

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 14/02/2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Bioprospecção de compostos antioxidantes
na fauna acompanhante da pesca demersal**

Msc. Tavani Rocha Camargo

Jaboticabal, São Paulo

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

Bioprospecção de compostos antioxidantes na fauna acompanhante da pesca demersal

Msc. Tavani Rocha Camargo

Orientador: Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti

Tese apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Aquicultura do Centro de Aquicultura da
UNESP - CAUNESP, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutora.

Jaboticabal, São Paulo

2020

C172b Camargo, Tavani Rocha
Bioprospecção de compostos antioxidantes na fauna acompanhante da
pesca demersal / Tavani Rocha Camargo. – – Jaboticabal, 2020
x, 157 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de
Aquicultura, 2020
Orientadora: Wagner Cotroni Valenti
Banca examinadora: Adriano Marques Gonçalves, Juliana Antunes
Galvão, Pedro de Magalhães Padilha, Willian Fernando Zambuzzi
Bibliografia

1. Bycatch. 2. Hidrolisados proteicos. 3. Pesca de arrasto. 4.
Sustentabilidade. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

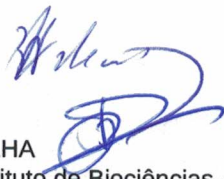
TÍTULO DA TESE: Brioprospecção de compostos antioxidantes na fauna acompanhante da pesca demersal

AUTORA: TAVANI ROCHA CAMARGO

ORIENTADOR: WAGNER COTRONI VALENTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. WAGNER COTRONI VALENTI
Centro de Aquicultura da UNESP / UNESP



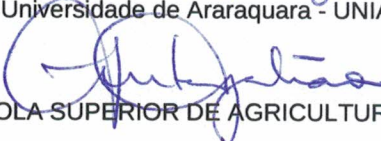
Prof. Assoc. PEDRO DE MAGALHAES PADILHA
Departamento de Química e Bioquímica / Instituto de Biociências - UNESP - Câmpus de Botucatu



Prof. Dr. ADRIANO MARQUES GONÇALVES
Departamento de Ciências Biológicas e da Saúde / Universidade de Araraquara - UNIARA - Araraquara



Professora Doutora JULIANA ANTUNES GALVÃO
Depto de Agroindústria Alimentos e Nutrição / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA



Prof. Dr. WILLIAN FERNANDO ZAMBUZZI
Depto. de Química e Bioquímica / IB/Botucatu - Unesp



Jaboticabal, 14 de fevereiro de 2020

Dedicatória

Aos pescadores de arrasto de camarão, pois sem eles essa tese não existiria. Em especial, eu dedico ao pescador Djalma Rosa. Fica aqui a minha eterna gratidão a você que me ensinou muito mais do que qualquer artigo científico.

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti pelos ensinamentos, atenção, apoio e dedicação. Sou grata pelo senhor estar presente na minha vida científica desde 2007 e ser esse exemplo de profissional. Obrigada pelo carinho. Serei eternamente sua filha científica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro (Processo 2016/11182-0; BEPE Processo 2018/18995-2). As duas bolsas de estudos foram essenciais para a execução do projeto e proporcionaram grandes oportunidades profissionais.

Aos professores e funcionários do Centro de Aquicultura da Unesp (CAUNESP) pela minha formação.

Aos integrantes do Setor de Carcinicultura pela amizade, ajuda e companheirismo nesses quatro anos de doutorado. Vocês fizeram tudo ficar mais leve. Em especial, agradeço ao Roberto Polachini, por todo o auxílio durante a realização desse trabalho.

Aos integrantes do projeto "Fauna Acompanhante" da Unesp Campus São Vicente. Em especial, agradeço à Profa. Dra. Tânia Costa, Prof. Dr. Leandro Mantovani, Prof. Dr. Wagner Vilegas e Dr. Marcelo Tangerina que me auxiliaram no início do doutorado com coletas, dicas e análises.

Ao Prof. Dr. Adilson Fransozo pelo auxílio na primeira saída de campo.

Ao Prof. Dr. Carlos Prentice, Dra. Meritane, Dra. Juliana, Msc. Michele e Dr. Juan, do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Rio Grande (FURG), pela ajuda nos processos de hidrólise enzimática. Obrigada por sempre estarem dispostos a ajudar.

Ao Prof. Dr. José Monserrat e ao pessoal do laboratório de Bioquímica Funcional de Organismos Aquáticos, da Estação Marinha de Aquicultura (EMA), por terem me ensinado a

arte das “substâncias antioxidantes”. Obrigada por abrir as portas do laboratório pra mim. Em especial, agradeço a Dra. Patrícia Ramos pela parceria e amizade que criamos.

Ao pessoal da Estação Marinha de Aquicultura (EMA), da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), por me receberem tão bem. Em especial, agradeço ao Prof. Dr. Paulo Abreu pelo carinho.

Ao Prof. Dr. João Martins Pizauro Jr. e ao pessoal (Adriano, Luiz Flávio, Rafael, Caroline e Gabriela) do Laboratório de Enzimologia Aplicada da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, Campus de Jaboticabal, por me ajudarem nas centrifugações e por me ensinarem mais sobre enzimas.

Ao Setor de Avicultura e ao Laboratório de Nutrição Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, Campus de Jaboticabal, pelas análises.

Ao Prof. Dr. Willian Zambuzzi e ao doutorando Célio Fernandes da Unesp Campus de Botucatu, pela parceria nas análises de viabilidade celular. Agradeço pela paciência em me explicarem todos os processos que realizamos e pelo carinho com que me receberam no laboratório.

Ao amigo Prof. Dr. Guilherme Nascimento pela ajuda nas análises estatísticas e pelas agradáveis conversas.

Ao Prof. Dr. Leonardo Susumu Takahashi pela ajuda na formulação da ração, pelas explicações e por ser tão gentil comigo.

Ao Prof. Dr. Adem Gharsallaoui e ao laboratório de Bioengenharia e Dinâmica Microbiana nas Interfaces de Alimentos (BIODYMA). Merci de m'avoir beaucoup appris et de m'avoir donné la meilleure et la plus difficile des expériences de ma vie. Je garderai toujours dans mon cœur le temps que j'ai vécu à Bourg en Bresse.

Às famílias Polano, Rocha e Abreu de Lima que sempre me apoiaram e estiveram comigo nesses quatro anos me dando todo amor do mundo.

Ao meu marido Victor Lima que viveu comigo intensamente os quatro anos de doutorado e manteve a minha saúde mental em dia para enfrentar os desafios de ser pós-graduanda no Brasil. Minha eterna gratidão por você estar ao meu lado.

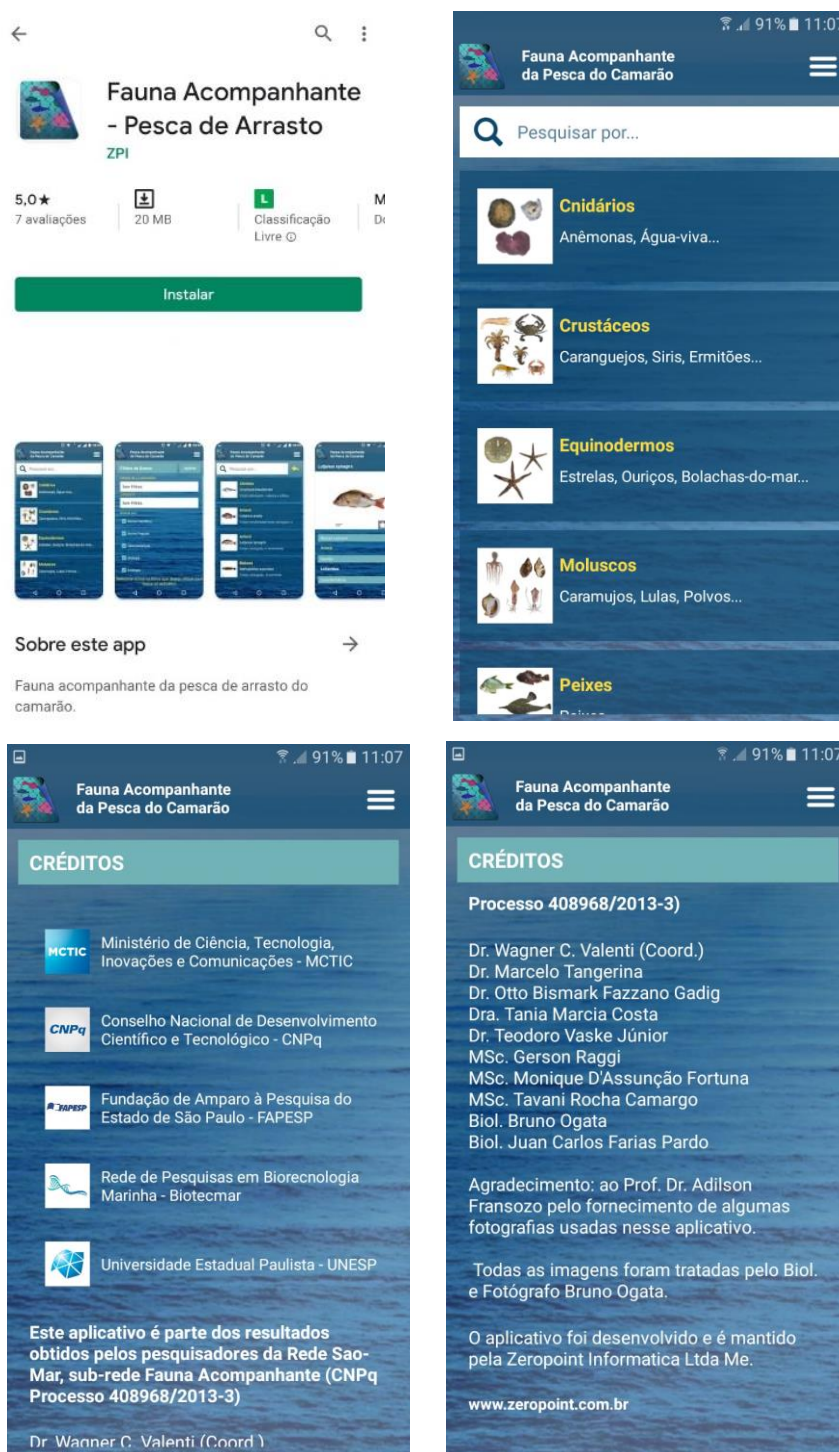
Sumário

Apresentação da tese.....	2
Resumo.....	5
Abstract.....	6
Introdução geral.....	7
Capítulo 1	
An overview of trawling and its bycatch in Brazil.....	19
Capítulo 2	
Discovery of the biological activity in the protein hydrolysate obtained from the bycatch of shrimp trawl fisheries.....	70
Capítulo 3	
Microencapsulation of protein hydrolysate from shrimp bycatch: preservation of the antioxidant activity.....	102
Capítulo 4	
Complexes coacervates for the preservation of the antioxidant activity in fish protein hydrolysates: a new use to bycatch in Brazil.....	126
Considerações finais.....	151

Apresentação da Tese

Esta tese insere-se dentro da rede de pesquisa em Biotecnologia Marinha “Rede Sao-Mar”, instituída pelo MCTI/CNPq (Processo #408968/2013-3) envolvendo a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Instituto de Biociências do câmpus do Litoral Paulista, São Vicente-SP, Instituto de Estudos Avançados do Mar - IEAMar, o Centro de Aquicultura - CAUNESP e a Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. O projeto “Fauna Acompanhante: um Universo Químico a ser Explorado”, vinculado à Rede SAO-MAR, tem como objetivos investigar quimicamente as espécies da fauna acompanhante da pesca do camarão no litoral paulista e avaliar/estudar o potencial das moléculas encontradas na fauna acompanhante. Em 2018, dentro do projeto, foi desenvolvido o aplicativo para celular, plataforma Androide, denominado “Fauna Acompanhante” (Registrado no INPI sob o nº. BR512019001402-2). O objetivo do aplicativo é possibilitar que pescadores, técnicos e a sociedade em geral conheçam as principais espécies da fauna acompanhante da pesca de arrasto do camarão. Seu acesso pode ser feito por meio dos seguintes passos: abra o aplicativo da Google Play Store no dispositivo Android. Utilize a caixa de pesquisa rápida e coloque as palavras “fauna acompanhante”. O nome do aplicativo deverá ser visualizado, bem como o ícone do mesmo e uma caixa verde com a palavra “Instalar”. Ao clicar em “Instalar”, aparecerá um ícone na barra de notificações do smartphone Android informando o início do download. Após ser instalado, o aplicativo poderá ser aberto diretamente da barra de notificações ou na gaveta de aplicativos do aparelho. As espécies que são capturadas acidentalmente estão separadas de acordo com o filo e subfilos. Ao clicar nas espécies é possível visualizar informações sobre o nome científico, a família a que pertence e a região de ocorrência.

Figura 1. Layout do aplicativo Fauna Acompanhante.



A temática da presente tese é de interesse mundial e atualmente inúmeros países utilizam a pesca de arrasto em plataformas continentais, sendo que a ação continuada desta pesca contribui para a diminuição da biodiversidade marinha. Assim, a extração de biomoléculas pode ser uma destinação sustentável para o aproveitamento do *bycatch*,

possibilitando a diminuição da pesca extrativista e gerando renda adicional aos pescadores por meio da venda tanto dos camarões quanto dos organismos atualmente rejeitados. Dessa forma, os objetivos principais da presente tese foram investigar a ocorrência de biomoléculas antioxidantes em hidrolisados obtidos dos animais da fauna acompanhante da pesca demersal e testar a hipótese de que a microencapsulação retém a atividade antioxidante dos hidrolisados. Foram escolhidos os quatro animais mais abundantes da fauna acompanhante no litoral de São Paulo: os peixes *Paralichthys brasiliensis* (maria luiza) e *Micropogonias furnieri* (corvina); o siri *Callinectes ornatus* (siri azul) e o caranguejo *Hepatus pudibundus* (siri-baú). Os trabalhos foram realizados com o apoio do Prof. Dr. José Monserrat, da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, do Prof. Dr. Willian Fernando Zambuzzi, da UNESP câmpus de Botucatu, e do Prof. Dr. Adem Gharsallaoui da Universidade de Lyon, na França.

Resumo

Nos últimos anos, a fauna acompanhante da pesca camaroeira vem sendo alvo de estudos por ser um dos fatores do grande impacto ambiental causado pela pesca de arrasto. Em contrapartida, esse rejeito de pesca pode ter propriedades funcionais e bioativas, como peptídeos antioxidantes, que poderiam agregar valor a esse rejeito e se tornar um produto de interesse para as indústrias alimentícias. Assim, o presente estudo visou investigar a atividade antioxidante dos hidrolisados proteicos obtidos dos animais mais abundantes da fauna acompanhante e microencapsular esses hidrolisados para agregar valor à este material normalmente descartado. Os resultados demonstram que a hidrólise enzimática, utilizando as enzimas comerciais Alcalase 2.4 L[®] e Protamex[®], é um método eficiente para liberar peptídeos de interesse econômico nas duas espécies mais abundantes de peixes (*Micropogonias furnieri* e *Paralichthys brasiliensis*) e nas duas mais abundantes de crustáceos (*Callinectes ornatus* e *Heptastichus pudibundus*). A hidrólise liberou peptídeos com atividade antioxidante em todas as amostras analisadas, submetidas às duas enzimas testadas. A coacervação complexa e subsequente microencapsulação por *spray-drying* mostrou-se eficiente para proteger a atividade antioxidante desses hidrolisados proteicos. Assim, os resultados fornecem evidências para o potencial uso dos hidrolisados das espécies analisadas como ingrediente funcional ou nutracêutico na indústria alimentícia.

Palavras-chave: bycatch, hidrolisados proteicos, pesca de arrasto, sustentabilidade.

Abstract

In recent years, the bycatch of shrimp fishing has been the subject of studies as it is one of the factors of the great environmental impact caused by trawling. However, this bycatch can have functional and bioactive properties, such as antioxidant peptides, which could add value to this reject and become a product of interest to the food industries. Thus, the present study aimed to investigate the antioxidant activity of protein hydrolysates obtained from the most abundant animals of the bycatch and to microencapsulate these hydrolysates to add value to this normally discarded material. The results demonstrate that enzymatic hydrolysis, using the commercial enzymes Alcalase 2.4 L[®] and Protamex[®], is an efficient method to release peptides of economic interest in the two most abundant species of fish (*Micropogonias furnieri* and *Paralichthys brasiliensis*) and in the two most abundant crustaceans (*Callinectes ornatus* and *Heptastichus pudibundus*). Hydrolysis released peptides with antioxidant activity in all samples analyzed, submitted to the two enzymes tested. Complex coacervation and subsequent microencapsulation by spray-drying proved to be efficient to protect the antioxidant activity of these protein hydrolysates. Thus, the results provide evidence for the potential use of hydrolysates of the analyzed species as a functional or nutraceutical ingredient in the food industry.

Keywords: bycatch, protein hydrolysates, trawling, sustainability.

Introdução Geral

O Brasil é um dos países mais ricos em biodiversidade do mundo, porém o uso adequado dos recursos naturais para gerar benefícios sociais e econômicos ainda é incipiente. No início da década de 2010, cerca de 3,5 milhões de pessoas estavam envolvidas na pesca e aquicultura no país, o que implica na adoção de políticas para exploração racional da biodiversidade aquática (FAO, 2013). Apesar disso, a pesca tem sido praticada da mesma maneira que nos países com baixa diversidade, uma vez que a forma de captura é rudimentar e de pequena seletividade (Graça-Lopes et al., 2002a, b; Severino-Rodrigues et al., 2002, 2007; Castilho et al., 2008; Medeiros et al., 2013; Babcock et al., 2018). A pesca de arrasto demersal causa um enorme impacto ambiental, pois a baixa seletividade dos petrechos leva ao descarte de grande número de organismos capturados acidentalmente denominados fauna acompanhante ou *bycatch* (Graça-Lopes et al., 2002a, b; Severino-Rodrigues et al., 2002, 2007; Robert et al., 2007; Garcia et al., 2016; Orbesen et al., 2017; Varisco et al., 2017; Anjos et al., 2018; Ruibal Núñez et al., 2018).

O termo fauna acompanhante pode ser definido como o grupo de organismos capturados com a espécie-alvo, que não são comercializados, e são devolvidos ao mar ou rejeitados (Graça-Lopes et al., 2002a, b; Hall, 2000; Severino-Rodrigues et al., 2002, 2007; Fonseca et al., 2005; Kumar & Deepthi, 2006; Orbesen et al., 2017; Varisco et al., 2017; Gray & Kennelly, 2018; Ruibal Núñez et al., 2018). A maioria da fauna acompanhante é devolvida ao mar morta ou com poucas chances de sobrevivência (Severino-Rodrigues et al., 2002, 2007). Os debates públicos buscando potenciais soluções para este problema foram iniciados no início da década de 1990 (Conolly, 1986; Clucas, 1997), devido a captura de golfinhos em redes de atum e tartarugas em redes de arrasto de camarão (Castilho et al., 2008; Yang et al., 2015; Serena et al., 2016).

A pesca do camarão captura enorme quantidade de fauna acompanhante, sendo provavelmente a que causa maior impacto (Graça-Lopes et al., 2002a, b; Severino-Rodrigues et al., 2002, 2007; Castilho et al., 2015; Hannah et al., 2015; Yang et al., 2015; Pajuelo et al., 2018). Isso provoca uma ampla destruição da região bentônica. No entanto, deve-se levar em consideração os aspectos sociais e econômicos desse tipo de pesca. No litoral do Estado de São Paulo, por exemplo, os aspectos econômicos da captura de espécies não-alvo não estão associados à perda de valor econômico, mas sim aos custos dessas capturas indesejáveis, como o desgaste do barco e a contratação de mão-de-obra para ajudar na triagem dos animais que vem na rede (comunicação pessoal com pescadores do litoral norte do Estado de São Paulo). Os aspectos sociais, em contrapartida, vêm da busca constante de soluções para o *bycatch*, pois proibir ou embargar a pesca de arrasto pode acarretar em sérios prejuízos aos pescadores, cuja a principal fonte de renda é o camarão. Assim, o equilíbrio entre os impactos ambientais, sociais e aspectos econômicos tem sido um desafio constante da pesca de arrasto demersal há várias décadas.

Pesquisas sobre a diversidade das espécies da fauna acompanhante (Severino-Rodrigues et al., 2002, 2007; Robert et al., 2007; Burgess et al., 2018; Pajuelo et al., 2018), bem como o número de indivíduos capturados (Graça-Lopes et al., 2002a; Severino-Rodrigues et al., 2007; Ruibal Núñez et al., 2018), a manutenção dos estoques e a exploração com novos petrechos (Graham, 2003; Campos & Fonseca et al., 2004; Fonseca et al., 2005; Medeiros et al., 2013) vêm sendo realizadas. Porém, ainda não foi encontrado um destino adequado para o *bycatch*. Neste contexto, a enorme biodiversidade encontrada na fauna acompanhante oferece um vasto cenário para a extração de moléculas e compostos químicos que podem ser utilizados para diversos fins (Donia & Hamann, 2003; Chakraborty & Ghosh, 2010).

A fauna acompanhante pode ser uma fonte de produtos naturais e contém elevado teor de proteínas, aminoácidos, antioxidantes e outros compostos que podem ser transformados em produtos com valor de mercado, como alimentos para animais (Chalamaiah et al., 2012). Para isso, técnicas, como a hidrólise enzimática, têm sido desenvolvidas a fim de extrair peptídeos de interesse comercial (Chalamaiah et al., 2012; Halim et al., 2016; Zamora-Sillero et al., 2018a; Altinelataman et al., 2019). Na hidrólise enzimática, várias enzimas proteolíticas têm sido usadas para produzir hidrolisados de proteínas de peixe (Fish Protein Hydrolysates - FPH) a partir de resíduos da filetagem, como a pele, músculo, vísceras e outros subprodutos (Kristinsson & Rasco, 2000; Chalamaiah et al., 2012; Centenaro et al., 2014; Zamora-Sillero et al., 2018a, b; Altinelataman et al., 2019). As enzimas clivam as ligações peptídicas das proteínas formando peptídeos menores, que podem ter função biológica, agregando valor a esses subprodutos, que geralmente são descartados (Kristinsson & Rasco, 2000; Chalamaiah et al., 2012; Zamora-Sillero et al., 2018a, b; Altinelataman et al., 2019). Estudos prévios demonstraram que os FPH possuem compostos bioativos, nutrientes essenciais e são potenciais fontes de peptídeos antioxidantes, sendo que estes peptídeos possuem um grande valor comercial (Kristinsson & Rasco, 2000; Da Frota Jr et al., 2009; Bougatef et al., 2010; Chalamaiah et al., 2012; Halim et al., 2016; Zamora-Sillero et al., 2018a, b; Altinelataman et al., 2019).

A extração de peptídeos com ação antioxidante a partir de animais marinhos é de interesse comercial. Essas substâncias inibem o estresse oxidativo causado pelo excesso de espécies reativas de oxigênio (ERO), produzidas pelos organismos aeróbicos (Guedes et al., 2013; Perdicaris et al., 2013; Shebis et al., 2013). A formação de ERO ocorre devido aos processos bioquímicos do próprio organismo, como a fosforilação oxidativa, porém o excesso de ERO pode comprometer a fisiologia e as defesas imunológicas dos

organismos (Hemes-Lima, 2004; Soto-Otero et al., 2008). Diante disso, as substâncias antioxidantes podem ser acrescentadas na formulação de remédios ou aplicadas como nutracêuticos na alimentação de espécies com interesse para a aquicultura marinha ou de água doce (Rangel et al., 2001; Binsan et al., 2008; Da Frota Jr et al., 2009), pois a ingestão de uma dieta rica em antioxidantes pode melhorar a resposta de um organismo ao estresse oxidativo, auxiliando de maneira mais eficiente o funcionamento do metabolismo (Krinsky, 1989; Arnao et al., 2001; Binsan et al., 2008; Soto-Otero et al., 2008; Carochi & Ferreira, 2013). Apesar das inúmeras vantagens dos antioxidantes, estes e outros compostos bioativos, como as proteínas, são biopolímeros susceptíveis aos efeitos das condições do meio (Zamora-Sillero et al., 2018a). Dessa forma, para usar esses compostos na indústria alimentícia é necessário utilizar processos que protejam as suas propriedades bioativas e evitem perdas nutricionais (Zamora-Sillero et al., 2018a). Processos como a microencapsulação permitiram a ampliação do uso desses compostos na indústria de alimentos, farmacêutica e química (Gharsallaoui et al., 2007).

A microencapsulação é uma técnica que forma microcápsulas por meio do recobrimento de uma substância de interesse por um material que a isole total ou parcialmente do ambiente (Gharsallaoui et al., 2007). A microencapsulação tem por objetivo proteger um composto e modular a sua liberação (Gharsallaoui et al., 2007). Os processos de microencapsulação são aplicados na proteção de substâncias sensíveis à temperatura, oxirredução, microrganismos entre outras ações indesejáveis (Gharsallaoui et al., 2007). A formação das microcápsulas ocorre por métodos físicos (*spray-drying*, extrusão, co-cristalização), químicos (polimerização interfacial, inclusão molecular) e físico-químicos (coacervação simples ou complexa) (Gharsallaoui et al., 2007). Entre estas metodologias, a coacervação complexa possui vantagens pela sua elevada eficiência de encapsulação (acima de 99%), facilidade de liberação controlada de seu conteúdo e

pelas condições brandas de temperatura no processamento (Gharsallaoui et al., 2007; Amara et al., 2017; Wang et al., 2019). Esta método envolve a combinação de duas dispersões hidrocolóides de cargas opostas, por meio de interação eletrostática, resultando na formação de microcápsulas (Gharsallaoui et al., 2007; Gharsallaoui et al., 2012). A finalidade da coacervação complexa é melhorar a estabilidade e estrutura dos polímeros complexos (Amara et al., 2017; Wang et al., 2019). Outro método amplamente utilizado é o *spray-drying*, devido ao baixo custo e facilidade de obtenção dos equipamentos necessários para a encapsulação (Gharsallaoui et al., 2007; Gharsallaoui et al., 2012). O processo de *spray-drying* seca um material fluido formando partículas secas (pó) pela aspersão desse fluído em um meio de secagem aquecido (Gharsallaoui et al., 2007; Gharsallaoui et al., 2012). A produção de microcápsulas associando diferentes processos é usualmente empregada para aumentar a estabilidade e melhorar a aplicabilidade dos compostos (Gharsallaoui et al., 2007; Gharsallaoui et al., 2012). Microcápsulas formadas por processos de coacervação e inclusão molecular podem ser desidratadas por *spray-drying*, visando melhorar as propriedades das mesmas (Gharsallaoui et al., 2007; Gharsallaoui et al., 2012). Assim, os processos de microencapsulação podem ser uma solução para proteger compostos bioativos, como os antioxidantes (Gharsallaoui et al., 2012).

O principal fator limitante para uso de moléculas biologicamente ativas extraída dos organismos que compõem a biodiversidade é a necessidade de grande quantidade de material. O rejeito da pesca é uma fonte abundante de matéria prima que pode atender as necessidades de escala da indústria. Os organismos presentes no rejeito podem ser ricos em peptídeos antioxidantes. A hidrólise enzimática poderia garantir uma extração sustentável destas biomoléculas, e oferecer um destino economicamente viável para parte das espécies da fauna acompanhante. Dessa forma, iniciou-se a busca de moléculas com

atividade biológica nas quatro espécies mais abundantes na pesca do camarão em São Paulo, sendo duas de peixes (*Micropogonias furnieri* e *Paralichthys brasiliensis*) e duas de crustáceos (*Callinectes ornatus* e *Hepatus pudibundus*). Portanto, a presente tese visa estudar a produção de hidrolisados proteicos a partir dessas espécies, a bioprospecção de peptídeos com capacidade antioxidante nesses hidrolisados e a microencapsulação dos hidrolisados. As informações obtidas irão fornecer subsídios para gerar tecnologia para agregar valor a esses animais que são descartados. O presente estudo está dividido em quatro capítulos: no primeiro realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a fauna acompanhante e a pesca de arrasto no Brasil; no segundo avaliou-se a capacidade antioxidante e a viabilidade biológica dos hidrolisados proteicos obtidos dos animais mais abundantes da fauna acompanhante; no terceiro e no quarto investigou-se o efeito da complexação e da microencapsulação na atividade antioxidante dos hidrolisados proteicos.

References

- Abuine R, Rathnayake AU, Byun HG (2019) Biological activity of peptides purified from fish skin hydrolysates. *Fish Aquat Sci.* <https://doi.org/10.1186/s41240-019-0125-4>
- Akbarbaglu Z, Jafari SM, Sarabandi K, Mohammadi M, Heshmati MK, Pezeshki A (2019) Influence of spray drying encapsulation on the retention of antioxidant properties and microstructure of flaxseed protein hydrolysates. *Colloids Surf. B.* <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.03.038>
- Altinelataman C, Koroleva O, Fedorova T, Torkova A, Lisitskaya K, Tsentalovich M, Çelik U (2019) An *in vitro* and in silico study on the antioxidant and cell culture-based study on the chemoprotective activities of fish muscle protein hydrolysates obtained from European seabass and gilthead seabream. *Food Chem.* <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.004>
- Amara CB, Degraeve P, Oulahal N, Gharsallaoui A (2017a) pH-dependent complexation of lysozyme with low methoxyl (LM) pectin. *Food Chem.*
- Bersuder P, Hole M, Smith G (1998) Antioxidants from a heated histidine-glucose model system. Investigation of the copper(II) binding ability. *J. Am. Oil Chem. Soc.* <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0392-y>
- Bogahawaththa D, Chau NHB, Trivedi J, Dissanayake M, Vasiljevic T (2019) Impact of selected process parameters on solubility and heat stability of pea protein isolate. *LWT.* <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.034>
- Bougatef A, Nedjar-Arroume N, Manni L, Ravalle R, Barkia A, Guillochon D, Nasri M (2010) Purification and identification of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of sardinelle (*Sardinella aurita*) by-products proteins. *Food Chem.* <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.021>

- Burger TG, Surh Zhang Y (2019) Recent progress in the utilization of Pea protein as an emulsifier for food applications. Trends Food Sci Tech <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.007>
- Chalamaiah M, Dinesh Kumar B, Hemalatha R, Jyothirmayi T (2012) Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. Food Chem. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>
- Chen M, Lu J, Liu F, Nsor-Atindana J, Xu F, Goffc DH, Ma J, Zhong F (2019) Study on the emulsifying stability and interfacial adsorption of pea proteins. Food Hydrocoll. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.003>
- Devi N, Sarmah M, Khatun B, Maji TK (2017) Encapsulation of active ingredients in polysaccharide–protein complex coacervates. Adv Colloid Interface Sci. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.05.009>
- Eghbal N, Degraeve P, Oulahal N, Yarmand MS, Mousavi ME, Gharsallaoui A (2017) Low methoxyl pectin/sodium caseinate interactions and composite film formation at neutral pH. Food Hydrocoll. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.033>
- Fauconnet L, Pham CK, Canha A, Afonso P, Diogo H, Machete M, Silva HM, Vandeperre F, Morato T (2019) An overview of fisheries discards in the Azores. Fish. Res. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.10.001>
- Gharsallaoui A, Cases E, Chambin O, Saurel R (2009) Interfacial and emulsifying characteristics of acid-treated Pea protein. Food Biophys. <https://doi.org/10.1007/s11483-009-9125-8>
- Gharsallaoui A, Saurel R, Chambin O, Voilley A (2012) Pea (*Pisum sativum*, L.) protein isolate stabilized emulsions: a novel system for microencapsulation of lipophilic ingredients by spray drying. Food Bioprocess Tech. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0497-z>

- Klompong V, Benjakul S, Yachai M, Visessanguan W, Shahidi F, Hayes KD (2009a) Amino acid composition and antioxidative peptides from protein hydrolysates of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*). J Food Sci. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01047.x>
- Le Priol L, Dagmey A, Morandat S, Saleh K, El Kirat K, Nesterenko A (2019) Comparative study of plant protein extracts as wall materials for the improvement of the oxidative stability of sunflower oil by microencapsulation. Food Hydrocoll. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.026>
- Li Y, Zhang X, Zhao Y, Ding J, Lin S (2018) Investigation on complex coacervation between fish skin gelatin from cold-water fish and gum arabic: Phase behavior, thermodynamic, and structural properties. Food Res Int. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.053>
- Morales-Medina R, Tamm F, Guadix AM, Guadix EM, Drusch S (2016) Functional and antioxidant properties of hydrolysates of sardine (*S. pilchardus*) and horse mackerel (*T. mediterraneus*) for the microencapsulation of fish oil by spray-drying. Food Chem. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.122>.
- Nikoo M, Benjakul S, Yasemi M, Gavligi HA, Xu X (2019) Hydrolysates from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processing by-product with different pretreatments: Antioxidant activity and their effect on lipid and protein oxidation of raw fish emulsion. LWT. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.049>
- Ozkan G, Franco P, De Marco I, Xiao J, Capanoglu E (2019) A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. Food Chem. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>
- Özogul F, Hamed I, Özogul Y, Regenstein JM (2019) Crustacean By-products. Encyclopedia of Food Chemistry, 33-38.

- Petursson S, Decker EA, McClements DJ (2004) Stabilization of oil-in-water emulsions by cod protein extracts. *J. Agric. Food Chem.* 52: 3996-4001.
- Tamm F, Herbst S, Brodkorb A, Drusch S (2016) Functional properties of Pea protein hydrolysates in emulsions and spray-dried microcapsules. *Food Hydrocoll.* <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.032>
- Wang J, Dumas E, Gharsallaoui A (2019) Low Methoxyl pectin/sodium caseinate complexing behavior studied by isothermal titration calorimetry. *Food Hydrocoll.* <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.006>
- Zamora-Sillero J, Ramos P, Monserrat JM, Prentice C (2018) Evaluation of the Antioxidant Activity In Vitro and in Hippocampal HT-22 Cells System of Protein Hydrolysates of Common Carp (*Cyprinus carpio*) By-Product. *J Aquat Food Prod T.* <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1390027>
- Zavareze EDR, Telles AC, El Halal SM, Rocha MD, Colussi R, de Assis LM, Prentice-Hernandez C (2014) Production and characterization of encapsulated antioxidative protein hydrolysates from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) muscle and byproduct. *LWT-Food Sci Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.013>

Considerações finais

A pesca de arrasto é uma atividade de grande importância socio-econômica para o país. O equilíbrio entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais é essencial para solucionar os problemas que ainda existem neste tipo de pesca. Estratégias de gerenciamento mais eficientes, introdução de novas tecnologias e destinação economicamente viável aos animais que são capturados acidentalmente são ações necessárias para tornar o arrasto de fundo uma atividade sustentável. Neste aspecto, os resultados do presente estudo visaram contribuir para agregar valor ao rejeito da pesca e aproveitá-lo de maneira adequada. Os resultados demonstram que a hidrólise enzimática, utilizando as enzimas comerciais Alcalase 2.4 L[®] e Protamex[®], é um método eficiente para liberar peptídeos de interesse econômico nas duas espécies mais abundantes de peixes (*Micropogonias furnieri* e *Paralichthys brasiliensis*) e nas duas mais abundantes de crustáceos (*Callinectes ornatus* e *Heptastichus pudibundus*), podendo agregar valor ao *bycatch*. A hidrólise liberou peptídeos com atividade antioxidante em todas as amostras analisadas, submetidas às duas enzimas testadas. A coacervação complexa e subsequente microencapsulação por *spray-drying* mostrou-se eficiente para proteger a atividade antioxidante desses hidrolisados proteicos. Assim, os resultados fornecem evidências para o potencial uso dos hidrolisados das espécies analisadas como ingrediente funcional ou nutracêutico na indústria alimentícia, o que poderia garantir uma extração sustentável destes antioxidantes e oferecer um destino economicamente viável para a maior fração da fauna acompanhante. Por outro lado, esses resultados abrem uma perspectiva para novos estudos a fim de verificar a existência de outras funções biológicas nos extratos das quatro espécies estudadas e em outras espécies presentes na fauna acompanhante.