Kim, 2006, Krishnamoorthi et al., 2017). In fact, tilapia (*Oreochromis sp.*) is a fish which has been widely studied for isolation and extraction of collagen.

Tilapia is a large genus of oreochromine cichlids and is widely distributed in tropical and subtropical regions, such as Israel, southeastern Asia, and America (Ramos, VidottoMagnoni & Carvalho, 2008). It is largely cultivated due to its fast reproduction and growth rate, excellent adequacy to the production systems, and high palatability (Bordignon, 2010, Fitzsimmons, 2000).

Due to its importance in the fishing process and to the costumers, this systematic review aimed to list the function properties attributed to the collagen obtained from tilapia in scientific studies.

## **2. Methods**

This research followed the principles of a systematic review where the following criteria were considered: definition of the guiding question; the search for evidence in different databases; delimitation of the research period; and the inclusion and exclusion criteria (MENEZES, 2011).

### **2.1 Criteria for the selection of articles**

The guiding question, the databases and the research period. For the development of this systematic review, we sought to answer the following guiding question: Can Tilapia collagen be considered a food with functional properties? From this questioning, the search for documents related to the topic in seven databases was used as a collection instrument: PubMed, EMBASE, MEDLINE, LILACS, Web of Science, SCIELO and Science direct. And the research took place in the period between May 1, 2019 and June 30, 2019.

### **2.2 Inclusion and exclusion criteria**

Original articles, published in English and Portuguese, using quantitative instruments were selected. When searching for articles, the following terms in English were used: “collagenoftilapiaandfood” and “collagenotilapiaandfoodandfunctional”, and Boolean operator "and" to refine the data.

As inclusion criteria of the research, full articles were used, published in the last six years (from 2014 to 2019) and that reported some functionality to the Tilapia collagen. And as exclusion criteria, articles that did not mention in the title, abstract or text the subject addressed in this review and the duplicates were removed from the research.

These criteria were identified in the following research stages:

Stage 1: Titles and abstracts were reviewed in order to determine eligibility. Duplicated results and studies that did not meet the inclusion criteria were removed.

Stage 2: Selected studies were fully reviewed. Studies assessing the functional activity of tilapia collagen were selected.

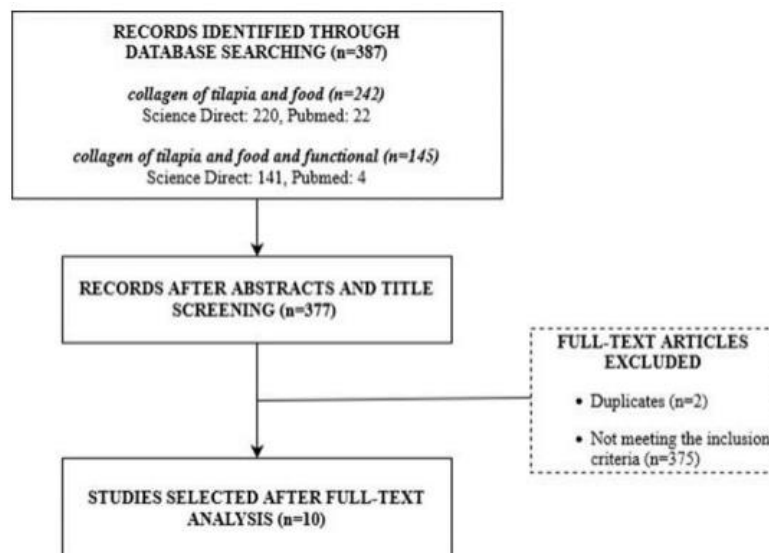
The studies that met all the inclusion criteria discussing the proposed topic were selected and analyzed through a classification protocol created for this study. The following aspects were registered: authors, country, objective, and results.

### 3. Results and discussion

The search for articles that characterize the functional properties of Tilapia collagen is essential for making decisions related to innovation and helping to map the gaps for the scientific and technological development of this product. According to the criteria established in this study, in the last six years, a total of 387 publications were found, as shown in Figure 1.

The separate search of the term “tilapia collagen and food” retrieved 242 papers. 220 were retrieved using Science Direct and 22 using PubMed. Of these, seven papers met the inclusion criteria and were used in this review. The search of the term “tilapia collagen and food and functional” resulted in 145 studies. 141 were found using Science Direct and 4 using PubMed. Of these, three papers were selected for this review. No articles were found using EMBASE, MEDLINE, LILACS, Web of Science, and SCIELO databases. Therefore, ten studies in total were identified as eligible for inclusion in this systematic review (Figure 1).

**Figure 1. Flow diagram for selection of articles considering inclusion and exclusion criteria.**



Source: Own authorship (2019).

The studies included were limited by year (2019-2014). Two studies were published in 2019, two in 2018, three in 2017, one in 2016, one in 2015, and one in 2014. Data regarding author, year, country, effect evaluated, and results are listed in Table 1.

**Table 1. Overview of the included studies related to the functional properties of collagen obtained from tilapia.**

Study	Country	Effect evaluated	Main results
MEDINA-MEDRANO et al., 2019 <sup>[12]</sup>	Mexico	Antioxidant capacity of collagen hydrolysate obtained from skin and gills of tilapia.	Higher antioxidant activity for the collagen hydrolysate extract obtained from the skin of tilapia.
GÓMEZ et al., 2019 <sup>[13]</sup>	Colombia	Antioxidant capacity of collagen hydrolysate obtained from the viscera of tilapia	Suppression of intracellular reactive oxygen species accumulation induced by H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
WANG et al., 2018 <sup>[14]</sup>	China	Chronological aging of skin capacity using collagen hydrolysate obtained from the skin of tilapia.	Antioxidant capacity, linoleic acid peroxidation, improvement on the color, luster, thickness of hair and reduction of wrinkles formation.
QINGYU MA et al., 2018 <sup>[15]</sup>	China	Inhibitory capacity of photoaging of collagen hydrolysate obtained from the skin of tilapia.	Strong hydroxyl radical scavenging activity, protection of collagen synthesis in under UVB irradiation, oxidative stress inhibition.
CHOONPICHARN et al., 2016 <sup>[16]</sup>	India	Antioxidant capacity of bioactive peptides obtained from the skin of tilapia.	Strong free radical scavenging by the trypsin B fraction.
WANG et al., 2017 <sup>[17]</sup>	China	Skin antiaging effect with the use of collagen hydrolysate obtained from the skin of tilapia.	Increase in the antioxidant enzymes of the skin, improvement on the color, luster, thickness of hair, improvement on the epidermis structure and distribution of collagen fibers.

LEE et al., 2017 <sup>[18]</sup>	Korea	Effect of Subcritical water-hydrolyzed fish collagen <i>peptide (SWFCP)</i> of tilapia on the adipogenic differentiation of 3T3-L1 preadipocytes.	Inhibition of lipid accumulation during the adipogenic differentiation of 3T3-L1 preadipocytes; suppression of accumulation of lipid vacuoles in hepatocytes, reduction in adipocytes size; reduction in levels of total cholesterol, triglycerides, low-density lipoprotein; and increase in serum high-density lipoprotein.
THUANHTHONG et al., 2017 <sup>[19]</sup>	Thailand	ACE-inhibitory activity of collagen hydrolysate peptides obtained from the skin of tilapia.	Low molecular weight ACE-inhibitory peptides.
HUANG et al., 2015 <sup>[20]</sup>	Taiwan	Extracting bioactive peptides from the structure and the skin of tilapia.	Proteins precursor of antioxidant peptides, peptides with ACE-inhibitory, antithrombotic, and anti-amnesic properties.
LIANG et al., 2014 <sup>[21]</sup>	China	Antioxidant capacity of collagen hydrolysate obtained from the skin of tilapia.	Antioxidant capacity.

Source: Own authorship (2019).

Several studies point out the antioxidant activity of tilapia collagen obtained from different parts of the animal, such as skin, gills, and viscera. They also demonstrate that the antioxidant property is related to the form in which the collagen is presented (hydrolyzed or not) and to the type of antioxidant activity evaluation (DPPH, ABTS, TAC, and FRAP). For instance, Medina-Medrano et al. (2019) evaluated the antioxidant capacity of the collagen hydrolysate (CH) by pepsin and the non-hydrolyzed collagen from the gills and skin of tilapia using DPPH, ABTS, TAC, and FRAP methods. They observed that the NHC did not present free radical activity, while the HC obtained from the skin had higher extraction yield, free radical scavenging activity, and higher chelation of pro-oxidant metal ions.

Gómez et al. (2019) reported that CH obtained from the viscera of the fish had an antioxidant activity (FRAP, TEAC, ORAC, and CBA). They also observed that, with a

degree of hydrolysis (DH) of 42.5%, the low molecular weight of peptides protects Caco-2 cells from oxidative stress induced by hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Moreover, they reported a decrease in the production of reactive oxygen species (ROS).

The antioxidant capacity of tilapia collagen was also assessed by Liang et al. (2014) in a study with simulated gastrointestinal digestion. They verified that the collagen can be digested almost completely in oligopeptides or amino acids lower surface hydrophobicity. Moreover, collagen could present high antioxidant properties against DPPH radical and linoleic acid peroxidation.

Wang et al. (2017) also assessed collagen activity under simulated gastrointestinal digestion and observed an increase in the collagen content and antioxidant activity in the skin of chronologically aged mice. They observed an improvement in the structure of the epidermis and dermis, density and distribution of collagen fibers and ratio of type I and type III collagen in a dose-dependent fashion. This shows positive influences of collagen matrix homeostasis in chronologically aged mice, since the ratio of type I and type III collagen gradually increases with aging.

Afterwards, it was observed that adding 5% and 10% of CH with the average molecular weight of 624.72 Da presented a protective effect on the chronologically aged skin of mice. Moreover, this administration significantly increased the collagen content, improved the color, luster, thickness of hair, prevented the loss of whisker and reduced the formation of wrinkles. Thus, the bioactive peptides of tilapia CH could be developed into new functional foods (Lee et al., 2017).

Huang et al. (2015) stated that the processing co-products from tilapia can be great sources of potential bioactive peptides. After isolation and hydrolysis of structural proteins from tilapia frame and skin using enzyme action tool (papain, bromelain, chymotrypsin C, ficain, pancreatic elastase, and proteinase K), they obtained peptides (mostly from glycoproteins) with ACE-inhibitory, antithrombotic and anti-amnesic properties. It was proposed that these peptides could be applicable to food, cosmetic and biomedical industry.

Bioactive peptides vary in size from 2 to 50 amino acids residues and present several biological functions or physiological effects, such as anti-hypertensive, antioxidant, immunomodulatory, antimicrobial, antithrombotic, prebiotic, opioid agonist, among others (Dias, 2010). These peptides are derived from a great number of proteins of bacterial, vegetal, and animal origin, such as milk, soy, chicken, and fish (Wang & De Mejia, 2005).

Choonpicharn et al. (2016) assessed the identification of bioactive peptides from

Oreochromis niloticus skin gelatin through trypsin hydrolysis. They identified two peptide sequences, GPEGPAGAR (MW 810.87 Da) and GETGPAGPAGAAGPAGPR (MW 1490.61

Da), with high radical scavenging (TEAC value of  $8.156 \pm 2.182$   $\mu\text{g}$  trolox/mg peptide) and ACE inhibitory ( $59.325 \pm 9.971\%$  inhibition) activities. Moreover, Qingyu Ma et al. (2018) observed that tilapia skin gelatin hydrolysates Leu-Ser-Gly-Tyr-Gly-Pro (LSGYGP) inhibited photoaging induced by ultraviolet B (UVB) in mouse embryonic fibroblasts (MEFs). In addition, it inhibited oxidative stress and regulated matrix metalloproteinase activity.

Furthermore, tilapia collagen peptides proved to be effective in obese mouse in several variables, such as body weight reduction, adipogenesis, inhibition of lipid accumulation during the differentiation of 3T3-L1 preadipocytes, suppression of lipidic accumulation, presence of palmitate in the hepatocytes vacuoles, reduction in total serum cholesterol and low-density lipoprotein, and increase in serum high-density lipoprotein (Doan et al. 2017).

Thuanthong et al. (2017) hydrolyzed (with pepsin and pancreatin) and lyophilized tilapia skin collagen using an enzymatic membrane reactor. They verified the effectiveness in the conversion process of collagen into low molecular weight peptides ACE-inhibitory hydrolysate, which can be used as ingredients in functional foods against moderate hypertension. Moreover, it can be used as a general supplement of peptides to prevent sarcopenia or improve recovery from physical performance.

It is worth noting that there are several evidences supporting the functional properties of collagen and its use for prevention of diseases and/or health promotion. On the other hand, Schadow et al. (2013) stated that, despite the therapeutically useful peptides of the CH, their biomedical properties must be thoroughly examined before being applied as safe and effective nutraceuticals in patients.

#### **4. Final Considerations**

The studies analyzed demonstrated that the functional properties of tilapia collagen, both in prevention of diseases and health promotion, rely on its form of presentation (hydrolyzed or not) and the tests system (in vitro or in vivo).

Regarding the clinical trials in vitro for the antioxidant activity, CH affects not only the free radical scavenging activity but also the chelation of pro-oxidant metal ions. On the other hand, non-hydrolyzed collagen presented only free radical scavenging property.

In addition to the oxidative stress protective effect, CH inhibits chronological



aging, cardiovascular diseases, thrombosis, amnesia, weight gain, adipogenesis, decreases cholesterol, triglycerides, blood pressure, sarcopenia, and improves physical performance.

Therefore, further study is needed to determine in depth the functional properties of tilapia collagen before embracing its development and application in the food industry.

Further studies are suggested to make it possible to reuse tilapia fillet residues in the preparation of different co-products, such as hydrolysates, which act in health promotion. This will imply, in the environment, a reduction of fillet waste discarded without treatment. To the economic sector, other possibilities of income. To the food sector, the elaboration of co-products with functional properties. And to research, greater knowledge about the hydrolysates of tilapia collagen.

## References

- Bordignon, A. C. (2010). Caracterização da Pele e da Gelatina Extraída de Peles Congeladas e Salgadas de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Dissertation, Universidade Estadual de Maringá). Retrieved from [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_o\\_bra=176199](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_o_bra=176199)
- Campos, D. M. (2008). Produção e Caracterização de Colágeno Tipo I e de Compósitos Hidroxiapatita-Colágeno para Regeneração Óssea (Dissertation, Universidade Federal do Rio de Janeiro). Retrieved from <http://www.metalmat.ufrj.br/index.php/br/pesquisa/producao-academica/-7/2008-1/412-389/file>
- Choonpicharn, S.; Tateing, S.; Jaturasitha, S.; Rakariyatham, N.; Suree, N. & Niamsup, H. (2016). Identification of Bioactive Peptide from *Oreochromis niloticus* Skin Gelatin. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (2): 1222–1229. doi:10.1007/s13197-015-2091-x
- Dias, G. M. P. (2010). Avaliação do Perfil dos Peptídeos Bioativos do Queijo Coalho Fresco Produzidos no Município de Cachoeirinha – PE (Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco). Retrieved from <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/2145>
- Doan, H. V.; Hoseinifar, S. H.; Dawood, M. A. O.; Chitmanat, C. & Tayyamat, K. (2017). Effects of *Cordyceps militaris* Spent Mushroom Substrate and *Lactobacillus plantarum* on Mucosal, Serum Immunology and Growth Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*, 70: 87-94. doi:10.1016/j.fsi.2017.09.002

- Ennaas, N.; Hammami, R.; Gomaa, A.; Bédard, F.; Biron, E.; Subirade, M.; Beaulieu, L. & Fliss, I. (2016). Collagencin, an Antibacterial Peptide from Fish Collagen: Activity, Structure and Interaction Dynamics with Membrane. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 473 (2): 642-647. doi:10.1016/j.bbrc.2016.03.121
- Ferraro, V.; Anton, M. & Santé-Lhoutellier, V. (2016). The “Sisters”  $\alpha$ -Helices of Collagen, Elastin and Keratin Recovered from Animal By-Products: Functionality, Bioactivity and Trends of Application. *Trends in Food Science and Technology*, 51: 65-75. doi: 10.1016/j.tifs.2016.03.006
- Fitzsimmons, K. Tilapia: (2000). The most important aquaculture species of the 21st century. In *Proceedings from the Fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture* (pp. 3-8). Manila: American Tilapia Association and ICLARM.
- Gómez-Guillén, M. C.; Giménez, B.; López-Caballero, M. E. & Montero, M. P. (2011). Functional and Bioactive Properties of Collagen and Gelatin from Alternative Sources. *Food Hydrocolloids*, 25 (8): 1813–1827. doi:10.1016/j.foodhyd.2011.02.007
- Gómez, L. J.; Gómez, N. A.; Zapata, J. E.; López-García, G.; Cilla, A. & Alegría, A. (2019). In-vitro Antioxidant Capacity and Cytoprotective/Cytotoxic Effects Upon Caco-2 Cells of Red Tilapia (*Oreochromis* spp.) Viscera Hydrolysates. *Food Research International*, 120: 52-61. doi:10.1016/j.foodres.2019.02.029
- Hartmann, R. & Meisel, H. (2007). Food-Derived Peptides with Biological Activity: from Research to Food Applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 18 (2): 163-169. doi:10.1016/j.copbio.2007.01.013
- Huang, B. -B.; Lin, H. -C. & Chang, Y. -W. (2015). Analysis of Proteins and Potential Bioactive Peptides from Tilapia (*Oreochromis* spp.) Processing Co-Products Using Proteomic Techniques Coupled with BIOPEP Database. *Journal of Functional Foods*, 19 (Pt A): 629- 640. doi:10.1016/j.jff.2015.09.065
- Kim, S.K. & Venkatesan, J. (2014). Introduction to Sea Food Processing By-Products. In Kim, S. K., (Eds.), *In Sea food Processing By-Products: Trends and Applications* (pp. 2– 9). v. 2. New York: Springer-Verlag New York.
- Krishnamoorthi, J.; Ramasamy, P.; Shanmugam, V. & Shanmugam, A. (2017). Isolation and partial characterization of collagen from outers kin of Sepiapharaonis (Ehrenberg, 1831) from Puducherry coast. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10: 39-45. doi:10.1016/j.bbrep.2017.02.006
- Lee, E. J.; Hur, J.; Ham, S. A.; Jo, Y.; Lee, S.; Choi, M. J. & Seo, H. G. (2017). Fish Collagen Peptide Inhibits the Adipogenic Differentiation of Preadipocytes and Ameliorates Obesity in High Fat Diet-Fed Mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104 (Pt A): 281-286. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.05.151

Liang, Q.; Wang, L.; He, Y.; Wang, Z.; Xu, J. & Ma, H. (2014). Hydrolysis Kinetics and Antioxidant Activity of Collagen Under Simulated Gastrointestinal Digestion. *Journal of Functional Foods*, 11: 493- 499. doi:10.1016/j.jff.2014.08.004

Ma, Q.; Liu, Q.; Yuan, L. & Zhuang, Y. (2018). Protective Effects of LSGYGP from FishSkin Gelatin Hydrolysates on UVB-Induced MEFs by Regulation of Oxidative Stress and Matrix Metalloproteinase Activity. *Nutrients*, 10 (4): 1-12. doi:10.3390/nu10040420

Medina-Medrano, J. R.; Quiñones-Muñoz, T. A.; Arce-Ortíz, A.; Torruco-Uco, J. G.; Hernández-Martínez, R.; Lizardi-Jiménez, M. A. & Varela-Santos, E. (2019). Antioxidant Activity of Collagen Extracts Obtained from the Skin and Gills of *Oreochromis* sp. *Journal of Medicinal Food*, 22 (7): 1-7. doi:10.1089/jmf.2019.0013

Menezes, A. M. B.; Macedo, S. E. C.; Noal, R. B.; Fiterman, J.; Cukier, A.; Chatkin, J. M. & Fernandes, F. L. A. (2011). Tratamento farmacológico da DPOC. *Jornal brasileiro de pneumologia*. 37 (4): 527-543. doi.org/10.1590/S1806-37132011000400016

Ramos, I. P.; Vidotto-Magnoni, A. P. & Carvalho, E. D. (2008). Influence of cage fishfarming on the diet of dominant fish species of a Brazilian reservoir (Tietê River, HighParaná River basin). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20 (3): 245-252.

Schadow, S.; Siebert, H. -C.; Lochnit, G.; Kordelle, J.; Rickert, M. & Steinmeyer, J. (2013). Collagen Metabolism of Human Osteoarthritic Articular Cartilage as Modulated by Bovine Collagen Hydrolysates. *PLoS One*, 8 (1): 1-9. doi:10.1371/journal.pone.0053955

Senaratne, L. S., Park, P. -J. & Kim, S. -K. (2006). Isolation and characterization of collagen from brown backed toadfish (*Lagocephalus gloveri*) skin. *Bioresource Technology*, 97 (2): 191–197. doi: 10.1016/j.biortech.2005.02.024

Silva, T. F. & Penna, A. L. B. (2012). Colágeno: Características químicas e propriedades funcionais. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 71 (3): 530-539.

Thuanthong, M.; De Gobba, C.; Sirinupong, N.; Youravong, W. & Otte, J. (2017). Purification and Characterization of Angiotensin-Converting Enzyme-Inhibitory Peptides from Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Skin Gelatine Produced by an Enzymatic Membrane Reactor. *Journal of Functional Foods*, 36: 243-254. doi:10.1016/j.jff.2017.07.011

Wang, L.; Jiang, Y.; Wang, X.; Zhou, J.; Cui, H.; Xu, W.; He, Y.; Ma, H. & Gao, R. (2018).

Effect of oral administration of collagen hydrolysates from Nile tilapia on the chronologically aged skin. *Journal of Functional Foods*, 44: 112-117. doi:10.1016/j.jff.2018.03.005

Wang, W. & De Mejia, E. G. (2005). A New Frontier in Soy Bioactive Peptides that May Prevent Age-related Chronic Diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 4: 63-78. doi:10.1111/j.1541-4337.2005.tb00075.x

Wang, Z.; Wang, Q.; Wang, L.; Xu, W.; He, Y.; Li, Y.; He, S. & Ma, H. (2017).

Improvement of Skin Condition by Oral Administration of Collagen Hydrolysates in Chronologically Aged Mice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (9): 2721-2726. doi: 10.1002/jsfa.8098