

UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

TESE

**MÚSCULO ADUTOR DE VIEIRA “*Nodipecten nodosus*” (LINNAEUS, 1758)
PROCESSADO POR ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA: PERCEPÇÃO DO
CONSUMIDOR E EFEITOS SOBRE ESTABILIDADE DE PROTEÍNAS E
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE QUALIDADE**

THAYRINE RODRIGUES MARTINS

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

**MÚSCULO ADUTOR DE VIEIRA “*Nodipecten nodosus*” (LINNAEUS, 1758)
PROCESSADO POR ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA: PERCEPÇÃO DO
CONSUMIDOR EFEITOS SOBRE ESTABILIDADE DE PROTEÍNAS E
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE QUALIDADE.**

THAYRINE RODRIGUES MARTINS

Sob orientação do Dr.

Amauri Rosenthal

Coorientação das Dras.

Fabíola Helena dos Santos Fogaça e Gesilene Mendonça de Oliveira

Tese submetida como
requisito parcial para
obtenção do grau de **Doutora
em Ciência e Tecnologia de
Alimentos**, no Programa de
Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos,
Área de Concentração em
Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ

2025

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M379m MARTINS, THAYRINE RODRIGUES, 1991-
MÚSCULO ADUTOR DE VIEIRA "Nodipecten nodosus"
(LINNAEUS, 1758) PROCESSADO POR ALTA PRESSÃO
HIDROSTÁTICA: PERCEPÇÃO DO CONSUMIDOR E EFEITOS SOBRE
ESTABILIDADE DE PROTEÍNAS E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
DE QUALIDADE / THAYRINE RODRIGUES MARTINS. -
SEROPÉDICA, 2025.
131 f.: il.

Orientador: AMAURI ROSENTHAL.
Coorientadora: FABIOLA HELENA DOS SANTOS FOGAÇA.
Coorientadora: GESILENE MENDONÇA DE OLIVEIRA.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, 2025.

1. Moluscos Bivalves. 2. Alta Pressão
Hidrostática. 3. Tecnologias Emergentes. 4. Consumo.
5. Bioacessibilidade. I. ROSENTHAL, AMAURI, 1960-,
orient. II. FOGAÇA, FABIOLA HELENA DOS SANTOS, 1979-,
coorient. III. DE OLIVEIRA, GESILENE MENDONÇA, 1972-,
coorient. IV Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Programa de Pós Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos. V. Título.



TERMO N° 18/2025 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.002497/2025-90

Seropédica-RJ, 19 de janeiro de 2025.

THAYRINE RODRIGUES MARTINS

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

TESE APROVADA EM 13/01/2025

AMAURI ROSENTHAL, (Dr) (orientador) EMBRAPA

LEONARDO ROCHA VIDAL RAMOS, (Dr) UFRRJ

MARCONDES AGOSTINHO GONZAGA JÚNIOR, (Dr) UNIR

OTAVIO CABRAL NETO, (Dr) IFTO

FABIANO ALVES DE OLIVEIRA, (Dr) CEFET/RJ

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 19/01/2025 18:30)

LEONARDO ROCHA VIDAL RAMOS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DPA (12.28.01.00.00.00.63)
Matrícula: ####762#1

(Assinado digitalmente em 19/01/2025 19:08)

AMAURI ROSENTHAL
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.###.978-##

(Assinado digitalmente em 20/01/2025 13:01)
MARCONDES AGOSTINHO GONZAGA JUNIOR

ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.###.332-##

(Assinado digitalmente em 12/02/2025 10:07)
FABIANO ALVES DE OLIVEIRA

ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.###.096-##

(Assinado digitalmente em 07/03/2025 13:35)
OTAVIO CABRAL NETO

ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.###.226-##

TERMO, data de emissão: **19/01/2025** e o código de verificação: **72dba39f7c**

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão ao meu orientador, Amauri Rosenthal, por me acolher em seu grupo de pesquisa, pela confiança depositada, paciência, compreensão e dedicação ao longo do desenvolvimento desta tese.

Agradeço à Rosires Deliza por abrir as portas de seu laboratório, compartilhar seu extenso conhecimento e contribuir de maneira significativa para a concepção e o desenvolvimento desta tese.

Agradeço à toda equipe da Embrapa Agroindústria de Alimentos, por ter me acolhido e pelo auxílio em cada etapa do projeto. Pesquisadores, analistas e técnicos que contribuíram no desenvolvimento das minhas análises, compartilhando conhecimento e dividindo suas bancadas, minha gratidão. Deixo aqui um agradecimento especial ao Carlos Piler, Fabíola Fogaça, Caroline Mellinger, Marcella, Inayara, Willian, Chorão e Filé, por todo apoio concedido.

Manifesto minha gratidão à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela receptividade, assim como aos professores e técnicos do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelos valiosos ensinamentos e pelas oportunidades de troca e construção de conhecimento.

Agradeço à Rosiane Bonfim, por todo apoio e amizade, nesse projeto e na vida. Sempre serei grata por cada segundo que estivemos juntas.

Ao Márcio Andrade, que sempre foi meu braço direito, companheiro de equipe e amigo, minha eterna gratidão.

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

Aos meus, todo agradecimento por estarem ao meu lado sempre, mesmo sem a exata compreensão da natureza do meu trabalho. Cada passeio, cada café, cada distração em troca de sorrisos, momentos e conversas, onde pude respirar fundo e retornar ao meu eixo, valeu a pena por ter vocês ao meu lado. Vocês são parte de cada letra presente nessa Tese. Meus pais, irmãos, sobrinhas e meu pequeno Linican, obrigada.

Meu agradecimento mais valioso não caberia nesta página, tampouco em todas as páginas desse documento, às minhas meninas Audrey, Hermione, Melyssa e Pequy, pois sem elas, certamente eu não estaria aqui. Agradeço a esses pequenos focinhos por me dar forças para continuar e me mostrar todos os dias que meu propósito era maior que eu e não poderia desistir depois de tanto caminhar. Por vocês estou aqui e por vocês pretendo continuar.

Always hold my paws

“Eu tive uma reação de desânimo: não tem sentido sair buscando poços ao acaso, na imensidão do deserto. Não obstante, nos pusemos a caminhar”. O R.J.P. (A.G.Roemmers)

RESUMO GERAL

MARTINS, Thayrine Rodrigues. **Músculo Adutor de Vieira “*Nodipecten nodosus*” (Linnaeus, 1758) Processado por Alta Pressão Hidrostática: Percepção do Consumidor e Efeitos Sobre Estabilidade de Proteínas e Características Físicas de Qualidade.** 2025. 131f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

Vieiras “*Nodipecten nodosus*” (Linnaeus, 1758) são bivalves aquáticos marinhos filtradores, consumidos cru ou após a cocção, de elevada sensibilidade térmica e curto prazo de validade sob refrigeração. A aplicação da tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH) pode promover a extensão do prazo de validade em alimentos através da inativação de microrganismos contaminantes e de enzimas endógenas que causam a deterioração. O Capítulo I aborda a revisão sobre vieiras e aplicação de APH em produtos de pescado. O Capítulo II da compreende um estudo de consumidor utilizando associação de palavras modulada por neofobia, sobre o consumo de frutos do mar e especificamente, de vieiras. Em geral, renda, hábitos de consumo e falta de conhecimento sobre vieiras influenciaram na frequência de consumo do molusco. O grau de neofobia alimentar desempenhou um papel importante na percepção do participante e as associações geradas por consumidores de baixa e média neofobia alimentar para frutos do mar foram principalmente relacionadas a características hedônicas positivas. No Capítulo III foi estudado o efeito do processo de APH sobre músculos adutores de vieiras, empregando pressões de 200 a 400 MPa e tempos de processo de 2,5 e 5 minutos, sobre características microbiológicas e físico-químicas das vieiras processadas, em comparação com as vidas *in natura*. Foi também avaliado o efeito do processamento sobre a textura, comparando as mesmas condições de processo sobre as vieiras submetidas ou não à cocção prévia. Pressões de 200, 300 e 400 MPa por 2,5 ou 5 minutos mostraram efeitos significativos na redução de carga microbiológica, sem mudanças relevantes nas características físico-químicas, após a cocção. A APH não alterou substancialmente a textura das vieiras cozidas. No Capítulo IV foram avaliados os efeitos do tratamento a 200 MPa/2,5 min. e 400 MPa/5 min., em comparação com o controle *in natura*, sobre a estrutura e digestibilidade e bioacessibilidade *in vitro* da proteína do músculo adutor, submetido a cozimento prévio. A APH influenciou a digestibilidade das proteínas, melhorando a bioacessibilidade da proteína bruta, especialmente em níveis mais altos

de pressão. Resultados de Calorimetria Diferencial de Varredura indicaram que pressões mais elevadas reduziram a temperatura de transição endotérmica, facilitando a desnaturação das proteínas. Embora a APH não tenha interferido no desdobramento da miosina, a concentração de tirosina foi afetada pelo cozimento. Esses resultados sugerem que a APH pode melhorar a digestibilidade e reduzir os impactos negativos do calor, oferecendo produtos com maior bioatividade e melhor desempenho nutricional. Os resultados de modo geral destacam o potencial da APH no processamento de vieiras, promovendo maior segurança microbiológica e preservando suas qualidades nutricionais e características instrumentais de textura, e possivelmente favorecendo a aceitação do produto pelo consumidor.

Palavras-chaves: Bioacessibilidade. Consumo. Digestibilidade, Moluscos bivalves, Tecnologias emergentes.

GENERAL ABSTRACT

MARTINS, Thayrine Rodrigues. **Adductor Muscle of the Scallop “*Nodipecten nodosus*” (Linnaeus, 1758) Processed by High Hydrostatic Pressure: Consumer Perception and Effects on Protein Stability and Physical Quality Characteristics.** 2025. 131f. Thesis (Doctorate in Food Science and Technology) Institute of Technology, Department of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

Scallops “*Nodipecten nodosus*” (Linnaeus, 1758) are marine aquatic filter-feeding bivalves, consumed raw or after cooking, with high thermal sensitivity and a short shelf life under refrigeration. The application of High Hydrostatic Pressure Processing (HPP) can promote the extension of the shelf life of foods through the inactivation of contaminating microorganisms and endogenous enzymes that cause spoilage. This Thesis is structured in one Geral Introduction, four Chapters and one General Concusion. Chapter I covers the review of scallops and the application of HPP in fish products. Chapter II comprises a consumer study using word association modulated by neophobia, on the consumption of seafood and specifically, scallops. In general, income, consumption habits and lack of knowledge about scallops influenced the frequency of consumption of mollusks. The degree of food neophobia played an important role in participant perception and the associations generated by consumers of low and medium food neophobia for seafood were mainly related to positive hedonic characteristics. In Chapter III, the effect of the HPP on scallop adductor muscles was studied, using pressures of 200 to 400 MPa and process times of 2.5 and 5 minutes, on microbiological and physical characteristics of processed scallops, compared to fresh scallops. The effect of processing on texture was also evaluated, comparing the same process conditions on scallops subjected or not to previous cooking. Pressures of 200, 300 and 400 MPa for 2.5 or 5 minutes showed significant effects in reducing microbiological load, without relevant changes in physical-chemical characteristics, after cooking. HPP did not substantially alter the texture of the cooked scallops. In Chapter IV, the effects of treatments at 200 MPa/2.5 min and 400 MPa/5 min. were evaluated, compared to the in fresh scallop as control, on the structure, digestibility and in vitro bioaccessibility of adductor muscle protein, subjected to prior cooking. HPP influenced protein digestibility, improving the bioaccessibility of crude protein, especially at higher pressure levels. Differential Scanning Calorimetry results indicated that higher pressures reduced the endothermic transition temperature, facilitating the denaturation of proteins. Although HHP did not interfere with myosin unfolding, tyrosine concentration was affected by cooking. These results suggest that HPP can improve digestibility and reduce the negative impacts of heat, offering products with greater bioactivity and better nutritional performance. The results generally highlight the potential of HPP of scallops, promoting greater microbiological safety and preserving their nutritional qualities and instrumental texture characteristics, and possibly favoring consumer acceptance of the product.

Keywords: Bioaccessibility. Bivalve molluscs. Consumption. Digestibility. Emerging technologies.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO III

- Figura 1.** Etapas de limpeza e envase a vácuo do músculo adutor de vieiras: (1) Vieira íntegra na concha; (2) Vieira após o desconche, ainda com manto; (3) Músculo adutor de vieira limpo; (4) Amostras de músculo adutor envasadas a vácuo (Fonte: Imagens de autoria própria) 50
- Figura 2.** Fluxograma de processamento de vieiras 50
- Figura 3.** Etapas de pesagem, envase, pressurização e armazenamento do músculo adutor de vieiras: (1) Pesagem do músculo adutor; (2) Amostras envasadas a vácuo; (3) Equipamento de APH; (4) Amostras envasadas, pressurizadas ou controle, identificadas e separadas para armazenamento (Fonte: Imagens de autoria própria) 51
- Figura 4.** Etapas de análise de textura do músculo adutor de vieiras: (1) e (2) Músculo adutor em equipamento para análise TPA; (3) e (4) Análise de cisalhamento do músculo adutor em equipamento WB (Fonte: Imagens de autoria própria) 56
- Figura 5.** Processo gradativo de coccção do músculo adutor de vieiras para análise de textura (Fonte: Imagens de autoria própria da autora) 57
- Figura 6.** Gráficos de coluna agrupada, segmentado por caracterização textural do músculo adutor de vieiras. (a) Dureza; (b) Adesividade; (c) Mastigabilidade; (d) Elasticidade; (e) Gomosidade; (f) Força 71

CAPÍTULO IV

- Figura 1.** Etapas de desconche e envase do músculo adutor de vieiras para análises: (1) Vieira íntegra em sua concha; (2) Vieira após o desconche, ainda com manto; (3) Músculo adutor de vieira limpo; (4) Amostras separadas e envasadas a vácuo (Fonte: Imagens de autoria própria da autora) 82
- Figura 2.** Avaliação de DSC em músculo adutor de vieiras. 1- ‘Controle’ refere-se ao tratamento sem aplicação de pressão; 2- 200/2,5 refere-se a amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; 3- 200/5 refere-se a amostras submetidas a APH a 200 MPa por 5 minutos; 4- 300/2,5 refere-se a amostras submetidas a APH a 300 MPa por 2,5 minutos; 5-

300/5 refere-se a amostras submetidas a APH a 300 MPa por 5 minutos; 6- 400/2,5 refere-se a amostras submetidas a APH a 400 MPa por 2,5 minutos; 7- 400/5 refere-se a amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos 87

Figura 3. Porcentagem de proteína bioacessível em músculo adutor de vieiras. ‘Controle’ refere-se ao tratamento sem aplicação de pressão; ‘Cocção’ refere-se ao processo de cozimento da amostra; 200/2,5: amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; 400/5: amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos 90

Figura 4. SDS-PAGE de proteínas musculares extraídas de músculo adutor de vieiras submetidas a diferentes tratamentos de pressão. Controle: sem aplicação de pressão; ‘Cozimento’ refere-se ao processo de cozimento da amostra; 200/2,5: amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; 400/5: amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos; ‘Digerido’ refere-se ao processo de digestão in vitro 92

Figura 5. Perfil de tirosina em músculo adutor de vieiras, expresso em concentração (mg/ml). ‘Controle’ refere-se ao tratamento sem aplicação de pressão; ‘Cocção’ refere-se ao processo de cozimento da amostra; 200/2,5: amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; 400/5: amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos 94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Taxonomia da espécie <i>Nodipecten nodosus</i> segundo Smith (1991)	7
--	---

CAPÍTULO II

Table 1 – Exploratory factor analysis performed on the Food Neophobia Scale data	24
---	----

Table 2 – Socio-demographic characteristics of the participants (n = 738)	25
--	----

Table 3 – Dimensions and categories identified in the content analysis, examples of individual responses and frequency of mention (expressed as percentage of consumers who mentioned the category) for both stimuli: seafood and scallops	27
---	----

Table 4 – Frequency of mention (expressed as percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for seafood for participants with low, medium, and high food neophobia	33
---	----

Table 5 - Frequency of mentions (expressed as the percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for scallop for participants with low, medium, and high food neophobia	34
--	----

Table 6. The effect of seafood consumption and family income on the frequency of mention (expressed as the percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for seafood	36
--	----

Table 7. The effect of seafood consumption, family income, and education level on the frequency of mentions (expressed as the percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for scallop	38
---	----

CAPÍTULO III

Tabela 1. Codificação dos tratamentos para primeira etapa do experimento, de acordo com a pressão e tempo aplicados	52
--	----

Tabela 2. Descrição das análises microbiológicas de acordo com o microrganismo avaliado	52
--	----

Tabela 3. Contagem microbiológica de músculo adutor de vieiras processadas por APH	59
---	----

Tabela 4. Avaliação de parâmetros físico-químicos do músculo adutor de vieiras	63
Tabela 5. Caracterização de cor dos tratamentos de músculo adutor de vieiras	65
Tabela 6. Perfil textural de vieiras processadas por APH, com e sem cocção	67

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
Objetivos	2
Estrutura da Tese	2

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. VISÃO GERAL: VIEIRAS <i>NODIPECTEN NODOSUS</i>	7
3. VISÃO GERAL: ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA (APH)	9
3.1 Influência da APH na microbiologia de moluscos bivalves	11
3.2 Aspectos sensoriais de moluscos bivalves tratados por APH	13
3.3 Efeito da APH em Textura e Cor de moluscos bivalves	13
4. CONCLUSÃO	15
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

CAPÍTULO II – EXPLORING THE CONSUMER PERCEPTION OF SEAFOOD: A LOOK AT BRAZILIANS

ABSTRACT	18
1. INTRODUCTION	19
2. MATERIAL AND METHODS	21
2.1 Participants of the study	21
2.2 Experimental procedure	22
2.3 Data analysis	22
2.3.1 Word association	22
2.3.2 Food Neophobia Scale (FNS)	23
2.3.3 Sociodemographic profile of participants	24
3. RESULTS	26
3.1 Association elicited towards seafood and scallops	26
3.2 Effect of food neophobia on participants' evaluation	32

3.3 The role of the socio-economic profile of the participants on the associations with seafood and scallops	35
4. DISCUSSION	40
5. CONCLUSIONS	44
6. REFERENCES	44

CAPÍTULO III – EFEITO DA ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA SOBRE O MÚSCULO ADUTOR DE VIEIRAS (SUBMETIDAS OU NÃO A COCÇÃO PRÉVIA)

RESUMO	46
ABSTRACT	47
1. INTRODUÇÃO	48
2. MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 Obtenção e preparo das amostras de vieira	49
2.2 Alta Pressão Hidrostática (APH)	51
2.3 Microbiologia	52
2.4 pH e Composição centesimal	53
2.5 Análise de Cor	54
2.6 Análise de Atividade de água	55
2.7 Análise de Capacidade de retenção de água (CRA)	55
2.8 Análises de Textura	55
2.8.1 Perfil de Textura (TPA)	55
2.8.2 Força de cisalhamento	56
2.8.3 Processo de cocção para as análises de textura	56
2.9 Análise estatística	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 Avaliação microbiológica do processo	57
3.2 Efeito do processamento por APH sobre pH, composição centesimal, atividade de água e capacidade de retenção de água do músculo adutor das vieiras	60
3.3 Cor do músculo adutor de vieiras	64
3.4 Avaliação da textura do músculo adutor das vieiras cruas e após a cocção	66
4. CONCLUSÃO	74
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

CAPÍTULO IV - ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA PARA POTENCIALIZAR A QUALIDADE NUTRICIONAL DAS VIEIRAS: EFEITOS NA PROTEÍNA DIGESTÍVEL

RESUMO	77
ABSTRACT	78
1. INTRODUÇÃO	79
2. MATERIAL E MÉTODOS	81
2.1 Obtenção, preparo das amostras de vieiras (músculo adutor), coccão e aplicação de APH	81
2.2 Calorimetria Diferencial de Varredura	82
2.3 Bioacessibilidade de proteínas	83
2.3.1 Preparo das amostras cozidas	83
2.3.2 Análise da taxa de digestibilidade da proteína pela determinação da bioacessibilidade	84
2.4 Composição proximal	84
2.5 Avaliação da degradação proteica por análise do gel de eletroforese	84
2.6 Estimativa pelo método da Tirosina	85
2.7 Análise estatística	85
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
3.1 Avaliação no comportamento de músculo adutor de vieiras Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	86
3.2 Avaliação da digestibilidade da proteína total pela determinação da bioacessibilidade em músculo adutor de vieiras	89
3.3 Perfil eletroforético das proteínas	91
3.4 Avaliação do perfil de Tirosina	94
4. CONCLUSÃO	95
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
CONCLUSÃO GERAL	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

1. INTRODUÇÃO GERAL

As vieiras (*Nodipecten nodosus*) são organismos de grande importância para o desenvolvimento da aquicultura mundial, e são muito valorizadas e apreciadas pelas características sensoriais e características nutricionais do músculo adutor (Moraes, 2012; Yi, 2013). No Brasil, apresentam atualmente cultivo comercial em Santa Catarina e no Rio de Janeiro e desenvolvimento inicial também em São Paulo.

A qualidade do músculo adutor das vieiras é definida por diversos parâmetros que envolvem a composição, valor nutritivo, grau de frescor e deterioração, bem como as condições de manejo do produto durante a captura, processamento, armazenamento e distribuição (Gong et al., 2023). Moluscos bivalves, como as vieiras, são filtradores que se alimentam principalmente de microalgas presentes na água do mar, concentrando, em seus tecidos resíduos orgânicos e inorgânicos, assim como microrganismos presentes na água. Sendo assim, sua qualidade microbiológica depende da qualidade sanitária da água onde vivem, cuidados no processo de manipulação para retirada das conchas e armazenamento refrigerado adequado (Ocaño-Higuera et al., 2001; Jay, 2005). O consumo de moluscos bivalves sem nenhum processamento para conservação pode trazer grande risco microbiológico ao consumidor (Lopatek M., Wieczorek K. & Osek J, 2022).

A Alta Pressão Hidrostática (APH) promove a inativação de populações microbianas e de enzimas endógenas que causam a deterioração, com capacidade de aumentar substancialmente a vida útil e segurança de muitos alimentos perecíveis (Considine et al., 2008; Rendueles et al., 2011; Reyes et al., 2015). Além disso, a APH é capaz de modificar a estrutura da carne com relação à sua dureza, suculência e capacidade de retenção de água, de acordo com a pressão aplicada (Guyon, Meynier, & De Lamballerie, 2016). Ao contrário dos tratamentos térmicos tradicionais que influenciam a qualidade dos alimentos, a APH pode preservar as propriedades do pescado fresco, dependendo da intensidade da pressão e tempo de exposição (Oliveira et al., 2017; Roco, 2018).

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo principal estudar o efeito do tratamento da APH em vieiras, sob os aspectos de textura, de cor, pH, e microbiológica, além de realizar uma caracterização de sua estrutura muscular, investigando o efeito desse tratamento nas proteínas do músculo adutor cru e após cocção. Os objetivos específicos foram:

- I. Realizar, através da associação de palavras modulada pela neofobia, um estudo de consumidor acerca do consumo de frutos do mar, incluindo vieiras;
- II. Investigar o efeito de diferentes condições de tratamento por APH sobre as características de pH, atividade de água, capacidade de retenção de água e microbiológicas das vieiras cruas;
- III. Avaliar as alterações de cor de vieiras cruas submetidas a diferentes condições de tratamento por APH;
- IV. Avaliar alterações textura das vieiras submetidas aos tratamentos de APH, com e sem cocção;
- V. Investigar o efeito do tratamento de APH selecionado, na proteína digestível do músculo adutor com e sem cocção;

Os dados apresentados neste trabalho correspondem aos experimentos desenvolvidos na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na unidade Agroindústria de Alimentos.

ESTRUTURA DA TESE

Capítulo	Tema
I	Revisão de literatura
II	Estudo de consumidor sob o título de: Explorando a percepção do consumidor de frutos do mar: um olhar para os brasileiros
III	Efeito da Alta Pressão Hidrostática sobre o músculo adutor de vieiras (submetidas ou não a cocção prévia)
IV	Alta pressão hidrostática para potencializar a qualidade das vieiras: efeitos na proteína digestível

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

As vieiras da espécie *Nodipecten nodosus* são moluscos bivalves filtradores amplamente consumidos e sensíveis a contaminações ambientais, devido à sua capacidade de acumular contaminantes em níveis elevados. Sua alta sensibilidade térmica e vida útil limitada sob refrigeração reforçam a necessidade de tecnologias eficazes para prolongar sua durabilidade e garantir a segurança alimentar. A Alta Pressão Hidrostática (APH) se destaca como uma tecnologia promissora, inativando microrganismos e preservando as características sensoriais e nutricionais dos frutos do mar. Com ajustes precisos de pressão e tempo, a APH equilibra a segurança microbiológica e a qualidade, aumentando a vida útil e atendendo às demandas do mercado. A aplicação da APH em moluscos bivalves, como as vieiras, é capaz de oferecer vantagens para a indústria ao prolongar o prazo de comercialização, distribuição e consumo, permitindo alcançar mercados mais distantes. Essa tecnologia pode preservar as características sensoriais, como sabor, aroma e textura, enquanto inativa microrganismos indesejáveis, garantindo a segurança microbiológica sem recorrer ao tratamento térmico. No entanto, é necessário realizar mais estudos para otimizar o processo em larga escala, adaptando-o a diferentes tipos de moluscos e tornando-o economicamente viável para atender às demandas do consumidor.

Palavras-chave: Alta Pressão Hisdrostática. Consumo. Vieira.

ABSTRACT

The scallops of the species *Nodipecten nodosus* are filter-feeding mollusks bivalves widely consumed and sensitive to environmental contamination due to their ability to accumulate contaminants at elevated levels. Their high thermal sensitivity and limited shelf life under refrigeration highlight the need for effective technologies to extend their durability and ensure food safety. High Pressure Processing (HPP) stands out as a promising technology, inactivating microorganisms while preserving the sensory and nutritional characteristics of seafood. With precise adjustments of pressure and time, HPP balances microbiological safety and quality, extending shelf life and meeting market demands. The application of HPP in bivalves, such as scallops, offers industry advantages by prolonging commercialization, distribution, and consumption periods, allowing for access to more distant markets. This technology can preserve sensory characteristics such as taste, aroma, and texture while inactivating undesirable microorganisms, ensuring microbiological safety without thermal treatment. However, further studies are necessary to optimize the process on a large scale, adapting it to different types of mollusks and making it economically viable to meet consumer demands.

Keywords: Consumption. High Pressure Hidrostatic. Scallops.

1. INTRODUÇÃO

As vieiras, pertencentes à espécie *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758), são moluscos bivalves marinhos filtradores amplamente consumidos, seja *in natura* ou após preparo térmico. Devido à sua capacidade de filtração, esses organismos podem acumular contaminantes em níveis superiores aos encontrados na água do mar onde são cultivados, tornando sua qualidade e segurança alimentares aspectos cruciais (Rubini, 2023). Além disso, esses moluscos apresentam alta sensibilidade térmica e vida útil limitada sob refrigeração.

A deterioração dos produtos aquáticos é intensificada pela ação de microrganismos, que contribuem para alterações sensoriais indesejáveis e podem representar riscos à saúde devido à presença de patógenos (Gram & Dalgaard, 2002). Para garantir a segurança alimentar e atender às exigências do mercado, é essencial minimizar os riscos associados a contaminantes ambientais e biotoxinas em bivalves marinhos, promovendo sua confiabilidade como fonte saudável de alimentos (Smaal et al., 2019; Kunselman et al., 2024).

As tecnologias de processamento não térmico, demonstram grande potencial para aprimorar a segurança alimentar dos frutos do mar, inativando microrganismos patogênicos sem comprometer as características sensoriais e nutricionais dos produtos (Wei, Q., et al., 2022). Esse equilíbrio é essencial para a preservação da qualidade e para garantir alimentos seguros e atrativos ao consumidor (Kaavya et al., 2021; Olatunde et al., 2021; Wei et al., 2022). Nesse cenário, tecnologias de processamento não térmico, como a Alta Pressão Hidrostática (APH), têm se destacado por preservar características nutricionais, texturais e sensoriais, ao mesmo tempo em que promovem a segurança microbiológica (Tong et al., 2023).

A aplicação de APH em pescados, como as vieiras, apresenta potencial tecnológico devido à sua eficiência na inativação de microrganismos e enzimas deteriorantes, contribuindo para a extensão da vida útil e preservação da qualidade do produto. Estudos mostram que o ajuste adequado dos parâmetros de processamento, como pressão e tempo, é essencial para equilibrar a inativação microbiana e a preservação das propriedades sensoriais dos frutos do mar crus (Liu et al., 2022; Tong et al., 2023).

Este capítulo apresenta o referencial teórico de vieiras *nodipecten nodosus* e como a tecnologia de APH pode influenciar os frutos do mar e como ela pode afetar suas características sensoriais, de cor, de textura e físico-químicas.

2. Visão geral: Vieiras *Nodipecten nodosus*

Vieiras são bivalves pertencentes à família Pectinidae, conhecidos popularmente como *scallops* em inglês e *coquilles saint Jacques*, em francês. Em países de língua hispânica são conhecidos por *ostion*, e em outros como “*almeja*” (Rupp, 1994). Smith (1991) descreveu a classificação da espécie de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Taxonomia da espécie *Nodipecten nodosus* segundo Smith (1991).

Phylum	Mollusca
Classe	Bivalvia
Subclasse	Pteriomorphia
Superordem	Eupteriomorphia
Ordem	Ostreoida
Subordem	Pectinina
Superfamília	Pectinacea
Família	Pectinidae
Gênero	<i>Nodipecten</i>
Espécie	<i>Nodipecten nodosus</i> (Linnaeus, 1758)

A vieira *N. nodosus* apresenta uma distribuição geográfica tipicamente tropical, nativa do litoral brasileiro ocorrendo no Oceano Atlântico, desde o Sul da Península de Yucatan no México, ao longo do leste da América Central e Ilhas do Caribe, Colômbia, Venezuela e, descontinuamente, ao longo do litoral do Brasil, até o estado de Santa Catarina, possuindo seu limite sul em águas subtropicais catarinenses (Rupp & Parsons, 2016).

A alimentação dos moluscos bivalves é através de filtração, mecanismo que permite absorção de partículas suspensas na água, incluindo fitoplâncton e detritos orgânicos e inorgânicos. Dessa forma, os bivalves se alimentam de algas que ocorrem naturalmente no ecossistema e não são adicionados aditivos, como vitaminas e antibióticos, em seu sistema de produção. A aquicultura bivalve é extensiva e sua produção depende somente da produtividade

natural do fitoplâncton marinho, em forma de algas vivas ou como detrito, transportado para os bivalves pelo fluxo de água, por exemplo, por correntes e trocas de marés (Sühnel S., 2008; Smaal A.C. et al., 2019). Portanto, eles não necessitam de alimentos adicionais, reduzindo os recursos necessários para sua produção (Kunselman et al., 2024).

Nodipecten nodosus é um bivalve hermafrodita funcional simultâneo (Rupp, 1994), com desovas de maior intensidade na primavera e no verão (Manzoni et al., 1996). Em torno de 12-15 meses, as vieiras estão prontas para serem comercializadas, em situação de fazenda, onde a duração de um ciclo de cultura pode levar mais tempo, considerando que a seleção de tamanho é uma prática comum durante o crescimento, e as vieiras menores podem levar de 2 a 3 meses adicionais para atingir o peso de 8 a 12 g (Rupp & Parsons, 2006).

As vieiras são organismos de grande interesse para o desenvolvimento da aquicultura mundial, e são muito valorizadas pelas apreciadas características sensoriais e nutrição do músculo adutor (Moraes, 2012; Yi, 2013). A produção global de bivalves marinhos para consumo humano no período superou os 17 milhões de toneladas por ano. Cerca de 89% da produção vem da aquicultura, com um valor econômico total de US\$ 20,6 bilhões por ano (Smaal A.C. et al., 2019). A Ásia, especialmente a China, é de longe o maior produtor de bivalves marinhos, representando 89% da produção mundial e responsável primordial pelo crescimento da produção (FAO, 2022). Atualmente, o Brasil apresenta produção estimada em cerca de 18.000 toneladas de cultivo comercial, com grande expressão nos estados de Santa Catarina e Rio de Janeiro, além de apresentar desenvolvimento inicial também em São Paulo (Da Silva et al., 2022).

A qualidade dos produtos marinhos é definida por diversos parâmetros que envolvem a composição, valor nutritivo, grau de frescor e deterioração, bem como as condições de manejo do produto durante a captura, processamento, armazenamento e distribuição (Ocaño-Higuera et al., 2001). Os bivalves marinhos são apreciados pelos consumidores devido aos seus benefícios nutricionais e ao seu sabor e textura. Os bivalves são fontes saudáveis de energia e proteína, ricas em vitaminas (A e D) e minerais essenciais (iodo, selênio cálcio), com baixo teor de gordura e uma boa fonte de ácidos graxos ômega-3, com benefícios de saúde bem estabelecidos (Orban et al. 2002; Schug et al. 2009; EFSA 2014). Considerando que a vieira (*Nodipecten nodosus*) é um animal filtrador, que se alimenta através da filtração de partículas

dispersas na água, torna-se um risco à saúde o consumo desses organismos sem tratamento adequado. A contaminação microbiológica da água em local de produção dos bivalves é um perigo determinante, principalmente para os animais que são destinados ao consumo vivos ou crus (Rubini, 2023). Além disso, a vida útil dos frutos do mar é bastante reduzida (Martínez et al., 2017; Bonfim, 2019). A fase entre a captura e o fim do rigor mortis é chamada de frescor bioquímico e as mudanças na qualidade que ocorrem na fase de pós-rigor são denominadas frescor microbiológico (Gonçalves, 2011). Outro parâmetro relacionado à conservação do pescado é o pH que, por possuir valores próximos a neutralidade, torna esse alimento propício ao rápido desenvolvimento microbiano (Ogawa & Maia, 1999; Oliveira et al., 2017).

Os moluscos bivalves desempenham importantes contribuições no ecossistema devido ao seu modo de alimentação. Além de auxiliar na remoção de nutrientes em excesso, como nitrogênio e fósforo, são capazes de filtrar poluentes antropogênicos, incluindo metais pesados. Essas funções contribuem para a melhoria da qualidade da água e a manutenção dos ecossistemas aquáticos (Bonnard et al. 2020; Schatte Olivier et al. 2020; Kunselman et al., 2024). Por essa razão, apresentam características microbiológicas relacionadas com seu habitat, além de sua microbiota natural e a forma com que são tratados no processamento e conservação. Sendo assim, sua qualidade microbiológica depende da qualidade sanitária da água onde vivem, cuidados no processo de manipulação para retirada das conchas e armazenamento refrigerado adequado (Jay, 2005). A demanda por águas limpas para a cultura de bivalves tem proporcionado uma crescente consciência ambiental nas comunidades costeiras e promovendo políticas públicas para o saneamento e gestão adequada da área de criação do molusco (Novaes et al., 2011; Souza et al., 2014; Theuerkauf et al., 2019). Portanto, riscos à segurança alimentar devido a contaminantes ambientais e biotoxinas devem ser minimizados para aumentar a confiabilidade dos bivalves marinhos como fonte saudável de alimentos e estimular as demandas do mercado (Smaal et al., 2019; Kunselman et al., 2024).

As demandas do mercado geralmente exigem que bivalves sejam crus, para que possam ser consumidos dessa forma ou incorporados em diversas receitas, em restaurantes, processamento industrial, ou em residências (Yi, 2013).

3. Visão geral: Alta Pressão Hidrostática (APH)

Diversas técnicas de conservação de alimentos são estudadas para estender a vida útil de frutos do mar, como congelação, salga, embalagem com atmosfera modificada e

conservantes químicos ou biológicos (Rong et al., 2018). O aumento da preferência do consumidor por produtos alimentícios frescos e minimamente processados, em vez de produtos processados sob condições intensas e/ou congelados, exige pesquisa de novos métodos de processamento e preservação (Reyes et al., 2015). Os processamentos não térmicos são capazes de manter o valor nutricional nutrição, o sabor e a textura originais dos alimentos, garantindo simultaneamente a segurança dos alimentos, por serem capazes de reduzir a presença de microrganismos patogênicos de maneira eficaz (Tong et al., 2023).

A Alta Pressão Hidrostática (APH), como tecnologia de conservação de alimentos essencialmente não térmica, promove a inativação de populações microbianas e de enzimas endógenas que causam a deterioração, aumentando substancialmente a vida útil e segurança de muitos alimentos perecíveis (Considine et al., 2008; Chen et al., 2012; Rendueles et al., 2011; Reyes et al., 2015). Portanto, o processamento torna-se atrativo principalmente por causa de sua vantagem em reduzir as cargas bacterianas de alimentos, sem causar mudanças significativas na aparência, sabor, textura e propriedades nutricionais (Yordanov & Angelova, 2010; Rong et al., 2018). A condição adiabática do processo causa apenas uma ligeira variação de temperatura com o aumento da pressão, de aproximadamente 3 °C por 100 MPa em alimentos com alto teor de umidade (podendo variar dependendo da constituição do alimento), o que impede o alimento de ser efetivamente aquecido (Chawla et al., 2011; Smelt, 1998; Bonfim, 2019).

A tecnologia de alta pressão pode ser aplicada a diferentes tipos alimentos, em faixas de pressão variam de 100 a 1000 MPa, e se dá comumente em alimentos previamente embalados a vácuo, em embalagens flexíveis, os quais são inseridos em vaso de pressurização que é preenchido, após fechamento hermético, com um líquido de transmissão de pressão. A pressão é produzida por uma bomba hidráulica com um intensificador com pistão e transmitida isostaticamente dentro do recipiente de pressão para o produto, quase instantaneamente e de maneira uniforme para todo o alimento (Voigt et al., 2015; Andrés et al., 2016; Cebrián et al., 2016; Codina-Torrella et al., 2016; Patrignani & Lanciotti, 2016; Wang et al., 2016). Como o tratamento de pressão é realizado com o alimento embalado, esse processamento apresenta mínimo risco de recontaminação cruzada e contaminação em caso de falhas operacionais (Pereira & Vicente, 2010). A APH apresenta consumo de energia relativamente baixo e requer baixas quantidades de água potável, uma vez que o líquido de transmissão de pressão (água pura ou solução alcóolica) pode ser reciclado. Desse modo, a tecnologia pode ser considerada

um processo ambientalmente sustentável (Truong et al., 2014; Bonfim, 2019). Desta forma, a APH é uma tecnologia alternativa de preservação não térmica de alimentos, que proporciona o aumento da vida útil sob refrigeração do produto, combinado com boas práticas de processamento (Senturk & Alpas, 2012; Reyes et al., 2015).

Ao contrário dos tratamentos térmicos tradicionais que influenciam a qualidade dos alimentos, a APH pode preservar as propriedades do pescado fresco, dependendo da intensidade da pressão (Oliveira et al., 2017; Roco, 2018). O tratamento com APH modifica a estrutura da carne crua com relação à dureza, suculência e capacidade de retenção de água, variando de acordo com o estágio da carne (pré ou pós-vigor), bem como com a pressão aplicada (Guyon, Meynier, & De Lamballerie, 2016).

A APH pode reduzir a capacidade de retenção de água, sendo eficaz para produtos de pescado também na inativação de microrganismos deteriorantes e patogênicos, estendendo a vida útil (Chéret et al., 2005; Olivera et. al., 2017). Em suma, a tecnologia de alta pressão em produtos de origem aquática controla ou inativa microrganismos patogênicos e deteriorantes e enzimas relacionadas à deterioração, modifica a textura e estabiliza a cor, prolongando o período de armazenamento sob refrigeração (Briones et al. 2010; Erkan et al. 2010; Jantakoson et al, 2012). Esta tecnologia pode garantir o mesmo nível de segurança alimentar que a pasteurização por calor e produz alimentos minimamente processados e com sabor mais próximo ao do produto fresco (Hsu et al., 2014).

Tecnologias de processamento não térmicos, são amplamente aplicadas no processamento de alimentos de origem aquática atualmente (Tong et al., 2023). O tratamento por APH é particularmente útil para frutos do mar que são comumente consumidos crus ou minimamente cozidos, com finalidade de proteger a saúde do consumidor (Hsu et al., 2010). Além disso, a APH tem grande potencial de aplicação na indústria de moluscos bivalves (Rong et al., 2018), pois possibilita a separação entre concha e músculo, além de preservar os componentes nutricionais ao eliminar eficazmente microrganismos, resultando na extensão do período de armazenamento (Tong et al., 2023). Além disso, essa tecnologia pode também ser uma alternativa aos tratamentos térmicos convencionais para preparar pratos prontos ou semi-prontos com uma perda mínima de compostos aromáticos e micronutrientes (Ojagh et al., 2011; Reyes et al., 2015). Considerando todos os benefícios potenciais, o processamento de alta pressão é uma tecnologia que atende a vários dos desafios mais recentes enfrentados pela indústria de pescado (Erkan, 2011; Roco, 2018).

3.1 Influência da APH na microbiologia de moluscos bivalves

A atenção à segurança alimentar é uma preocupação mundial, particularmente no contexto do armazenamento de frutos do mar. Os consumidores estão crescentemente interessados em alimentos seguros, saborosos, nutritivos, isentos de aditivos e que possuam uma durabilidade prolongada (Olatunde & Benjakul, 2018; Wang & Somogyi, 2020; Golden, Caldeira, & Santos, 2022; Noger et al., 2022; Wei, Q., et al., 2022). O pescado fresco é extremamente perecível (Ashie, Smith, & Simpson, 1996), sendo o crescimento e o metabolismo bacteriano as principais causas de deterioração, devido ao alto teor de proteínas, pH neutro e o alto teor de água, afetando sua qualidade e o prazo de validade do produto (Dalgaard, Madsen, Samieian, & Emborg, 2006; Gram & Dalgaard, 2002; Kumar et al., 2020; Olatunde et al., 2021; Reyes et al., 2015; Zhu et al., 2021; Rong et al., 2018).

Microrganismos aeróbicos psicrotróficos, mesófilos e bactérias produtoras de sulfeto de hidrogênio (H_2S) estão entre os principais responsáveis pela deterioração de pescado (Reyes et al., 2015; Roco, 2018). Embora o armazenamento a frio e o congelamento sejam os métodos usuais usados para retardar a degradação enzimática e bacteriana do músculo do peixe, esses procedimentos não inibem completamente a deterioração da qualidade (Reyes et al., 2015).

Além dos métodos tradicionais, foram exploradas outras opções para inibir o crescimento de microrganismos e conservação dos frutos do mar, incluindo o emprego de tecnologias não térmicas. Essas tecnologias têm a capacidade de aprimorar a segurança dos frutos do mar, ao inativar patógenos de origem alimentar, sem afetar de maneira significativa as características sensoriais e nutricionais (Wei, Q., et al., 2022). Ao empregar tecnologias de processamento não térmicas sob baixas temperaturas, é viável inativar de maneira relevante os microrganismos nos alimentos, garantindo a segurança alimentar e preservando simultaneamente a qualidade nutricional e sensorial dos produtos como pescado (Kaavya et al., 2021; Olatunde et al., 2021; Wei, Q., et al., 2022). Nesse sentido, o processamento de alta pressão hidrostática tem recebido atenção e aplicação crescente na indústria de produtos aquáticos (Lin et al., 2022).

A APH tem sido amplamente aplicada na eliminação de microrganismos em frutos do mar, ocasionando um aumento na permeabilidade celular, inibição de reações energéticas e promovendo a desnaturação de enzimas essenciais para o crescimento e reprodução de microrganismos (Calderón-Miranda et al., 1998; Murchie et al., 2005; Smiddy et al., 2005; Yi,

2013). A eficiência da tecnologia APH na inativação de microrganismos depende principalmente, da pressão aplicada, do tempo de pressurização, da temperatura do processo e do microrganismo a ser inativado (Farkas & Hoover, 2000; Bonfim, 2019). Em estudo sobre ostras tratadas com APH durante o armazenamento refrigerado, amostras frescas foram comparadas àquelas submetidas a um tratamento de 300 MPa por 2 min. Enquanto as ostras frescas apresentaram-se impróprias para o consumo em virtude das condições microbiológicas no sexto dia de armazenamento, as ostras tratadas com APH permaneceram aptas por 12 dias, apresentando uma redução na carga microbiana em relação ao controle (RONG et al., 2018).

3.2 Aspectos sensoriais de moluscos bivalves tratados por APH

A APH apresenta muitas vantagens comparado aos tratamentos convencionais, em relação a preservação da composição nutricional dos alimentos e a qualidade sensorial (Bonfim, 2019), como no caso dos pescados. Origina produtos com características sensoriais muito próximas às dos moluscos frescos, sem adição de conservantes, além de apresentar um efeito favorável nas características de textura (Chawla et al., 2011; Ginson et al., 2015).

A APH resultou em um efeito positivo na aparência e sabor de ostras (López-Caballero et al., 2000; Yi, 2013), tendo o produto desconchado com APH sido considerado mais aceitável na aparência e mais suculento do que a ostra sem tratamento (López-Caballero et al., 2000; Yi, 2013). Em ostras pressurizadas (100 a 300 MPa – 1 a 3 min) não foram detectadas diferenças sensoriais significativas ($p > 0,05$) entre as amostras controle e as tratadas com alta pressão. Após o oitavo dia de armazenamento, as amostras “controle” tornaram-se inaceitáveis, enquanto as ostras tratadas com APH permaneceram válidas por 12 dias (Rong et al., 2018). Na análise sensorial de ostras tratadas por APH (300 a 600MPa), os consumidores pontuaram melhor as ostras pressurizadas, comparado à amostra controle não tratada, utilizando escala hedônica para atributos como aparência e textura (Kingsley et al., 2015).

3.3 Efeito da APH em Textura e Cor de moluscos bivalves

A textura é um parâmetro de qualidade afetado pelo APH, embora a mensuração desse parâmetro em frutos do mar seja em geral controversa, com poucos estudos sobre moluscos bivalves disponíveis, sem consenso (Bonfim, 2019). Alguns estudos relataram o efeito do tratamento da APH em filetes de peixe, em que pressões acima de 300 MPa mantiveram a firmeza da carne, o que é uma indicação positiva para os consumidores que rejeitam carne amolecida de peixe (Chéret et al., 2005). López – Caballero et al. (2000) observaram que tratamento com APH a 200 e 400 MPa acarretou um aumento da dureza em camarões. Yi (2013)

observou que a dureza (firmeza) dos músculos adutores de vieiras (*Argopecten irradians*) tratados por APH aumentou significativamente em amostras pressurizadas a 350 MPa / 0 min (pulso de pressão), enquanto que para a elasticidade não foram observadas alterações significativas entre os músculos adutores pressurizados e o controle sem tratamento. A dureza e a elasticidade são atributos de textura que podem ser importantes para os consumidores e para atribuir o valor comercial de uma carne (Kruk et al., 2011; Yi, 2013). Tong et al. (2023) notaram que as características de textura de ostras passaram por mudanças significativas após o tratamento com APH, evidenciando um aumento notável na dureza, elasticidade e mastigabilidade em comparação ao grupo controle não pressurizado ($p < 0,05$).

A compreensão dos efeitos da alta pressão sobre a cor do pescado é bastante relevante, uma vez que é um dos principais atributos para avaliação do frescor e impacta na decisão de compra dos consumidores (Buckow et al., 2014). Ohshima, Ushio & Koizumi (1993) alegaram que o processamento de APH tem menos impacto na cor quando comparado ao processamento térmico. Entretanto, é reconhecido que a pressões a partir de 200 MPa, a cor e textura podem sofrer alterações gradativas que dão ao peixe uma aparência cozida, e tem influência na brancura da carne (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2004; Montero E Gómez-Guillén, 2005; Reyes et al., 2015). A magnitude da alteração da cor da carne está ligada à intensidade e duração da pressurização e à temperatura de processamento (Roco, 2018). Entretanto, a amplitude de mudança de cor irá depender da “vermelhidão” inicial da carne, que é dada pelo conteúdo de mioglobina, onde as mudanças são mais drásticas para carnes vermelhas do que para carnes brancas (Bajovic, Bolumar, & Heinz, 2012; Roco, 2018). Desse modo, em filetes de robalo tratados com 250 MPa por 5 minutos, o índice de Branco aumentou em 7,8%, enquanto a 450 MPa por 5 minutos, o aumento verificado foi de 11% (Teixeira et al., 2014).

Estudos demonstraram que o tratamento por APH afetou negativamente a cor de ostras (He H. et al, 2002; Cruz-Romero, Kelly E Kerry, 2004; Cruz-Romero, Smiddy, Hill, Kerry & Kelly, 2007). O tratamento pela APH pode também tornar o músculo adutor mais brilhante e menos transparente, associados a um aumento no valor de L^* (Yi, 2013), resultando em opacidade semelhante à obtida por cozimento muito leve, o que pode influenciar na comercialização do produto cru, mas não seria inapropriado para o músculo processado por cocção (Murchie et al., 2005; Yi, 2013). Embora algumas diferenças sejam notadas entre os diferentes estudos, a maioria observou redução no parâmetro a^* (intensidade de vermelho) e

aumento do parâmetro b* (intensidade de amarelo), variando de acordo com as espécies e intensidade de pressurização (Bonfim, 2019).

4. CONCLUSÃO

A aplicação da Alta Pressão Hidrostática (APH) em moluscos bivalves, como vieiras, representa uma opção de processo que oferece diversas vantagens para o setor industrial, com potencial de comercialização dos produtos por períodos prolongados e alcançando novos mercado em regiões mais distantes, ampliando o prazo de distribuição, armazenamento e consumo.

Essa tecnologia permite preservar as características sensoriais de moluscos bivalves, especificamente o sabor, aroma e textura. Além disso, pode inativar microrganismos indesejáveis, garantindo a segurança microbiológica e prolongando o prazo de consumo desse pescado, sem a necessidade de tratamento térmico, como pasteurização e esterilização, que poderiam comprometer as características sensoriais dos moluscos. Entretanto, é importante ressaltar que são necessários outros estudos e adequação da aplicação comercial em larga escala, ampliando a tecnologia aos diferentes tipos de moluscos bivalves com potencial de comercialização e agregação de valor, de modo a tornar o processo vantajoso em termos econômicos e em alinhamento com as demandas do consumidor.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Todas as referências citadas em todos os capítulos são apresentadas em sessão única ao final da tese.

CAPÍTULO 2

EXPLORING THE CONSUMER PERCEPTION OF SEAFOOD: A LOOK AT BRAZILIANS

Nota:

Artigo publicado na revista International Journal of Gastronomy and Food Science

<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100938>

International Journal of Gastronomy and Food Science 36 (2024) 100938



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Gastronomy and Food Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijgfs



Exploring the consumer perception of seafood: A look at Brazilians



Thayrine Rodrigues Martins^{a,*}, Márcio Rodrigues de Andrade^a, Marcela de Alcantara^b, Inayara Beatriz Araujo Martins^b, Laudiane Justo Sant'Anna^a, Fabiola Helena dos Santos Fogaca^c, Amauri Rosenthal^c, Rosires Deliza^c

^a Food Technology Department, Technology Institute, Federal Rural University of Rio de Janeiro, 23890-000, Rodovia BR 456, km 7, Seropédica, RJ, Brazil

^b PDU-FAPERJ/Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brasil

^c Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

ABSTRACT

Although Brazil has a wide variety of marine aquaculture species, production is still incipient compared to the world's main producers, and consequent consumption by the population does not reach recommended levels. Understanding the reasons that lead consumers to low consumption of seafood and scallops can help leverage the sector, favoring the local gastronomy, in addition to enhancing the consumption of good quality proteins. The word association (WA) technique, modulated by the food neophobia and the socio-demographic profiles of participants, was used to investigate the perception of Brazilian consumers in relation to seafood and scallops with the aim to contribute to the development of strategies that can collaborate to increase the consumption of these products. The study was carried out with 738 people (56% female). The associations generated by participants were mainly related to positive hedonic characteristics: tasty, delicious and good, especially when they were asked about seafood. These positive hedonic characteristics were less mentioned for scallops and mainly among participants who do not consume seafood regularly. In general, income, consumption habits and lack of knowledge about scallops can interfere with the frequency of the mollusk consumption. The degree of food neophobia played a role on participant's task and the associations generated by low and medium food neophobia consumers for seafood were mainly related to positive hedonic characteristics. The results provided interesting information on consumers' perceptions of seafood and scallops and may contribute to the development of products that better meet consumer expectations, contributing to the expansion and diversification of the local culinary.

Keywords: Consumer. Food Neophobia. Scallop. Seafood. Word Association.

1. Introduction

Production of seafood has been recognized as an important instrument to supply the ever-growing protein demand for human consumption (Da Silva et al., 2022; Wijsman et al., 2019), encompassing various types of organisms, such as fish and shellfish, which includes various species of mollusks, crustaceans, and echinoderms. Global fish production has increased 56% since 1990, reaching 178 million tons in 2020 (FAO, 2022). According to estimations, 15% of this production corresponded to seafood, surpassing 27 million tons, of which 65% were mollusks (FAO, 2022). The production of bivalve mollusks is about 18,000 tons in Brazil (Da Silva et al., 2022), and among them, the most-produced are mussels (*Perna perna*), Japanese oysters (*Crassostrea gigas*), mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*), and the scallop (*Nodipecten nodosus*) (Fontana et al., 2019; IBGE, 2015). Although Brazil possesses favorable territorial features and climate with sufficient water resources and a wide variety of aquatic species for marine aquaculture (Nogueira et al., 2020), its production is still incipient compared to the leading world producers (ABIEC, 2021).

Seafood, in general, and particularly scallops are considered valuable nutrient sources, containing proteins of high biological value such as vitamins A, D, and E, omega-3 fatty acids, minerals such as calcium, iron, phosphate, zinc, and bioactive compounds (Aru et al., 2018; Hurtado-Bermúdez et al., 2019). In addition to their health benefits, scallops present high culinary value and feature delicacies prized for their flavor, texture, and gourmet presentation (Aru et al., 2018; Hellberg et al., 2012; Hurtado-Bermúdez et al., 2019; Ponce-Díaz et al., 2011) that allow the creation of renewed recipes to please the consumer.

According to the World Health Organization (WHO), the *per capita* fish consumption should be at least 250g per week, split into two meals. The Food and Drug Administration (FDA) recommends fish consumption in 2-3 portions per week, considering a list of ‘best

choices' according to the product's quality. This list includes seafood such as oysters, scallops, crabs, squids, and some shrimps (Goel et al., 2018; FDA, 2021). In Brazil, however, fish consumption is lower than 10kg per person/year (FAO, 2022). It is worth noting that the high variability between the Brazilian micro regions due to products' prices, the availability and cultural aspects related to consumption habits mostly explain the differences regarding the intakes of this type of food (Lopes et al., 2016; Mitterer-Daltoé et al., 2013; Ribeiro et al., 2013; Maciel et al., 2015), and among these factors, price is considered the most limiting (Birch et al., 2012; Bombardelli et al., 2005; Lopes et al., 2016; Marques et al., 2020). In order to reduce prices and improve consumption, it is necessary to combine strategies for technological developments in processing, cold chains, transportation, and distribution together with promoting awareness campaigns about the benefits of regular seafood consumption for consumers' health, and the culinary versatility of these products (FAO, 2020). However, it is necessary to understand the consumer product perception to develop the campaigns.

Food choice is a complex phenomenon that depends on various interrelated factors, e.g., cultural, social, and economic issues, life experiences, and characteristics inherent to the food (Deliza et al., 2018; Furst et al., 1996; Köster, 2009). Furthermore, the form of consumption, preparation methods and combination of foods can influence consumers' attitudes towards any dish (Palmieri, et al., 2023). The role of food neophobia, an individual condition that describes the degree of reluctance to consume new or unknown foods, should also be considered (Jaeger et al., 2017). From this perspective, understanding consumers' perceptions, expectations, and attitudes regarding a product may help identifying the sector's weaknesses and, consequently, increase consumption (Birch; Lawley, 2012; Lopes et al., 2016; Reig et al., 2019). Various techniques are used to investigate the issues that permeate the food choice of an individual, e.g., word association (WA), a qualitative technique used to obtain information about consumer perception (Ares & Deliza, 2010; Vidal et al., 2013) that provides insights into the feelings,

thoughts, or intimate actions related to several aspects of the stimulus under investigation (Gambaro, 2018; Rojas-Rivas et al., 2022; Varela et al., 2012; Vidal et al., 2013).

Given that little is currently known about the attitude of Brazilian consumers regarding seafood (Latorres et al., 2016; Mitterer Daltoé et al., 2017; Takey et al., 2022), it is important to explore the general consumer's knowledge and perception about them, as well as to focus particularly on scallops, which are appreciated for their flavor and texture (Wijsman et al., 2019). They are found in different regions of the Brazilian ocean and are widely accepted and valued in restaurants and gastronomy. However, despite the gastronomic potential of scallop, its production in Brazil is still limited. By knowing the consumer views on seafood, and specifically on scallops may help bolstering the attractiveness and subsequent consumption of this food category through the implementation of adequate strategies. Therefore, the objectives of our study were to explore the spontaneous associations about seafood and scallops that are modulated by food neophobia and socio-economic factors to contribute to the development of strategies to increase the consumption of these products favoring the local gastronomy.

2. Material and Methods

2.1-Participants of the study

A total of 738 individuals participated in the study. They were recruited using i) various social media (InstagramTM, FacebookTM, and WhatsAppTM) through a link that was shared to access the questionnaire (n=224) and, ii) by an agency specialized in data collection (n=514) that distributed the same questionnaire to participants. No difference was found among socio-demographic characteristics of participants. The study was approved by the Research Ethics Committee (CAAE – 47892621.2.0000.5626).

Among participants of the study, 56% were females, and the majority (75%) was between 18 and 45 years of age. About 40% reported primary education and high school, and 69% informed an income of up to five minimum Brazilian wages (Table 2).

2.2- Experimental procedure

Initially, all participants ($n = 738$) were asked to answer whether they considered themselves regular seafood consumers and then, they were invited to complete the word association task for two stimuli: scallops and seafood, in that order, indicating the first four words, thoughts, sensations, associations, ideas, or images that come to their mind when they think of the two referred stimuli. After performing the word association task, they were requested to complete the Portuguese-validated version of the Food Neophobia Scale (FNS) (Pliner et al., 1992; Ribeiro De Andrade Previato et al., 2015), composed of 10 statements using a 7-point Likert scale (1: strongly disagree, 7: strongly agree). Finally, participants answered some sociodemographic questions.

2.3-Data analysis

All data were analyzed with the software R.

2.3.1. Word association

All valid answers provided by the participants were included. The terms were classified into categories by the three researchers following the inductive coding process by triangulation (Guerrero et al., 2010; Martins et al., 2019). The frequency of the terms mentioned was determined, and the mentions were first grouped into categories according to their similarity, then subsequently into dimensions. The final categories were determined by consensus among the researchers and then translated into English. Only the categories mentioned by 5% of participants were included in the analysis (Soares et al., 2017; Vidal et al., 2013). The

calculation of the frequencies of mention did not consider whether the words came from the same participant or different subjects (Guerrero et al., 2010). The non-parametric chi-square test was applied per cell (Symoneaux, Galmarini & Mehinagic, 2012) and was used to compare the proportions of answers in the categories between seafood and scallops.

2.3.2. Food Neophobia Scale (FNS)

The FNS is a widely used tool to measure aversion to new foods in experiments (Guidetti et al., 2018). The FNS is a widely used tool to measure aversion to new foods (Guidetti et al., 2018). The FNS data were analyzed using Exploratory Factor Analysis (EFA), whose objective is to identify the relationship between the variables, reducing the complexity providing the number of factors that best represents the set of variables observed, and the FNS questions that were associated with each factor. (Henson et al., 2006; Iantovics et al., 2018). The parallel analysis using a statistical procedure of stimulation was performed as an adequate technique to determine the number of factors to be retained in the EFA (Damásio, 2012; Horn, 1965). The maximum likelihood and varimax estimation methods were used in the analysis. For the interpretation of the EFA, the absolute factor loading of 0.4 or higher in the parallel analysis was considered indicative of having a significant part in the whole inquiry (Paupério et al., 2014). Moreover, Cronbach's alpha internal consistency coefficient was used to evaluate the reliability of the factors and the factor with the highest alpha coefficient were used to classify the participants (Cronbach, 1951; Hongyu, 2018).

The participants were classified into three groups according to Tuorila et al. (2008) considering the sum of the individual scores of the FNS statements that correlated ($p<0.05$) with Factor 1, which presented the highest alpha coefficient (Table 1). The sum of scores was calculated for each participant and ranged from 5 to 35 points. The sum between 25 to 35 points

corresponded to high neophobia, between 20 to 24 referred to medium neophobia, and sums between 5 to 19 points corresponded to individuals with low neophobia.

Table 1 – Exploratory factor analysis performed on the Food Neophobia Scale data.

Item	FOOD NEOPHOBIA SCALE	F1	F2
1	I am constantly sampling new and different foods*	0.73	0.05
2	I don't trust new foods.	0.24	0.45
3	If I don't know what is in a food, I won't try it.	0.14	0.57
4	I like foods from different countries*.	0.72	0.16
5	Ethnic food looks too weird to eat.	0.16	0.64
6	At dinner parties, I will try a new food*.	0.73	0.16
7	I am afraid to eat things I have never had before.	0.30	0.66
8	I am very particular about the foods I will eat.	-0.12	0.42
9	I will eat almost anything*.	0.61	0.21
10	I like to try new ethnic restaurant*.	0.71	0.07
	Alpha-Cronbach's	0.84	0.70

*Reversed items.

Values higher than 0.40 are in bold.

The chi-square statistical test was applied per cell and was used to compare the proportions of answers in the categories identified in the WA task between groups with different degrees of neophobia. Furthermore, the chi-square test was used to evaluate the differences between groups with different levels of food neophobia regarding their gender, age, level of education, and income.

2.3.3- Sociodemographic profile of participants

The socio-demographic profile of participants (gender, age, income, and education level), and information about the consumption of seafood were considered for exploring the associations. Statistical differences in the profile of participants towards answers of the WA identified categories was evaluated by the chi-square test per cell (Symoneaux, Galmarini & Mehinagic; 2012). Table 2 presents the participants characteristics.

Table 2 – Socio-demographic characteristics of the participants (n = 738).

Characteristics	Participants			
	Total (%) (n = 738)	Low (n = 469)	Medium (n = 137)	High (n = 132)
Gender				
Female	56	35	11	10
Male	44	29	8	8
χ^2 (p-value)	0.552 (0.7585)			
Age (years)				
18-25	20	13	3	4
26-35	31	21	5	5
36-45	24	15	4	4
46-55	14	9	3	2
56-65	8	4	2	1
>65	3	2	1	1
χ^2 (p-value)	11.32(0.3327)			
Education level				
Primary school	12	8	2	3
High school	28	17	6	5
Undergraduate degree	33	21	6	6
Graduate degree	27	17	5	5
	2.57 (0.8601)			
χ^2 (p-value)				
Income* (Brazilian wage)				
Up to 5	69	44	13	12
6-10	16	10	3	4
11-20	8	5	2	1
>20	7	5	1	1
	2.77 (0.8370)			
χ^2 (p-value)				
Regular seafood consumption				
Yes	440 (59.62%)	43	10	7
No	298 (40.38%)	21	9	11
χ^2 (p-value)	41.91(≤ 0.001)			

*Brazilian minimum wage (R\$ 1,320.00 equivalent to US\$ 249.13)

3. Results

3.1- Association elicited towards seafood and scallops

Overall, 2381 associations were considered when the participants were asked about the first thoughts, feelings, ideas, and emotions that came to their mind when they thought of seafood, and 2033 were related to scallops. The words considered out of context by the three researchers were categorized as ‘others.’ The answers were grouped into 27 categories and 17 dimensions. All categories that showed frequency of mention above 5% were considered, as well as all participants, regardless of whether they declared or not to be regular seafood consumers. The dimensions, categories, and frequency of mention (%) identified for the two products are shown in Table 3.

Table 3 – Dimensions and categories identified in the content analysis, examples of individual responses and frequency of mention (expressed as percentage of consumers who mentioned the category) for both stimuli: seafood and scallops.

Dimensions	Categories	Examples of words mentioned	Seafood (%)	Scallops (%)
Positive associations	Desire to consume	<i>I want, desire to eat, hunger</i>	6	5
	Positive hedonic	<i>yummy, tasty, delicious, good</i>	50 (+)	36 (-)*
	Positive feeling	<i>happiness, satiety, joy, curiosity, pleasure</i>	10	6
Crustaceans and Mollusks	Crustaceans	<i>shrimp, lobster, crab, crustaceans</i>	49 (+)***	3 (-)***
	Seafood	<i>shellfish, seafood</i>	3 (-)***	9 (+)***
	Mollusks	<i>mollusks, oysters, squid, bivalves</i>	33 (+)**	22 (-)**
	Fish	<i>fish, sardines, salmon</i>	19 (+)***	4 (-)***
Sensory attributes	Lightness	<i>light, delicate</i>	0 (-)***	6 (+)***
	Softness	<i>Soft</i>	0 (-)***	5 (+)***
	Other sensory attributes	<i>sweet, salty</i>	13 (+)**	7 (-)**
	Flavor	<i>Flavor</i>	10	9

	Mushy texture	<i>mushy, gooey</i>	0 (-)***	6 (+)***
Non-familiar	Lack of knowledge	<i>I don't know, I don't know much</i>	3 (-)***	18 (+)***
Characteristics of scallop	Description of scallop	<i>white, white meat</i>	0 (-)***	8 (+)***
	Shells	<i>Shell</i>	0 (-)***	7 (+)***
Gastronomy	Cooking recipe	<i>moqueca, paeja, risotto, snacks, au gratin, grilled</i>	19 (+)***	10 (-)***
Social interaction	Leisure	<i>beach, vacation, travel, restaurants</i>	22	7
Sophistication	Sophistication	<i>sophisticated, refined, delicacy, chic, haute cuisine</i>	7 (-)***	20 (+)***
Food and drinks	Food and drinks	<i>food, food and wine</i>	11 (-)***	19 (+)***
Sea	Habitat	<i>sea, water, ocean</i>	17	18
Economic aspects	High price	<i>expensive, price</i>	12 (-)***	18 (+)***
Others	Others	<i>shells, varieties, crafts, pearls</i>	7 (-)***	12 (+)***
Negative associations	Negative association	<i>bad, disgust</i>	8	7
Unusual	Exotic	<i>exotic</i>	2 (-)***	6 (+)***
Healthiness	Health and nutrition	<i>healthy, nutritious, health</i>	13 (+)***	6 (-)***

Quality and safety	Food quality and safety	<i>freshness, quality</i>	9 (+)**	5 (-)**
Surname	Surname	<i>surname</i>	0 (-)***	6 (+)***

(+) or (-) indicate that the value observed is higher or lower than the theoretical value expected, according to the chi-square test per cell.*** p < 0.001, ** p < 0.01 and * p < 0.05

The results showed that the category “Positive hedonic” presented within the dimension “Positive associations” was the most important term for participants, showing the highest frequency of mention for both seafood and scallops. In this category, scallops obtained a significantly lower frequency than seafood, and the most used expressions were ‘*yummy*’, ‘*tasty*’, ‘*delicious*,’ and ‘*appetizing*’. This suggests an appreciation for positive sensory attributes such as taste, texture, and aroma when evaluating food. Additionally, it indicates that both seafood in general and scallops specifically have the potential to be incorporated into gastronomic dishes, being enjoyed by potential consumers.

‘Crustaceans and mollusks’ was the dimension with high frequency of mentions, terms such as ‘shrimp,’ ‘lobster,’ ‘mollusks,’ and ‘oysters’ were the most mentioned showing that these varieties are the first ideas that come to mind when talking about seafood. The 'scallop' was mentioned only six times, indicating relatively limited knowledge or consumption compared to other seafood. This may provide relative insights into the scallop's popularity in gastronomic dishes.

The ‘cooking recipe’ category in the “Gastronomy” dimension had a significantly higher frequency of mention for seafood than for scallops, with participants mainly using words that referred to names of dishes or recipes with seafood, e.g., ‘*moqueca*’ and ‘*paeja*’. This category indicates that the participants were familiar with how seafood is consumed, regardless of whether they considered themselves regular consumers; however, the frequency of mention was lower for scallops ($p<0.05$), suggesting less familiarity with culinary uses for them. Conversely, the category “Sophistication” in the dimension “Gastronomy” had higher mentions for scallops. This result may suggest a promising opportunity for the introduction of scallops in restaurant menus, guiding the culinary choices and improving the recipes. Another highlighted category, “health and nutrition,” cited by 13% of the participants, obtained a significantly higher

frequency for seafood with expressions such as '*nutritious*' and '*healthy*' ranking as the most representative terms in this category. The participants also referred to the 'food quality and safety' category, which was significantly higher for seafood with expressions such as '*fresh*' and '*quality*'. These findings were expected considering participants were more familiar with seafoods.

On the other hand, the 'high price' category was often mentioned for scallops, with participants using words such as '*expensive*,' and '*price*,' demonstrating that they considered this mollusk as food for the high-income public. Given this realization, several strategies can be implemented, including: improving the dissemination of information about different cooking methods for home consumption, establishing partnerships between restaurants and local producers, and offering dishes that combine scallops with more affordable ingredients, aiming to create an attractive and accessible gastronomic experience for a wide range of consumers. Additionally, diversifying the menu in restaurants can be an effective approach.

There were no mentions related to 'mushy texture,' 'lightness,' and 'softness' for seafood, demonstrating that the characteristics related to texture were not described by the participants, but the terms '*gooey*,' '*mushy*,' and '*sticky*', which are related to texture, were associated with scallops, suggesting that texture played an important role for this product. In turn, the terms '*light*,' '*delicate*,' and '*soft*' associated to scallops ratify the role of texture for this class of mollusks. These results underscore the importance of scallops' texture in consumers' sensory experience and can guide decisions regarding the preparation and presentation of these seafood in gastronomy.

3.2- Effect of food neophobia on participants' evaluation

The parallel analysis indicated two factors to be considered in the EFA. As shown in Table 1, Factor 1 was composed of five items (1, 4, 6, 9, and 10), all related to consuming and trying new foods in different situations, and whereas Factor 2 was composed of five items (2, 3, 5, 7, and 8) related to the selectivity and distrust about the consumption of new foods. Factor 1 was selected to split the food neophobia groups as it showed the highest Cronbach's Alpha coefficient (0.84), indicating higher reliability as only factor 1 was selected.

The participants were split into three groups according to the degree of food neophobia: high neophobia (n=132), medium neophobia (n=137), and low neophobia (n=469). The groups with different food neophobia levels did not differ significantly ($p < 0.05$) regarding gender, level of education, and income distribution (Table 2).

Table 4 presents the frequency of mentions of the categories for seafood ($p \leq 0.0003$), considering the three different groups of food neophobia: low, medium, and high. Table 5 shows similar results for scallops.

Table 4 – Frequency of mention (expressed as percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for seafood for participants with low, medium, and high food neophobia.

Categories	Food Neophobia		
	Low (n=469)	Medium (n=137)	High (n=132)
Food and drinks	11	14	8
High price	11	25 (+) *	2
Negative association	6	13	6
Crustaceans	44 (-) **	91 (+) **	23
Lack of knowledge	2 (-) *	8 (+) **	1
Desire to consume	7	6	5
Exotic	2	3	2
Seafood	4	2	2
Habitat	18	20	9
Positive hedonic	58 (+) ***	52 (-) ***	20
Leisure	23	34	8
Mollusks	33	53	14
Others	6	14	5
Other sensory attributes	12	21	8
Fish	20	26	9
Food quality and safety	7 (-) *	17	8
Cooking recipe	21	21	10
Flavor	10	13	4
Health and nutrition	13	18	8
Positive feeling	10	12	8
Sophistication	8	5	4

(+) or (-) indicate that the value observed is higher or lower than the theoretical value expected, according to the chi-square test applied per cell. *** p < 0.001, ** p < 0.01, and * p < 0.05

Most participants (n=469) were considered neophilic (low neophobia) and associated “positive hedonic” for seafood. Notably, the ‘crustaceans’ and ‘food quality and safety’ categories demonstrated a significantly lower frequency of mention in the low neophobia group. For the participants with medium neophobia, the categories ‘high cost’ and ‘lack of knowledge’

were cited with a significantly higher frequency, corresponding to characteristics that can harm the habit of consumption. Strategies aimed at overcoming the lack of knowledge may help increase consumption of specific foods, such as scallops, among individuals with moderate food neophobia. In addition, the ‘crustaceans’ category was mentioned with a significantly higher frequency compared to the other neophobia groups.

Table 5- Frequency of mentions (expressed as the percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for scallop for participants with low, medium, and high food neophobia.

Categories	Food Neophobia		
	Low (n=469)	Medium (n=137)	High (n=132)
Food and drinks	17	31	11
High price	19	26	5
Negative associations	6	12	5
Description of scallop	9	9	2
Shells	8	9	3
Lack of knowledge	13 (-) ***	42 (+) ***	12
Desire to consume	5	7	3
Exotic	7	7	2
Seafood	10	11	6
Habitat	20	23	6
Positive hedonic	42 (+) **	37 (-) **	14
Leisure	5 (-) *	13	5
Lightness	7	5	2
Softness	5	6	2
Mollusks	25	22 (-) *	11
Others	10 (-) **	23	10
Other sensory attributes	8	9	2
Food quality and safety	4	8	0
Cooking recipe	12	8 (-) *	6
Flavor	9	12	2
Health and nutrition	6	7	1
Positive feeling	7	6	5
Surname	5	9	5
Sophistication	22	25	6
Mushy texture	4 (-) **	12	5

(+) or (-) indicate that the value observed is higher or lower than the theoretical value expected.
*** p < 0.001, ** p < 0.01, and * p < 0.05; Effect of the chi-square per cell.

Participants classified with low food neophobia showed frequencies of mention significantly higher for the category ‘positive hedonic’ when asked for writing the first words

associated to scallop. It may suggest a higher possibility for the consumption of this food by these consumers. In turn, the participants classified as medium food neophobia showed a significantly higher frequency of mention for the ‘lack of knowledge’ category than the other groups, which can be justified by their selectivity and distrust towards food. These factors are demonstrating these participants overall lack of knowledge as a possible obstacle to the consumption of this food class.

3.3- The role of the socio-economic profile of the participants on the associations with seafood and scallops

The chi-square analysis indicated that gender ($p= 0.92$), age ($p= 0.18$), and education level ($p=0.39$) did not influence the associations made by individuals regarding seafood; however, for this stimulus differences were found regarding the seafood consumption ($p=0.004$) and the income of participants ($p=0.002$), which are presented in Table 6. Likewise, gender ($p=0.13$) and age ($p=0.25$) did not influence the associations regarding scallops, but they were influenced by seafood consumption ($p<0.001$), education level ($p<0.001$), and income ($p<0.001$).

Table 6. The effect of seafood consumption and family income on the frequency of mention (expressed as the percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for seafood.

Categories	Regular seafood consumer		Family income [§]		
	Yes (n= 440)	No (n=298)	Up to 5 MW (n= 510)	6 to 10 MW (n= 110)	>10 MW (n= 118)
Food and drinks	10	12	11	12	9
High price	10	15	12	15	10
Negative association	4 (-) ***	13 (+) ***	8	3	11
Crustaceans	49	49	48	43	58
Lack of knowledge	2 (-) *	4 (+) *	3	1	2
Desire to consume	6	7	5	4	14 (+) ***
Exotic	2	3	2	2	3
Seafood	4	3	3	3	5
Habitat	17	17	18	14	13
Positive hedonic	57 (+) ***	41 (-) ***	51	45	54
Leisure	21	24	19 (-) **	34 (+) **	25
Mollusks	32	34	32	45 (+) *	23 (-) *
Others	7	8	7	9	7
Other sensory attributes	13	12	13	9	16
Fish	20	18	21	14	17
Food quality and safety	8	10	9	11	6
Cooking recipe	21	16	18	19	25
Flavor	10	8	8	9	15 (+) *
Health and nutrition	12	14	14	13	12
Positive feeling	10	9	9	14	8
Sophistication	7	6	8 (+) *	2 (-) *	5

(+) or (-) indicate that the value observed is higher or lower than the theoretical value expected, according to the chi-square test applied per cell. *** p < 0.001, ** p < 0.01, and * p < 0.05.

[§] MW: Brazilian minimal wage (R\$ 1,320.00 equivalent to US\$ 249.13).

When participants were grouped according to the seafood consumption, the ‘lack of knowledge’ and ‘negative association’ categories were significantly more mentioned among non-regular seafood consumers, while the ‘positive hedonic’ category stood out and was higher (p<0.05) for participants that considered themselves regular seafood consumers. This suggests

that the level of familiarity and consumption habits influence how people perceive and associate seafood, which may be important to consider when developing strategies to promote the consumption of these products. The ‘desire to consume’ and ‘flavor’ categories showed higher frequencies of mention ($p<0.05$) among participants with income higher than 10 minimum wages. Consumers of higher income tend to place more value on the desire to consume and the flavor when choosing their foods, due to the possibility of investing in quality products and gastronomic experiences. In turn, the ‘leisure’ category was very mentioned in the intermediate income classification, between six and ten minimum wages. The ‘sophistication’ category, with the main mentions corresponding to ‘*sophisticated, refined, delicacy, chic, and haute cuisine,*’ suggesting a sophisticated, differentiated, and more expensive food, obtained significantly higher frequencies of mention in the lower income group.

The effect of seafood consumption, family income, and education level on the frequencies of mention in the categories identified in the content analysis for scallops is shown in Table 7.

Table 7. The effect of seafood consumption, family income, and education level on the frequency of mentions (expressed as the percentage of participants) of the categories identified in the content analysis for scallop.

Categories	Regular seafood consumers		Family income [§]			Education level			
	Yes (n=440)	No (n=298)	Up to 5 MW (n= 510)	6 to 10 MW (n= 110)	>10 MW (n= 118)	Primary School (n= 90)	High School (n= 204)	Undergraduate (n= 245)	Graduate (n= 199)
Food and drinks	19	18	19	19	17	22	18	20	17
High price	16	20	15 (-) *	26 (+) *	22	4 (-) **	14	21	23
Negative associations	4 (-) ***	12 (+) ***	9 (+) **	2 (-) **	5	10	6	6	8
Characteristics of scallop	7	8	6	14 (+) *	6	4	10	5	10
Shells	7	8	7	8	8	1 (-) *	7	10 (+) *	7
Lack of knowledge	14 (-) **	24 (+) **	19	14	19	23	23 (+) *	16	14 (-) *
Desire to consume	4	6	5	4	5	8	4	3	6
Exotic	5	7	5	5	9	4	4	7	8
Seafood	9	11	9	9	12	8	8	11	10
Habitat	16	20	18	22	12	13	22	15	19
Positive hedonic	44 (+) ***	25 (-) ***	38 (+) *	31	33	54 (+) **	36	36	29 (-) **
Leisure	5 (-) *	9 (+) *	5	14 (+) ***	3	4	5	10 (+) **	5
Lightness	6	4	5	8	7	4	4	7	6
Softness	5	5	5	7	2	0 (-) *	8 (+) *	5	4

Mollusks	25 (+) *	18 (-) *	20	31	21	20	21	24	21
Others	13	12	15 (+) **	9	5 (-) *	28 (+) ***	12	10	9 (-) *
Other sensory attributes	8	6	7	3	7	6	7	6	8
	5	4	5	4	3	3	6	2	6
Food quality and safety									
Cooking recipe	11	8	10	11	9	16 (+) *	13	9	6 (-) *
Flavor	9	8	8	5	15	8	10	9	7
Health and nutrition	7 (+) *	3 (-) *	5	3	9	1	3	7	9
Positive feeling	6	7	6	7	6	8	6	6	6
Surname	4 (-) *	8 (+) *	4 (-) ***	12 (+) *	10	0 (-) *	4	4	13 (+) ***
Sophistication	19	21	18	28	21	8 (-) **	21	19	25
Mushy texture	4 (-) **	9 (+) **	6	6	6	9	6	4	7

(+) or (-) indicate that the value observed is higher or lower than the theoretical value expected.

*** p < 0.001, ** p < 0.01, and * p < 0.05; Effect of the chi-square test applied per cell. [§]MW: Brazilian minimal wage (R\$ 1,320.00 equivalent to US\$ 249.13).

The ‘lack of knowledge’, ‘negative association’, ‘surname’, and ‘mushy texture’ categories associated to scallops were higher ($p<0.05$) among those who declared themselves as non-regular seafood consumers. Furthermore, ‘lack of knowledge’ had higher frequency of mention among consumers with high school. This may indicate that the level of education can influence the perception and knowledge about seafood, affecting its acceptance and consumption. It should also be noted that the ‘negative association’ and ‘high price’ categories were significantly more mentioned among low-income individuals, confirming the perception of inaccessibility of scallops among low-income individuals, emphasizing the importance of making these products more accessible and appealing to different income brackets. Inversely, the ‘positive hedonic,’ ‘mollusks,’ and ‘health and nutrition’ categories were more mentioned ($p<0.05$) among participants who consumed seafood regularly. It should also be noted that the ‘positive hedonic’ category was also mentioned by individuals with primary school and lower income, and ‘leisure’ had significantly higher mentions among the group with intermediate income (6 and 10 minimum wages) and undergraduate people.

The frequency of mention of the category “surname” was higher by participants with graduate levels, whereas ‘cooking recipe’ showed higher significance in the primary school classification. Curiously, for the ‘softness’ category, there were significant mentions only for the participants with high school education.

It should be noted that the percentages shown in the columns of Tables 4, 5, 6, and 7 surpassed 100% since each participant of the study could answer up to four words for associated to scallops and seafood.

4. Discussion

According to Antmann et al. (2011) and Gambaro (2018), the most-mentioned terms in the word association task are those that best describe consumers’ associations towards the

product under investigation. In this study, the mention of positive characteristics depended on the intrinsic participant's characteristics i.e., on the neophobia classification and sociodemographic issues. The high percentage of individuals who described feelings, thoughts, and words referring to affective memories and other well-being feelings, categorized as 'positive hedonic,' 'leisure,' and 'positive feeling' especially for the individuals who identified themselves as regular seafood consumers can suggest the association of seafood to nostalgia. In a study conducted in Italy and Spain, Nicolosi et al. (2019) highlighted that the perception and attitude related to seafood varied according to local cultures and consumption habits, which may explain the lower mentions of these socio-affective aspects for scallops, combined with the high lack of knowledge and the low consumption habit.

The category 'lack of knowledge' was significant among individuals who do not consider themselves to be regular seafood consumers, and the mention was still higher for scallops. These findings highlight the need to make communication and advertising campaigns, agreeing with the study of Lopes et al. (2016), in which consumers reported the scarce disclosure of this food category, justifying its low consumption. In general, previous experiences with novel food play an important role in the willingness to consume it (Palmieri et al., 2019). Palmieri & Forleo (2021) when investigated factors driving Italian consumers' willingness to eat edible seaweed, reported that consumers who have had previous experiences with edible seaweed were more willing to consume it than other people. In a study carried out in Portugal, when the interviewees were asked about the consumption of bivalves, Fronteira (2021) identified that 32% (n=382) answered "non-consumption", and when asked about the reason for not consuming, the main justification was 'I don't like'. The term 'high price' and 'health reasons' were also highlighted among the three most cited reasons. In the present study, for the scallop the price was influenced by participants' incomes, especially those with intermediate income. Still, although the term 'high price' was much mentioned, its frequency was lower among consumers with lower

income, probably due to the influence of the lack of knowledge about this mollusk. According to Lopes et al. (2016), the price of fish products affects the consumption, especially if it reaches low competitiveness in the market. Fish consumption has been related to family income (Zhou et al., 2015). Palmiere & Forleo (2021) highlighted people who are willing to pay a premium price for seaweed-based food are more likely to eat seaweed than other. This outcome can be extrapolated to scallop. Cardoso et al. (2013) stressed that price affects the consumption frequencies, and Engel et al. (1990) noted that some products can represent signs of financial prosperity among consumers, e.g., seafood. Accordingly, in this study, many participants associated expressions that refer to the high price to scallops.

Despite the recognized nutritional value of seafood, the frequency of mention for the category ‘health and nutritious’ was only significant for the overall association made for the two products (Table 3), i.e., without considering any segmentation criteria (socio-demographic characteristics, consumption of seafood). However, it is worth mention that Zhou et al. (2015) reported that fish consumption was positively related to the awareness of health issues, while Marques et al. (2020) stated consumers’ concerns about shrimps as reason for not consuming the crustacean by some participants, mainly justified by allergenic processes triggered by the food. On the other hand, results reported by Palmieri et al. (2023) were positively correlated with the perceived impact of consumption on health and the environment, particularly related to seaweed. In contrast, there were no relevant concerns in this study related to the distrust of consuming seafood or scallop due to health issues; therefore, it is an aspect that can be explored in the advertising and communication campaigns.

Maciel et al. (2016) investigated the fish consumption habits of Portuguese and Brazilian consumers, highlighting they are related to quality attributes such as the certification of sustainable production methods and the country of origin.

In the present study, the ‘quality and safety’ category was only significant for seafood, associated by the low neophobia group, suggesting that participants with low neophobia were less concerned about food quality and safety and were more attentive to hedonic aspects, regardless of their seafood consumption or income. Likewise, Kaimakoudi et al. (2013) and Maciel et al. (2016) identified a general lack of awareness about the potential characteristics of safety, quality, and variety of aquaculture food products

The results of this study can be used for designing future studies on scallop consumption. New research should explore the effect of information dissemination through different communication strategies on consumers' intention to purchase seafood and scallops, aiming to reduce any negative associations and encourage the consumption of these products. This communication may utilize resources related to gastronomy and culinary practices in general, guided by the results, thus facilitating the development of new food products and dishes based on seafood and scallops, specifically, enhancing sophistication and culinary recipes.

The study had some limitations. The application of online questionnaires widely used in the literature may not have been representative of the entire Brazilian population. For illustration purposes, 738 participants contributed to the research; however, according to IBGE (2023), the Brazilian population is made up of 51.5% women and, in the study, 75% of participants identified themselves as women. However, several studies reported a higher number of females compared to males (Ares & Deliza, 2010; Spence, 2017; Takey et al., 2022; Palmieri et al., 2023). Another comment on the demographic refers to the participants` income. The average monthly income of Brazilians is lower than the presented in the study. The data were obtained remotely without any participant interaction with scallops and/or seafood, which could result in some response variability.

5. Conclusions

The results showed that the word association modulated by the food neophobia, and the socio-demographic characteristics of individuals were valuable tools to explore the spontaneous associations of consumers about seafood and scallops, products highly valued in gastronomy and with the potential to leverage local cuisine. Results revealed associations that may explain the low consumption of these products in Brazil, suggesting possible bottlenecks that must be addressed to leverage their popularity and, consequently, their consumption. For the gastronomy perspective, strategies that aim at reducing the consumer's lack of knowledge, and that simultaneously advertise different recipes in the media should be effective to raise the overall value perception of the products to the same level of positive hedonics already observed by regular consumers of seafood and scallops.

These findings underscore the importance of communication strategies related to both consumer outreach and education, aiming not only to increase knowledge about the benefits and characteristics of seafood and scallops, but also to encourage a positive shift in attitudes toward these foods. By overcoming perceived barriers and promoting a broader appreciation of these products, it is possible to harness their full potential to enrich Brazilian cuisine and meet consumers' demands for healthier and tastier food options.

6. References

All references cited in all chapters are presented in a single session at the end of the thesis.

CAPÍTULO 3

EFEITO DA ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA SOBRE O MÚSCULO ADUTOR DE VIEIRAS

RESUMO

Vieiras *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758), foram tratadas por alta pressão hidrostática (APH) a 200, 300 ou 400 MPa por 2,5 ou 5min e os resultados demonstraram que o tempo e intensidade do processo influenciaram na redução de carga microbólica, não afetaram significativamente os resultados de Aw e pH, influenciou na redução nos índices da CRA, em níveis de pressão mais baixos e não foi significativo quando comparado ao tratamento pressurizados a 400 MPa por 5 minutos e ligeira alteração na umidade sem correlação expressiva com os tratamentos aplicados. Os parâmetros cromáticos de L* e W apresentaram aumento significativo para 300/2,5 e 400/5. Os tratamentos de pressão aumentaram ligeiramente o índice de Branco (W) dos músculos de vieira. Tratamentos crus e cozidos foram avaliados com relação a textura, indicando que o processamento térmico reduziu a adesividade e aumentou a dureza, firmeza (mastigabilidade), força de cisalhamento, gomosidade e elasticidade. O nível mais intenso de pressão aumentou significativamente a dureza de vieiras cruas e valores de mastigabilidade mais altos para tratamentos de pressão maiores indicam tendência à redução na maciez conforme o aumento da pressão aplicada. A APH não interferiu substancialmente na textura da carne quando o produto está cozido. A potencial melhora na qualidade microbólica das vieiras (*Nodipecten nodosus*) e preservação de suas propriedades físico-químicas e texturais são possíveis com a aplicação da APH, conciliando tempo e intensidade de pressão aplicados ao músculo.

Palavras-chave: Frutos do mar. Tecnologias emergentes. Textura.

ABSTRACT

Nodipecten nodosus (Linnaeus, 1758) scallops were treated with high hydrostatic pressure (HHP) at 200, 300, or 400 MPa for 2.5 or 5 minutes. The results demonstrated that both processing time and intensity influenced the reduction of microbial load. The treatment did not significantly affect Aw and pH values, and it led to a reduction in CRA indexes at lower pressure levels, though no significant difference was observed when compared to the treatment at 400 MPa for 5 minutes. A slight change in moisture content was detected, but without a strong correlation with the applied treatments. The chromatic parameters L* and W showed a significant increase for the 300/2.5 and 400/5 treatments. Pressure treatments slightly increased the whiteness index (W) of the scallop muscles. Raw and cooked treatments were evaluated for texture, indicating that thermal processing reduced adhesiveness while increasing hardness, firmness (chewiness), shear force, gumminess, and elasticity. Higher pressure levels significantly increased the hardness of raw scallops, and the higher chewiness values observed in more intense pressure treatments suggest a tendency for reduced tenderness as pressure increases. HHP did not substantially affect meat texture when the product was cooked. The potential improvement in the microbiological quality of *Nodipecten nodosus* scallops, along with the preservation of their physicochemical and textural properties, is achievable through the application of HHP, balancing processing time and pressure intensity applied to the muscle

Keywords: Emerging Technologies. Seafood. Texture.

1. INTRODUÇÃO

Vieiras, pertencentes à espécie *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758), são organismos marinhos filtradores consumidos de forma *in natura* ou após cocção. Esses moluscos possuem alta sensibilidade térmica e uma vida útil limitada quando refrigerados. Dado à natureza de filtração dos moluscos, esses animais podem concentrar contaminantes em um grau mais elevado do que a água do mar, onde ocorre sua criação (Rubini, 2023).

Os microrganismos responsáveis pela deterioração da carne desempenham um papel importante na degradação de produtos aquáticos, resultando no desenvolvimento de atributos sensoriais desagradáveis (Gram & Dalgaard, 2002), além dos riscos ocasionados por microrganismos patogênicos. Nesse sentido, os processamentos não térmicos têm capacidade de manter a nutrição, sabor e textura originais dos alimentos, garantindo simultaneamente a segurança dos pescados, uma vez que conseguem reduzir a presença de microrganismos patogênicos de maneira eficaz (Tong et al., 2023).

A utilização da tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH) apresenta potencial para prolongar a vida útil de alimentos, incluindo produtos de origem animal e pescados em particular, ao inativar populações microbianas e enzimas endógenas responsáveis pela deterioração. De acordo com Tong et al. (2023), tecnologias de processamento não térmicos, como a APH, são extensivamente aplicadas no processamento de alimentos de origem aquática. O dimensionamento e otimização adequados dos parâmetros de processamento de APH são cruciais para inativar microrganismos, evitando danos às características organolépticas, propriedades sensoriais únicas e nutrição dos frutos do mar crus (Liu et al, 2022). Nesse contexto, foi realizado no presente estudo a avaliação do efeito do processo de APH sobre os músculos adutores de vieira, com pressões de 200 e 400 MPa e tempos de exposição de 2,5 e 5 minutos, sobre as características microbiológicas, físico-químicas e de textura, submetendo ou não o músculo previamente à cocção previamente ao tratamento por APH, como um processo combinado para melhoria da qualidade e incremento de segurança do produto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção e preparo das amostras de vieira

As vieiras (*Nodipecten nodosus*) foram obtidas de cultivos da Fazenda Marinha Vieiras da Ilha, localizada na Ponta da Aripéba, Baía de Ilha Grande, Angra dos Reis/RJ, sendo coletadas nos períodos de setembro e novembro de 2021. Nas ocasiões, os parâmetros de qualidade da água medidos no local foram: pH (8,24-8,25), percentual de oxigênio dissolvido (76,6-82,1), mg de oxigênio dissolvido (5,6-5,89), PSU de salinidade (31,46-30,68) e temperatura em graus Celsius (23,37-23,58), respectivamente, determinados pelo Grupo de Pesquisa. Após captura, os bivalves foram transportados vivos, com as valvas fechadas por elástico, em caixas térmicas com gelo, por deslocamento de até 100 km, do local de coleta até a Embrapa Agroindústria de Alimentos, em períodos de cerca 2 horas, chegando vivas aos locais de beneficiamento. Não houve manipulação após a despresa, ou seja, as vieiras foram mantidas fechadas nas caixas térmicas até a sua utilização na planta de pescado, evitando exposição e possíveis contaminações ambientais ou por manipulação, garantindo a qualidade natural do produto. Após a recepção, as vieiras passaram por processo de limpeza e desconche manual, com posterior separação de músculo adutor, vísceras e conchas (Figura 1) realizado no mesmo dia da captura. Após higienização, amostras do músculo adutor foram embaladas a vácuo em sacos de polietilenos de baixa densidade e submetidas ao tratamento de pressurização, exceto as amostras destinadas ao tratamento controle (sem aplicação de pressão), seguido de imediata refrigeração a 4 ± 2 °C de todas as amostras (Figura 2).



Figura 1. Etapas de limpeza e envase a vácuo do músculo adutor de vieiras: (1) Vieira íntegra na concha; (2) Vieira após o desconche, ainda com manto; (3) Músculo adutor de vieira limpo; (4) Amostras de músculo adutor envasadas a vácuo (Fonte: Imagens de autoria própria).

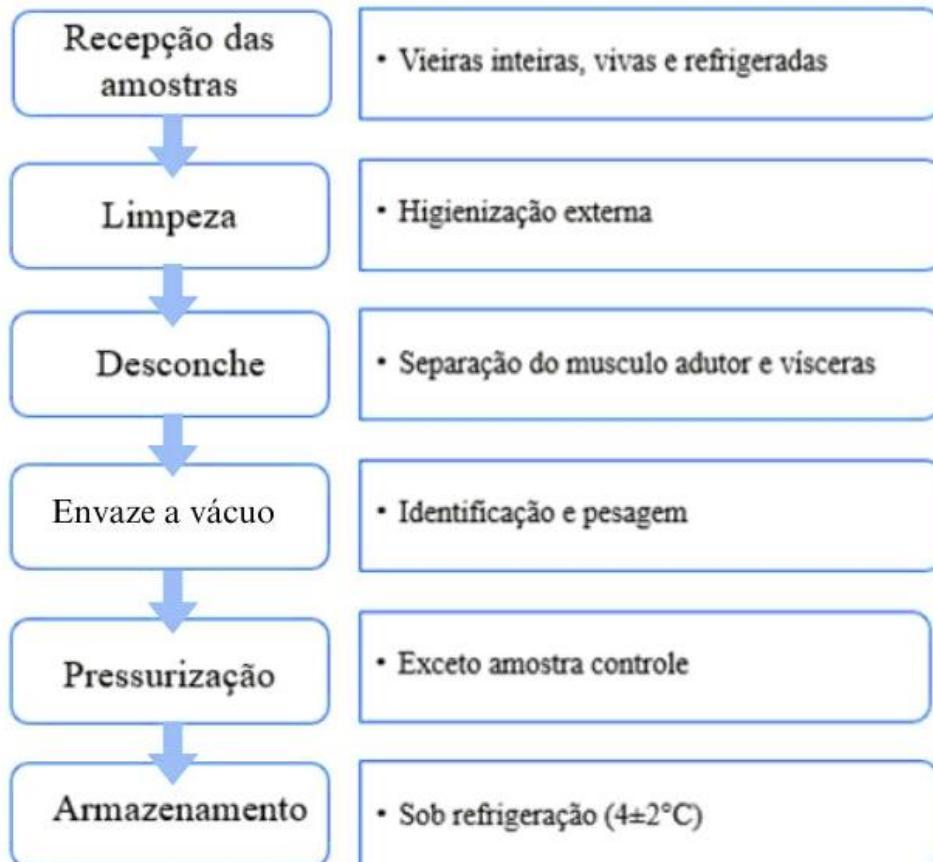


Figura 2. Fluxograma de processamento de vieiras

As amostras foram submetidas ao processo de APH em equipamento de escala piloto (Stansted Fluid Power modelo S-FL-850-9-W) (Figura 3) sendo, posteriormente, mantidas sob refrigeração ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) até o momento das análises, realizado no dia seguinte ao preparo.



Figura 3. Etapas de pesagem, envase, pressurização e armazenamento do músculo adutor de vieiras: (1) Pesagem do músculo adutor; (2) Amostras envasadas a vácuo; (3) Equipamento de APH; (4) Amostras envasadas, pressurizadas ou controle, identificadas e separadas para armazenamento (Fonte: Imagens de autoria própria).

2.2 Alta Pressão Hidrostática (APH)

Para o tratamento com APH, as amostras de vieira, embaladas a vácuo, foram acondicionadas no vaso de pressão cilíndrico (com dimensões totais de 4 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento, e volume útil de 250 ml) do equipamento, para posterior pressurização (de 200 a 400 MPa), por tempo pré-determinado (2,5 ou 5 min), à temperatura ambiente. Esta faixa de pressão abrangente foi aplicada para avaliação instrumental de textura (TPA e Cisalhamento) visando selecionar as condições que mantenham as melhores propriedades físicas deste pescado. As amostras tratadas por APH foram codificadas de acordo com a tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1. Codificação dos tratamentos para primeira etapa do experimento, de acordo com a pressão e tempo aplicados.

Tratamentos	Pressão (MPa)	Tempo (Min)
Controle	0	-
I	200	2,5
II	200	5
III	300	2,5
IV	300	5
V	400	2,5
VI	400	5

2.3 Microbiologia

As amostras foram analisadas quanto a contagem de bactérias aeróbias psicrotróficas, bactérias aeróbias mesófilas, *E. coli*, *Staphylococcus* coagulase positiva / *Staphylococcus aureus* e detecção de *Salmonella* spp. (ausência em 25g) conforme Tabela 2. As análises microbiológicas foram realizadas de acordo com a normativa RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001 para moluscos bivalves, resfriados ou congelados, não consumidos cru (BRASIL, 2001).

Tabela 2. Descrição das análises microbiológicas de acordo com o microrganismo avaliado.

Análise	Diluente	Meio de incubação	Forma de incubação	Tempo de incubação (horas)	Temperatura de incubação (°C)	Referência do método
Contagem padrão de bactérias aeróbias psicrotróficas (UFC/g)	Água Peptonada Tamponada (BPW)	PCA + 1% de NaCl	Superfície	24	7	Van Spreekens (1974)

Contagem padrão de Bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g)	Água Peptonada Tamponada (BPW)	PCA + 1% de NaCl	Superfície	72	30	Van Spreekens (1974) e Ryser e Schuman (2013)
Detecção de <i>Salmonella</i> spp. em alimentos (Ausência em 25g)	Água Peptonada Tamponada (BPW)	Xilose Lisina-Desoxicolato (Agar XLD)	Superfície e profundidade	24 24 24	37 35 37	American Journal of Public Health® (2001)
Contagem de <i>E. coli</i> (UFC/g)	Água Peptonada Tamponada (BPW)	Petrifilm™ CC	Superfície	24-48	45	AOAC (2002)
<i>Staphylococcus coagulase positiva / Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	Água Peptonada Tamponada (BPW)	Ágar Baird-Parker		24-48	35-37	American Journal of Public Health® (2001)

2.4 pH e Composição centesimal

Os valores de pH foram determinados inserindo um eletrodo com ponta de aço inoxidável no músculo, utilizando medidor de pH TESTO 205. O procedimento foi realizado em temperatura ambiente (25°C).

Foram realizadas as análises para quantificação de: extrato etéreo, cinzas, nitrogênio total, umidade e acidez total (AOAC, 2000; AOAC, 2010).

Para a realização da análise de umidade, alíquotas de amostra foram moídas e pesadas cerca de 2g do músculo adutor em pesa-filtro, com adição de areia e bastão, previamente seco a 70°C e devidamente tarado. A amostra foi aquecida durante 5 horas em estufa (vácuo a 70°C), sob pressão de 70 mm de mercúrio (Hg). As amostras, resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente, foram posteriormente pesadas. Esta operação de aquecimento e resfriamento foi repetida até obtenção de peso constante (AOAC, 1996). Por fim, foi adotada a seguinte fórmula para cálculo da umidade, segundo a equação (1):

$$\text{Teor de umidade (\%)} = (100 \times N) / P \quad (1)$$

onde:

N = massa de água evaporada (g)

P = massa da amostra (g)

Para análise de acidez total, foram transferidos 10 g de amostra do músculo adutor moído para um bêquer, com cerca de 50 mL de água aquecida isenta de gás carbônico, sendo a mistura agitada até a melhor dissolução possível. Esta solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL completando o volume com água. Após esta etapa, uma alíquota de 50 mL foi transferida para um erlenmeyer, esfriada e acrescentada com 0,15 mL de solução alcoólica de fenolftaleína a 1% (m/v), sendo titulada com solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/mL até obtenção de coloração rósea por 30 segundos. Para o cálculo da acidez, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Ácido lático} = (f \cdot V \cdot 0,09 \cdot n \cdot 100) / m \quad (2)$$

onde:

V = volume de solução de hidróxido de sódio 0,1 N (utilizado para titulação, em mL);

m = massa da amostra (em gramas);

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 N;

0,09 = fator de conversão do ácido lático;

N = normalidade de solução de hidróxido de sódio 0,1 N.

Após os cálculos, os resultados foram expressos em gramas de ácido lático por 100g.

2.5 Análise de Cor

A cor dos músculos adutores foi estimada por colorimetria tricromática (Francis & Clydesdale, 1975), utilizando colorímetro (CR-400, Konica Minolta Chroma Meter, Osaka, Japão) ajustado para operar com o iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. O colorímetro foi calibrado antes de cada série de medições utilizando placa de cerâmica branca ($Y = 93,18$, $x = 0,3138$ e $y = 0,3328$). Os parâmetros L^* (luminosidade de 0 a 100), a^* (de verde ($-a^*$) a vermelho ($+a^*$)) e b^* (de azul ($-b^*$) a amarelo ($+b^*$))) foram medidos usando a escala de cores CIElab. As medidas foram obtidas automaticamente após a descarga de um feixe de luz perpendicularmente à superfície do músculo. Dez repetições foram realizadas com duas leituras por músculo. Com esses parâmetros, calculou-se a diferença total de cores (ΔE) e o índice de Branco com as seguintes equações:

$$\text{Índice de Branco (W)} = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{0,5} \quad (3)$$

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0,5} \quad (4)$$

Quanto menor o valor de ΔE , mais próximas estão as cores das amostras. As diferenças na cor perceptível podem ser classificadas analiticamente como muito distintas ($\Delta E > 3$), distintas ($1,5 < \Delta E < 3$) e pequenas diferenças ($1,5 < \Delta E$) (Adekunle & Ozoemena, 2010).

2.6 Atividade de água

As análises de Atividade de água foram realizadas através de leitura direta, com utilização de medidor de atividade de água AquaLab Lite (Decagon Devices Inc, Pullman, EUA), operado a 25°C.

2.7 Capacidade de retenção de água

Para verificação da capacidade de retenção de água (CRA) pelo músculo adutor, foi utilizada a técnica proposta por GÓMEZ-GUILLÉN et al. (2002). Nesta abordagem, 2 g de amostra foram submetidas à uma força centrífuga (centrífuga Hettich - Zentrifugem, modelo Routine 38R, Hamburgo, Alemanha) de 4000 x g durante 10 minutos, à temperatura ambiente. A CRA é expressa como a porcentagem de água retida por 100 g de água presente no músculo antes da centrifugação. As análises foram realizadas em triplicata.

2.8 Textura

2.8.1 Perfil de textura (TPA)

As análises de textura foram realizadas nas amostras frescas (controle, não pressurizada e sem cocção prévia), nas amostras pressurizadas (sem cocção prévia), e nas amostras cozidas (sessão 2.8.3) e posteriormente pressurizadas, ambas a temperatura ambiente, utilizando a técnica de perfil de textura (TPA), descrita por Bourne (1978), Henry et al. (1971) e Anton & Luciano (2007) em texturômetro modelo TA-Hdi (Texture Analyser, Stable Micro System). O equipamento foi previamente calibrado com carga de célula de compressão de 5 kg com sonda metálica cilíndrica com 50 mm de diâmetro (P/50R) e taxa de deformação de 60 mm/min. As amostras foram dispostas no equipamento (Figura 4 – itens 1 e 2) considerando 10 amostras para cada tratamento de pressão/tempo (cru e cozido). Esta análise permite identificar os parâmetros de dureza, elasticidade, fraturabilidade, coesão, adesividade, mastigabilidade e

gomasidade de acordo com cada tipo de amostra, identificados através de software próprio do equipamento aqueles adequados à vieira.

2.8.2 Força de cisalhamento

Para avaliar a força de cisalhamento, foi utilizada a metodologia descrita por Beltrán-Lugo et al., (2006). O texturômetro Stable Micron System TA-XT2 foi utilizado na medição de textura das amostras, acoplado a lâmina Warner Bratzler (WB), através do cisalhamento do músculo adutor da vieira, realizado perpendicularmente às fibras musculares (Figura 4), para maior repetibilidade e variabilidade reduzida (Taylor et al., 2002). O equipamento foi previamente calibrado com carga de célula de compressão de 50 kg com sonda Warner Bratzler de 1,00 mm de espessura, operando a uma velocidade de 20cm/min. As medições de força de cisalhamento foram realizadas e a força de pico registrada foi expressa em Newton (N). As amostras foram dispostas no equipamento (Figura 4 – itens 3 e 4) considerando 10 amostras para cada tratamento de pressão/tempo.

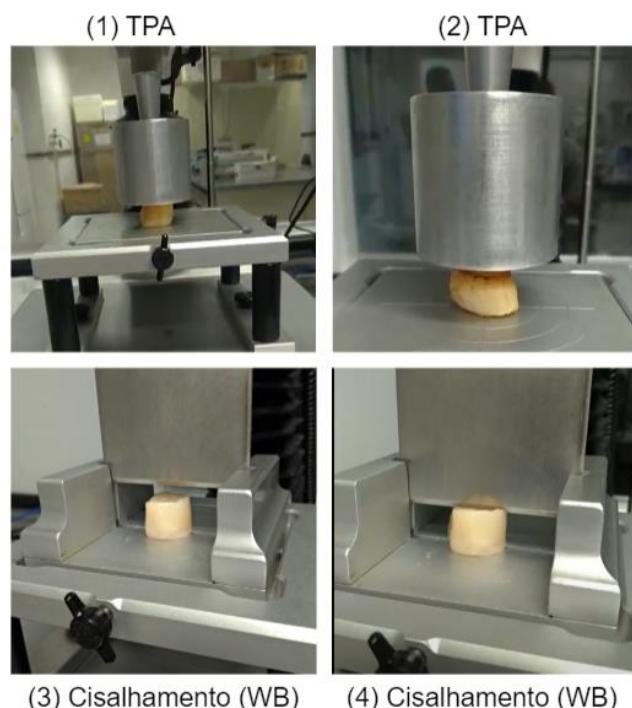
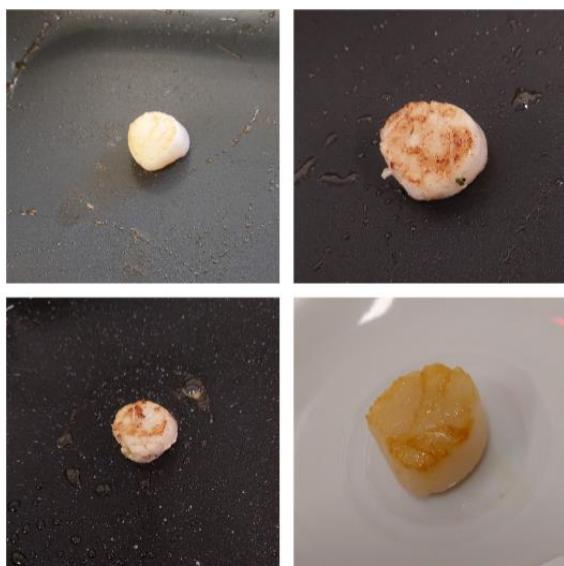


Figura 4. Etapas de análise de textura do músculo adutor de vieiras: (1) e (2) Músculo adutor em equipamento para análise TPA; (3) e (4) Análise de cisalhamento do músculo adutor em equipamento WB (Fonte: Imagens de autoria própria).

2.8.3 Processo de cocção para as análises de textura

Para avaliação de textura das vieiras cozidas, foi utilizado um padrão de cocção que consistiu em grelhar os músculos adutores por 30 segundos de cada lado, com viragem única, em panela antiaderente previamente aquecida a 180 °C (Figura 5). As análises foram realizadas após as vieiras atingirem temperatura ambiente (25°C), conforme determinado por termômetro de contato, inserido ao músculo adutor.



(1), (2), (3) e (4) Vieiras em processo de cocção

Figura 5. Processo gradativo de cocção do músculo adutor de vieiras para análise de textura (Fonte: Imagens de autoria própria da autora).

2.9 Análise estatística

Os resultados foram tratados estatisticamente por análises de variância (ANOVA) e as comparações múltiplas das médias através do teste de Tukey, com nível de significância estabelecido para todos os testes estatísticos realizados de 5 %. Todas as análises foram realizadas com o software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação microbiológica do processo

Os resultados das análises microbiológicas realizadas no músculo adutor de vieiras estão dispostos na Tabela 3. A análise de detecção de *Salmonella* spp (25g) resultou em ‘ausência’ desse microrganismo, não tendo sido detectada sua presença nas amostras de todos os tratamentos. De maneira análoga, não foi identificada contaminação de *Staphylococcus*

coagulase positiva / *S. aureus* (UFC/g) e *E. coli* (UFC/g). De acordo com o Código de Práticas do Codex para Peixe e Produtos da Pesca, *Escherichia coli*/coliformes fecais ou coliformes totais podem ser utilizados globalmente como um indicador da presença de contaminação fecal (FAO e OMS, 2020) na água e nos alimentos (Rubini, 2023), retratando a qualidade microbiológica dos produtos.

Foi observada a redução na carga de bactérias aeróbias psicrotróficas (UFC/g) para níveis indetectáveis a partir de aplicação de pressão de 200 MPa por 5 minutos. Já para as bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g), observou-se um leve aumento na contagem das amostras de 200 MPa por 2,5 e 5 minutos, em relação a amostra controle, porém com redução nas contagens para as amostras pressurizadas a 300 MPa por 2,5 e 5 minutos, e contagem em nível não mensurável nas amostras a 400 MPa. De maneira semelhante, Bonfim et al (2024) identificaram a presença de microrganismos piscrotróficos e mesófilos em vieiras tratadas por APH a 200 MPa e no controle não pressurizado, atingindo níveis indetectáveis a partir de pressões mais elevadas. Lee et al. (2022) evidenciaram que a alta pressão hidrostática melhorou a segurança alimentar de moluscos crus prontos para consumo, marinados em molho de soja. Corroborando também com os resultados obtidos no presente estudo e as demais pesquisas apresentadas, Bou et al (2023) descreveram a APH como sendo capaz de retardar a deterioração da carne do pescado ao inibir o crescimento microbiano. Na mesma linha, Yin & Shi (2023) relataram que o uso da APH, como processamento não térmico, pode ser usado como uma estratégia para controlar a qualidade microbiológica de produtos aquáticos, apresentando efeitos mais brandos na qualidade, quando comparado a outros processamentos. É importante salientar que em ambiente de pesquisa, as condições de manipulação são controladas, favorecendo os resultados satisfatórios para as análises microbiológicas.

Tabela 3. Contagem microbiológica de músculo adutor de vieiras processadas por APH.

Análise	Controle	Tratamento					
		200/2,5	200/5	300/2,5	300/5	400/2,5	400/5
<i>Salmonella</i> spp. em alimentos (em 25g)	Ausência						
<i>Staphylococcus</i> coagulase positiva / <i>S. aureus</i> (UFC/g)	<1,0 x 10 ¹						
<i>E. coli</i> (UFC/g)	<1,0 x 10 ¹						
Bactérias aeróbias psicrotróficas (UFC/g) *	5,0 x 10 ³	1,0 x 10 ²	5,0 x 10 ¹	<1,0 x 10 ¹	<1,0 x 10 ¹	<1,0 x 10 ¹	<1,0 x 10 ¹
Bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g)	1,0 x 10 ¹	5,0 x 10 ³	2,1 x 10 ⁴	<1,0 x 10 ¹			

(*) Valores estimados referem-se a contagens abaixo ou acima dos limites estabelecidos pelo método. Os limites estabelecidos são: * entre 25 e 250 UFC/g ou mL.

3.2 Efeito do processamento por APH sobre pH, composição centesimal, atividade de água e capacidade de retenção de água do músculo adutor das vieiras

A Tabela 4 apresenta os resultados de pH, composição centesimal, atividade de água e capacidade de retenção de água do músculo adutor das vieiras tratadas por APH em relação ao controle. Os valores de atividade de água (Aw) e cinzas não diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos pressurizados e controle.

Os valores de pH, apesar de não diferirem significativamente ($p \leq 0,5$) entre o controle e os tratamentos de pressão aplicados, apresentaram ligeiro aumento, a partir de 200 MPa por 5 minutos, com pH do controle em $6,37 \pm (0,16)$, chegando a $6,51 \pm (0,04)$ quando submetidos a pressão de 300 e 400 MPa por 2,5 minutos, estando mais próximo da neutralidade, sugerindo tendência oposta à deterioração. Em consonância, diversos autores relatam o aumento do pH em moluscos bivalves quando submetidos ao aumento de pressão (Hsu, Hwang, Chi & Lai, 2010; Lin et al., 2022a; Lin et al., 2022b). Lin et al. (2022a) relataram aumento do pH de 6,22 no controle, para 6,86 no produto tratado a 600 MPa ($p < 0,05$). Em estudo realizado com ostras, observou-se que o pH do molusco aumentou quando submetido a pressão (200-500 MPa, 5 minutos), passando de 6,39 no grupo de controle para 6,83 na aplicação máxima de pressão (Tong et al., 2023). Dentre as amostras pressurizadas no presente estudo, o tratamento 200 MPa/2,5 min., diferiu significativamente tanto da amostra de mesma aplicação de pressão, 200 MPa, com tempo superior (5 min.), quanto das amostras com aplicação de pressão superiores, 300 e 400 MPa, com mesmo tempo de exposição (2,5 min.) (Tabela 4).

Em relação à umidade, a amostra controle mostrou pequenas diferenças, porém significativas ($p \leq 0,05$), em relação aos tratamentos 200/5, 300/2,5 e 400/5. O resultado não demonstra que a alteração de umidade esteja relacionada à técnica de APH em si, ou possui qualquer influência do tempo utilizado. Apesar disso, o tratamento de maior tempo e pressão (400/5) diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) dos demais tratamentos avaliados, apresentando teor de umidade de 76,52 g/100g, o mais baixo registrado entre as amostras. Esse resultado se coloca em direção oposta a um dos efeitos esperados da HPP, que é o aumento no teor de umidade devido ao aumento da absorção de água pela proteína, aumentando a hidratação (Chawla, Patil, & Singh, 2011; Oliveira et al., 2017; Liu et al., 2022) e possível retenção residual de umidade, durante a determinação analítica. Alguns pesquisadores relataram o aumento da umidade em ameijoas e ostras após tratamento por APH e atribuem o resultado ao

aumento do nível de hidratação de proteínas desses moluscos (Cruz-Romero et al., 2004; Lin et al., 2022a; Lin et al 2022b). Seguindo a mesma tendência, Bonfim et al (2024) relataram um aumento significativo no teor de umidade de vieiras pressurizadas em comparação ao controle, a partir de 200 MPa por 5 minutos. Liu et al (2020) compararam ostras cruas e pressurizadas (400MPa/3min), não identificando diferenças significativas entre o teor de umidade para os tratamentos avaliados. No entanto, é sabido que vários fenômenos simultâneos podem estar envolvidos durante a pressurização, além da desnaturação de proteínas, como compactação e aglomeração, expondo mais ou menos radicais hidrofílicos de aminoácidos, o que pode influenciar a capacidade de solvatação das proteínas (Balny & Masson, 1993; Bianco & Franzese, 2015; Masson & Lushchekina, 2022).

A capacidade de retenção de água (CRA) é um atributo do tecido muscular no suporte a perda de água (Rocco et al., 2018). As amostras oriundas dos tratamentos de pressão a 200 MPa (2,5 e 5 minutos) e 400/2,5 diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) da amostra controle com relação à capacidade de retenção de água. Nesses tratamentos, a CRA diminuiu quando comparada ao controle e apresentou valores absolutos ligeiramente menores que os demais tratamentos de pressão, apesar de ausência de diferenças significativas entre as amostras pressurizadas. Os resultados demonstram relação do uso da APH com a redução ou preservação da CRA, conforme os níveis de tratamento de pressão ou tempo aplicados. Em um estudo conduzido por Campus et al (2010), foi possível identificar uma redução na CRA em tecido muscular de dourados, quando expostos a níveis elevados de pressão (400MPa), devido a inativação de enzimas que atuam em proteínas relacionadas à preservação da integridade do tecido e, por sua vez, contribuem para a preservação da CRA. De maneira semelhante, Ramirez-Suarez e Morrissey (2006) atribuíram a redução da CRA de atum pressurizado a mudanças de desnaturação na estrutura miofibrilar do músculo. Martínez et al (2017) relataram diferenças na CRA de amostras de caranguejo pressurizado, sugerindo que em pressões mais elevadas pode haver a interrupção de interações eletrostáticas que estabilizam a estrutura quaternária e terciária, resultando na dissociação de proteínas.

A APH afetou negativamente a CRA, mas apresentou resultados mais próximos do controle em maiores níveis de pressão aplicados, atingindo diferenças não significativas quando pressurizados a 400 MPa por 5 minutos. Salienta-se a relação direta do CRA com o rendimento de processo e atributos sensoriais (Luo et al., 2021). Alguns estudos relataram discordâncias na linearidade da relação entre a CRA e a pressão aplicada, em pescados, incluindo vieiras (Roco et al., 2018; Bonfim et al., 2024). Diversos autores defendem o fato de que a CRA pode variar

de acordo com o tipo de pescado, apresentando redução ou aumento do índice quando submetidos a APH (Christensen et al., 2017; Oliveira et al., 2017). Além disso, condições específicas de processamento ou das características da proteína podem influenciar nos resultados (Oliveira et al., 2017; Bonfim et al., 2019; Bonfim et al., 2024).

Tabela 4. Avaliação de parâmetros físico-químicos do músculo adutor de vieiras.

Tratamentos	pH	Umidade (g/100g)	Aw	CRA	Cinzas	Nitrogênio Total (g/100g)	Extrato Etéreo (g/100g)
Controle	6.37 ± (0.16) ^{ab}	77.17 ± (0.04) ^{bc}	0.958 ± (0.026) ^a	0.13 ± (0.06) ^a	1.22 ± (0.08) ^a	2.82 ± (0.01) ^{ab}	2.04 ± (0.36) ^a
200/2,5	6.33 ± (0.08) ^b	77.12 ± (0.02) ^{cd}	0.992 ± (0.008) ^a	0.03 ± (0.01) ^b	1.30 ± (0.04) ^a	2.68 ± (0.08) ^b	1.19 ± (0.11) ^b
200/5	6.54 ± (0.11) ^a	76.97 ± (0.05) ^d	0.969 ± (0.028) ^a	0.03 ± (0.01) ^b	1.25 ± (0.04) ^a	2.74 ± (0.02) ^{ab}	0.90 ± (0.25) ^b
300/2,5	6.51 ± (0.04) ^a	77.66 ± (0.08) ^a	0.929 ± (0.040) ^a	0.07 ± (0.01) ^{ab}	1.20 ± (0.05) ^a	2.78 ± (0.05) ^{ab}	1.32 ± (0.12) ^{ab}
300/5	6.48 ± (0.07) ^{ab}	77.13 ± (0.04) ^{cd}	0.940 ± (0.017) ^a	0.08 ± (0.01) ^{ab}	1.27 ± (0.00) ^a	2.77 ± (0.16) ^a	1.30 ± (0.40) ^{ab}
400/2,5	6.51 ± (0.04) ^a	77.33 ± (0.05) ^b	0.989 ± (0.019) ^a	0.05 ± (0.02) ^b	1.27 ± (0.03) ^a	2.81 ± (0.01) ^{ab}	1.60 ± (0.06) ^{ab}
400/5	6.47 ± (0.06) ^{ab}	76.52 ± (0.02) ^e	0.963 ± (0.011) ^a	0.09 ± (0.03) ^{ab}	1.32 ± (0.05) ^a	2.85 ± (0.01) ^a	1.95 ± (0.05) ^a

(*) Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente.

A análise de Nitrogênio Total (g/100g) apresentou diferenças significativas entre o tratamento 200/2,5, em relação aos tratamentos mais intensos de pressão com tempo máximo aplicado, 300/5 e 400/5. Apesar disso, as diferenças foram reduzidas em termos de valor absoluto, e os tratamentos não diferiram significativamente da amostra controle em sua composição.

Os resultados de Extrato Etéreo (g/100g), ainda que tenham apresentado diferenças significativas para os tratamentos de 200 MPa em comparação ao controle e sejam valores expressivamente mais baixos que os demais tratamentos, demonstram que quanto maiores os níveis de pressão aplicadas, mais próximos são ao controle, em termos de composição energética. Não existe razão evidente para a influência da pressurização na composição, considerando que os resultados dos métodos analíticos expressam a composição da matriz, que em si não deve ter sido afetada pela APH, mantendo os macroelementos.

3.3 Cor do músculo adutor das vieiras

A Tabela 5 apresenta os resultados na avaliação de cor de músculo adutor de vieiras pressurizadas e do controle, sem aplicação de pressão. Os parâmetros cromáticos de L* demonstraram diferenças significativas em vieiras pressurizadas a 300/2,5 e 400/5, quando comparadas ao controle. Além disso, é possível observar leve influência no aumento de L* com o aumento da pressão aplicada. Em contrapartida, o tempo não influiu de forma relevante na luminosidade. Essas alterações nos valores de L* podem ser causadas pela perda de pigmento ativo (mioglobina) e coagulação de proteínas (Kaur, Rao, & Nema, 2016; Liu et al., 2022). De maneira mais expressiva, em estudos com ostras pressurizadas 200-600 MPa, foi observado o valor de L* de bivalves tendem a elevar com o aumento da pressão aplicada, proporcionando aparência de alimento cozido (Cruz-Romero, Kerry, & Kelly, 2008; Campus, 2010; Liu et al., 2022). Bonfim et al (2024) identificaram, em vieiras pressurizadas 200-400 MPa (0-5 min), um aumento no valor de L* com o aumento da pressão e tempo aplicados do processo. No estudo conduzido por Lin et al. (2022a), observou-se que a carne de amêijoa submetida ao tratamento com APH apresentou uma coloração branca e brilhante.

A desnaturação das proteínas miofibrilares e sarcoplasmáticas e a oxidação lipídica são fatores descritos como capazes de alterar a cor de produtos aquáticos, observando variações nos valores de a* e b* (Cruz-Romero, Kerry, & Kelly, 2008; Campus, 2010; Liu et al 2022). Analisando a*, relativo ao espectro vermelho, não houve diferença significativa para os

tratamentos a 300/5 e 400/2,5. Igualmente não foi verificado alterações significativas em a* por influência da alta pressão ou tempo aplicados nos tratamentos. Da mesma forma, Bonfim et al. (2024) também não identificaram diferenças significativas para a* em vieiras pressurizadas até 400 MPa por 5 minutos.

Com desvio padrão elevado, o indicador de cor amarelo/azul b* apresentou diferenças significativas em 200/2,5 e 200/5 em relação aos demais tratamentos, com índices expressivamente mais baixos de $2.31 \pm (1.19)$ e $2.89 \pm (1.26)$, respectivamente. Os demais tratamentos apresentaram variações entre 4,77 e 6,98, sem aparente relação com a pressão aplicada. Em estudo semelhante, Bonfim et al (2024) identificaram valores para b* que variaram entre 4,97 e 6,33 (200-400 MPa, 0 a 5 min), em consonância ao presente estudo.

Tabela 5. Caracterização de cor dos tratamentos de músculo adutor de vieiras.

Tratamentos	L*	a*	b*	W	ΔE
Controle	$57.52 \pm (1.05)^b$	$1.33 \pm (0.33)^a$	$6.98 \pm (1.53)^a$	$56.90 \pm (0.82)^b$	
VP 200-2,5	$61.03 \pm (1.57)^{ab}$	$-0.47 \pm (0.43)^{bc}$	$2.31 \pm (1.19)^b$	$60.94 \pm (1.57)^{ab}$	$2.44 \pm (1.68)^{ab}$
VP 200-5	$60.85 \pm (0.96)^{ab}$	$-1.07 \pm (0.38)^c$	$2.62 \pm (1.36)^b$	$60.73 \pm (1.04)^{ab}$	$1.31 \pm (1.00)^b$
VP 300-2,5	$62.88 \pm (2.61)^a$	$-0.10 \pm (0.59)^{bc}$	$5.36 \pm (2.64)^{ab}$	$62.40 \pm (2.36)^a$	$3.39 \pm (2.02)^{ab}$
VP 300-5	$62.13 \pm (2.17)^{ab}$	$0.51 \pm (0.52)^{ab}$	$4.88 \pm (2.24)^{ab}$	$61.75 \pm (2.00)^{ab}$	$2.56 \pm (1.92)^{ab}$
VP 400-2,5	$62.29 \pm (5.17)^{ab}$	$1.13 \pm (1.07)^a$	$6.80 \pm (2.63)^a$	$61.57 \pm (5.16)^{ab}$	$6.77 \pm (5.01)^a$
VP 400-5	$62.79 \pm (3.33)^a$	$-0.36 \pm (0.88)^{bc}$	$4.77 \pm (2.60)^{ab}$	$62.39 \pm (3.21)^a$	$5.25 \pm (3.96)^{ab}$

(*) Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente

Os índices de Branco (W) foram significativamente mais altos para 300/2,5 e 400/5, em comparação ao tratamento controle, causando a aparência de alimento cozido, conforme os resultados apresentados na Tabela 5. Além disso, todos os tratamentos de pressão apresentaram valores ligeiramente superiores ao controle, indicando um leve aumento no índice da brancura dos músculos de vieira pressurizados. Não houve diferença significativa para W entre as pressões aplicadas ou entre os tempos de tratamento dentro do mesmo nível de pressão. De maneira semelhante, Bonfim et al (2024) identificaram que os tratamentos de 200 MPa a 400 MPa, por 0 a 5 minutos, apresentaram índice de Branco significativamente mais elevados, exceto 200 MPa por 0 minutos (tratamento de menor intensidade), em comparação ao controle. Cabe ressaltar que o índice de Branco apresenta diferentes intensidades para diferentes matrizes e tratamentos, de acordo com o pescado analisado, uma vez que a cor da superfície dos produtos se torna mais branca em níveis de pressão mais altos e tempos de exposição mais longos conforme a composição e características, resultando comumente em um produto com aparência mais esbranquiçada e de cozido (BOU et al., 2023; YU et al., 2020).

Os valores de ΔE não diferiram significativamente entre o controle e os tratamentos de pressão aplicados. Apesar disso, ΔE apresentou os valores mais altos para as amostras pressurizadas a 400MPa, em ambos os tempos de aplicação de pressão.

Os tratamentos de 300/2,5, 400/2,5 e 400/5 apresentaram $\Delta E > 3$ (Tabela 5) sendo considerados ‘muito distintos’, de acordo com a escala proposta de diferença total de cor (Adekunle & Ozoemena, 2010). Já o tratamento 200/5, é classificado como apresentando ‘poucas diferenças’, indicando maior proximidade de cores dentro das amostras de mesmos parâmetros de processo. Os demais tratamentos (controle, 200/2,5 e 300/5) são classificados como ‘distintos’, dentro da mesma classificação de diferença total de cor. Em contrapartida, em experimento também realizado com vieiras, Bonfim et al (2024) obtiveram valores de ΔE considerados muito distintos para todos os tratamentos de pressão. Por outro lado, Liu et al (2022) descreveram diferenças de cor em ostras, com aumento do valor ΔE^* entre ostras cruas e tratadas com APH, conforme o aumento da pressão aplicada, analogamente ao presente estudo.

3.4 Avaliação da textura do músculo adutor das vieiras cruas e após a cocção

As propriedades texturais da carne são frequentemente avaliadas por teste de compressão, método Warner–Bratzler (WB) ou análise de perfil de textura (TPA) (Wu et al., 2023). O TPA possui algumas vantagens quando comparado ao método WB, fornecendo melhor previsão das características de textura da carne (De Huidobro et al., 2005). Em contrapartida, o WB possui especificidade em sua utilização, avaliando o corte da amostra analisada.

Para o presente estudo, ambos os métodos foram aplicados, utilizando a carne de vieira crua e após a cocção (cozimento, explicado no item 2.8.3), com a finalidade de obter mais informações sobre a textura da carne e comportamento da mesma, após aplicação de APH. Nesse contexto, foram avaliadas as características de dureza, adesividade, mastigabilidade, gomosidade, elasticidade e força de cisalhamento das amostras (Tabela 6).

Tabela 6. Perfil textural de vieiras processadas por APH, com e sem cocção.

Tratamentos	Dureza	Adesividade	Mastigabilidade	Gomosidade	Elasticidade	Força
Controle_cocção	47.16 ± (3.54) ^{abcde}	- 1.64 ± (0.91) ^a	6.71 ± (0.76) ^{bcd}	12.45 ± (2.16) ^{bcd}	0.55 ± (0.06) ^a	0.45 ± (0.19) ^{bc}
Controle	29.77 ± (2.30) ^f	- 69.09 ± (38.04) ^{cd}	0.61 ± (0.14) ^h	3.56 ± (0.72) ^f	0.17 ± (0.01) ^d	0.38 ± (0.25) ^{bc}
200/2,5_cocção	40.93 ± (7.23) ^{cdef}	- 3.06 ± (2.21) ^a	5.06 ± (1.62) ^{cdef}	10.04 ± (2.45) ^{cde}	0.50 ± (0.06) ^{ab}	0.52 ± (0.32) ^{bc}
200/2,5	36.40 ± (8.75) ^{ef}	- 56.92 ± (9.57) ^{bc}	1.08 ± (0.31) ^h	5.31 ± (1.61) ^{ef}	0.22 ± (0.02) ^{cd}	0.40 ± (0.38) ^{bc}
200/5_cocção	55.46 ± (9.54) ^{abc}	- 2.11 ± (0.83) ^a	7.30 ± (0.99) ^{abc}	14.43 ± (2.42) ^{abc}	0.51 ± (0.06) ^{ab}	0.19 ± (0.06) ^c
200/5	37.07 ± (5.40) ^{def}	- 69.30 ± (23.15) ^{cd}	1.04 ± (0.35) ^h	4.79 ± (1.55) ^{ef}	0.21 ± (0.03) ^{cd}	0.37 ± (0.35) ^{bc}
300/2,5_cocção	44.21 ± (7.81) ^{bcd}	- 6.44 ± (3.12) ^{ab}	5.44 ± (1.16) ^{cde}	12.44 ± (3.45) ^{bcd}	0.52 ± (0.10) ^{ab}	0.22 ± (0.14) ^{bc}
300/2,5	36.60 ± (5.41) ^{def}	- 100.67 ± (42.45) ^{cd}	1.68 ± (0.39) ^{gh}	6.58 ± (1.26) ^{ef}	0.29 ± (0.03) ^c	0.51 ± (0.34) ^{bc}
300/5_cocção	52.74 ± (12.58) ^{abcd}	- 7.85 ± (1.88) ^{ab}	9.77 ± (2.34) ^a	17.14 ± (5.06) ^{ab}	0.60 ± (0.07) ^a	1.21 ± (0.56) ^a
300/5	43.78 ± (3.00) ^{bcd}	- 114.26 ± (45.15) ^d	2.23 ± (0.58) ^{efgh}	7.94 ± (1.26) ^{def}	0.29 ± (0.04) ^c	0.47 ± (0.19) ^{bc}
400/2,5_cocção	58.54 ± (12.36) ^{ab}	- 6.81 ± (4.01) ^{ab}	9.23 ± (2.61) ^{ab}	17.93 ± (5.29) ^{ab}	0.51 ± (0.05) ^{ab}	0.63 ± (0.34) ^{bc}
400/2,5	45.90 ± (1.72) ^{bcd}	- 86.50 ± (52.49) ^{cd}	4.04 ± (1.42) ^{defg}	9.68 ± (1.50) ^{cde}	0.43 ± (0.09) ^b	0.21 ± (0.07) ^{bc}
400/5_cocção	62.65 ± (11.96) ^a	- 8.42 ± (3.85) ^{ab}	9.68 ± (2.33) ^a	18.44 ± (4.16) ^a	0.51 ± (0.03) ^{ab}	0.71 ± (0.20) ^{ab}
400/5	46.29 ± (9.29) ^{bcd}	- 105.43 ± (34.03) ^{cd}	2.56 ± (1.16) ^{fgh}	8.93 ± (2.92) ^{cdef}	0.28 ± (0.06) ^{cd}	0.22 ± (0.15) ^{bc}

(*)Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si ($p>0.05$).

(**) “Cocção” refere-se ao processo de cozimento do músculo adutor de vieiras, após a aplicação de APH.

Dureza

Na avaliação de dureza, a amostra ‘controle’ apresentou diferença significativa do ‘controle-cocção’, indicando que a dureza do músculo aumentou substancialmente com o processamento térmico.

Apesar de aumentar a dureza conforme o aumento dos níveis na aplicação de pressão e tempo, apenas o tratamento de ‘400/5’ diferiu significativamente do ‘controle’, nos tratamentos sem cocção. Com índices de $46.29 \pm (9.29)$, o tratamento ‘400/5’ apresenta índices semelhantes a carne sem aplicação de pressão, após a cocção. Isso sugere que a alteração na estrutura do tecido durante o processamento mais intenso de APH avaliado, se equipara ao comportamento do tecido após exposição ao calor. Por outro lado, intensidades de pressão muito altas podem causar desnaturação de proteínas, portanto, enrijecimento do tecido da carne, aproximando da aparência de cozido. Este efeito se tornou mais pronunciado com o aumento do tempo de tratamento. Gong et al. (2023) avaliaram vieiras do Golfo (mar de Bohai, China) submetidas a alta pressão de 200 MPa por 60, 120 e 180 segundos, observando um aumento no índice de dureza com o tempo de exposição, em comparação ao controle. Esse efeito foi atribuído a alterações na conformação das ligações dissulfeto entre as moléculas de proteína do músculo adutor da vieira. Em contrapartida, Bou et al (2023), indicaram que o tratamento de APH a 250 MPa/6 min não afetou significativamente a textura de filé de dourada, quando marinada e aplicada em associação a vácuo, causando mínimas alterações nas proteínas.

Embora tenha ocorrido um aumento na dureza dos tratamentos de 200/5, 300 e 400 em todos os tempos de pressão, a carne de vieira ‘controle-cocção’ não diferiu significativamente dos tratamentos de pressão após a cocção, indicando dureza similar e mais “uniforme” da vieira após o processo de cozimento. Os efeitos da APH na dureza do alimento podem variar de acordo com a espécie utilizada, parâmetros de processo e metodologia analítica utilizada (Oliveira et al., 2017), como no presente estudo.

Dentro do mesmo grupo de significância estão ‘controle’, todos os tratamentos a 5 minutos e o maior nível de pressão aplicado, mesmo com tempo de 2,5 minutos. Isso indica que o tempo de exposição à pressão interfere na dureza da vieira, com maior expressividade em pressões mais baixas, após o processo de cozimento. Ou seja, em relação ao tempo de tratamento, foi observada maior efetividade do processo de APH na dureza, após o cozimento da carne. Desse modo, nas vieiras cruas, só houve diferença significativa para o tratamento ‘400/5’.

Em decorrência do acima mencionado, a tecnologia de alta pressão não interferiu substancialmente na textura da carne quando o produto está cozido, mais próximo da forma usual de consumo. Supõe-se que a cocção apresentou um efeito na dureza que anula o aumento dessa característica decorrente do processamento de APH.

Adesividade

Os tratamentos pressurizados da vieira crua não diferiram significativamente do tratamento controle e apresentaram um desvio padrão elevado. Apesar disso, os resultados indicam que, dentro da mesma intensidade de pressão, os valores de adesividade são mais acentuados para os tratamentos com maior tempo de exposição, que foi de 5 minutos. Nesse contexto, em pressões acima de 300 MPa, não foi possível identificar relação direta para alteração na adesividade apenas com o efeito da pressão de maneira isolada, estando ligada ao tempo de exposição. Os efeitos da adesividade trazem suposições e indícios a partir do seu aumento em pressões mais elevadas e tempos de exposição igualmente maiores, mas o desvio padrão elevado reduz a assertividade na avaliação desse aspecto.

O cozimento apresentou efeito substancial para a adesividade, reduzindo sua capacidade de aderência, diferindo significativamente do alimento cru em todos os todos os tratamentos. Um dos fatores que pode ter influenciado nesse resultado foi supostamente a redução da umidade no alimento cozido, pela evaporação da água no processo ou retenção da mesma (Ramane et al., 2012; Biyikli, et al., 2020). Apesar de ocorrer aumentos absolutos no índice de adesividade a partir de 300 MPa/2,5 min., o tratamento controle-cocção não diferiu significativamente dos tratamentos de pressão, igualmente cozidos (Figura 6, sessão (b)).

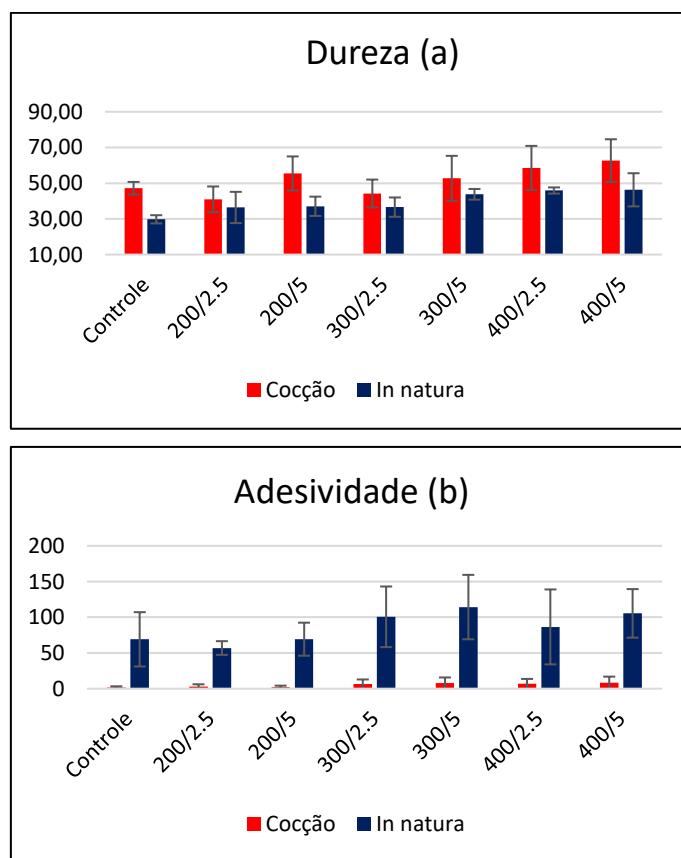
A intensidade da adesividade nas amostras foram significativamente dependentes do cozimento aplicado. Já o estímulo de pressão, independente do tempo aplicado nesse estudo, não alterou negativamente o produto após o cozimento da vieira.

Mastigabilidade

A mastigabilidade é uma propriedade complexa, que é determinada pela dureza, a coesão e a elasticidade juntas (Siró, 2009). Nesse estudo, a pressão parece ter influenciado ligeiramente os índices de mastigabilidade, com aumento dos seus valores absolutos, mas não apresentando diferenças significativas, exceto o tratamento 400/2,5. Os valores de mastigabilidade mais altos para tratamentos de pressão maiores indicam, portanto, uma tendência à redução na maciez conforme o aumento da pressão aplicada.

A cocção elevou os índices de mastigabilidade das amostras, indicando que elas se tornaram mais firmes. De maneira geral, quanto menor a mastigabilidade, maior a maciez (Siró, 2009). Apesar de não demonstrar diferenças significativas, observou-se uma correlação entre a mastigabilidade e o tempo de tratamento de APH, para as vieiras após o cozimento. Os valores de mastigabilidade mais altos indicam, portanto, menor maciez da carne com cocção em comparação a carne crua (Figura 6, sessão (c)).

As características gerais relacionadas no presente estudo obtidas por meio do tratamento de APH é consistente com estudos anteriores. Tong et al. (2023) notaram que as características de textura das ostras passaram por mudanças significativas de textura instrumental após o tratamento com APH, evidenciando um aumento relevante na dureza e mastigabilidade, em comparação ao grupo controle sem tratamento ($p < 0,05$).



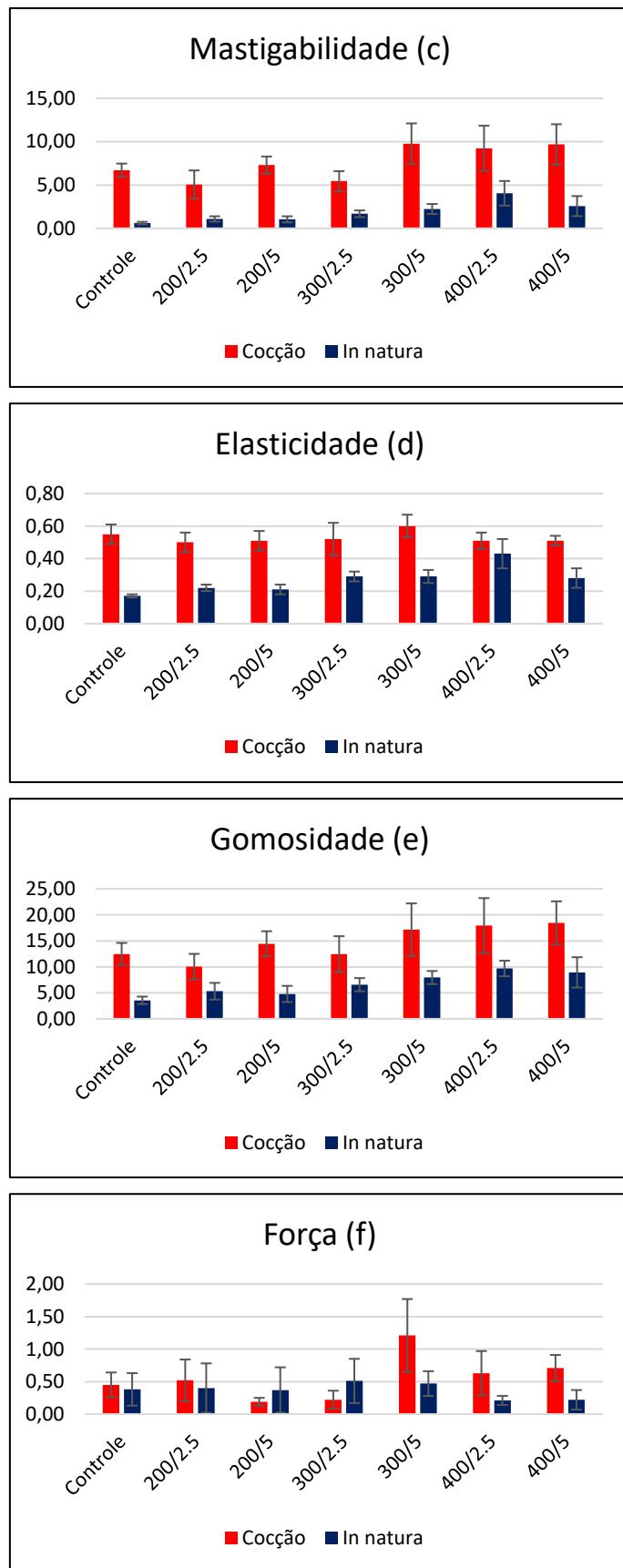


Figura 6. Gráficos de coluna agrupada, segmentado por caracterização textural do músculo adutor de vieiras. (a) Dureza; (b) Adesividade; (c) Mastigabilidade; (d) Elasticidade; (e)

Gomosidade; (f) Força. “Cocção” refere-se ao processo de cozimento do músculo adutor de vieiras, após a aplicação de APH.

Elasticidade

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos pressurizados em comparação ao controle com relação à elasticidade. Em contrapartida, Tong et al (2023) evidenciaram aumento na elasticidade de ostras pressurizadas, de acordo com maior intensidade de aplicação de pressão.

De maneira semelhante, não houve diferença significativa entre os tratamentos após a cocção, em comparação ao ‘controle-cocção’. As diferenças observadas, em todos os níveis de pressão, foram em comparação aos tratamentos sem e com cocção, demonstrando uma clara relação entre a maior elasticidade e os processos de cozimento. De maneira geral, a cocção elevou os índices de elasticidade dos tratamentos, apresentando diferenças significativas quando comparadas em mesmo nível de pressão (Figura 6, sessão (d)). Já o tempo de tratamento não afetou significativamente o valor da elasticidade das vieiras, independente do processo estar ou não aplicado em associação com a cocção.

Gomosidade

A gomosidade é uma característica que une a dureza e a mastigabilidade, sendo assim representada como a energia necessária para mastigar um alimento até que esteja pronto para ser engolido. Quanto maior a gomosidade, mais coeso e resistente à mastigação. Dessa forma, consolidando os resultados demonstrados anteriormente, a gomosidade apresentou índices mais elevados para os tratamentos com maior nível de pressão e após o cozimento.

De maneira geral, a gomosidade aumentou conforme o aumento da pressão e tempo aplicados, com exceção do tratamento ‘400/2,5’, que além de apresentar diferença significativa em relação ao ‘controle-cocção’, denotou o maior valor absoluto em relação aos demais tratamentos sem cozimento.

Com índices de $18.44 \pm (4.16)$, o tratamento ‘400/5-cocção’ apresentou diferenças significativas com relação ao ‘controle-cocção’, ‘200-2,5’ e ‘300-2,5’, sugerindo relação positiva entre o maior tempo de exposição no tratamento de APH com a maior gomosidade, alternando as características do músculo cru.

Força

Índices superiores no parâmetro ‘força de cisalhamento’ foram encontrados nos tratamentos de maior tempo de exposição e intensidade de pressão (300 e 400 MPa por 5 min) após a cocção, com destaque para o tratamento 300MPa/5min, que diferiu significativamente dos demais tratamentos.

Os tratamentos com cocção apresentaram ligeiro aumento nos valores absolutos de força quando comparados aos mesmos níveis de pressão aplicados, exceto para os tratamentos de 200/5 e 300/2,5, onde apesar de não demonstrar diferença significativa, essa influência foi menor.

A APH não apresentou diferença significativa dos índices de força para as vieiras sem tratamento térmico, ainda que indique ligeira redução em seus valores absolutos para 400/2,5 e 400/5, quando comparadas ao controle. De maneira mais expressiva e com mesma tendência, Bonfim et al. (2024) encontraram redução na força de cisalhamento em suas amostras pressurizadas (200-400MPa). Diversos fatores podem estar envolvidos da redução da resistência do músculo pressurizado, como a perda de água e desnaturação ou alteração na conformação de proteínas, que proporcionam alterações estruturais no alimento (Martínez et al., 2017; Tong et al., 2023; Bonfim et al., 2024).

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que a APH favorece a qualidade microbiológica das vieiras (*Nodipecten nodosus*), sem prejuízo às características físico-químicas e texturais. Assim, a aplicação do tratamento APH no processamento de vieiras mostrou vantagens em comparação aos métodos de tratamento térmico convencional e nenhuma influência negativa em comparação do controle e pressurizados após o tratamento térmico. Os resultados podem levar ao melhor desempenho na produção e comercialização de músculo adutor de vieiras de qualidade superior e mais segura, sem afetar características essenciais no produto pronto para consumo cozido. Há a necessidade de realizar maiores estudos a fim de investigar com mais clareza o quanto a APH pode afetar a estrutura muscular desse fruto do mar.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Todas as referências citadas em todos os capítulos são apresentadas em sessão única ao final da tese.

CAPÍTULO 4

**ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA PARA
POTENCIALIZAR A QUALIDADE DAS
VIEIRAS: EFEITOS NA PROTEÍNA
DIGESTÍVEL**

RESUMO

Avaliações prévias do processamento do músculo adutor de vieiras por APH, revelaram que pressões de 200 MPa por 2,5 minutos e 400 MPa por 5 minutos, não resultaram em grandes mudanças após a cocção, apesar de algumas alterações texturais nos produtos crus. A necessidade de avaliar características estruturais da musculatura, portanto nos objetivou a realizar a presente pesquisa. Resultados de Calorimetria Diferencial de Varredura indicaram resultados sob pressão de 200MPa, independente do tempo aplicado, semelhantes ao controle, com picos de endotermia similares. Com o aumento da pressão, as transições endotérmicas reduziram drasticamente a temperatura indicando a influência da APH no deslocamento para temperaturas mais baixas, facilitando a desnaturação de proteínas. Pela proximidade e distanciamento nos resultados comparados ao controle, utilizamos os tratamentos de 200/2,5 e 400/5 para avaliação de digestibilidade, perfil eletroforético e comportamento da tirosina nos tratamentos crus e com aplicação de cocção. O cozimento isolado reduziu a digestibilidade da proteína total de 62,42% para 34,28%, mas quando aplicado em vieiras pressurizadas, os níveis de bioacessibilidade da proteína bruta elevaram para superiores a 94%. A APH aplicada em vieiras cruas a 400 MPa por 5 min., também elevaram os níveis de bioacessibilidade da proteína bruta de vieiras acima de 70%. O perfil eletroforético das proteínas miofibrilares demonstrou redução nas bandas do produto cozido e pouca ou nenhuma diferença em vieiras cruas submetidas aos tratamentos de APH, sugerindo que não houve interferência no desdobramento da miosina devido à pressão e somente pela aplicação de calor (cozimento). A tirosina não foi afetada pela APH, mas sua concentração reduziu após o cozimento. Estes resultados indicam que APH pode melhorar a digestibilidade das proteínas e reduzir os impactos negativos do calor e fornecer produtos com maior bioatividade e funcionalidades aprimoradas.

Palavras-chave: Calorimetria Diferencial de Varredura. Digestibilidade. Proteína.

ABSTRACT

Previous evaluations of scallop adductor muscle processing by High Pressure Hydrostatics (APH) revealed that pressures of 200 MPa/2.5min and 400 MPa/5min did not result in significant changes after cooking, despite some textural alterations in raw products. The need to evaluate the structural characteristics of the musculature led to the present research. Results from Differential Scanning Calorimetry (DSC) indicated that under 200 MPa pressure, regardless of the application time, results were similar to the control, with similar endothermic peaks. As pressure increased, the endothermic transitions drastically lowered the temperature, indicating the influence of APH in shifting the temperature to lower values, facilitating protein denaturation. Based on the proximity and deviation from the control, treatments of 200/2.5 and 400/5 were used for digestibility, electrophoretic profile, and tyrosine behavior assessments in raw treatments and those subjected to cooking. Cooking alone reduced the total protein digestibility from 62.42% to 34.28%, but when applied to pressurized scallops, bioaccessibility levels of crude protein increased to above 94%. APH applied to raw scallops at 400 MPa for 5 minutes also increased bioaccessibility levels of crude protein in scallops to over 70%. The electrophoretic profile of myofibrillar proteins showed a reduction in the bands of cooked product and little to no difference in raw scallops subjected to APH treatments, suggesting that there was no interference with myosin unfolding due to pressure, but only from the heat application (cooking). Tyrosine was not affected by APH, but its concentration decreased after cooking. These results indicate that APH can improve protein digestibility, reduce the negative impacts of heat, and provide products with enhanced bioactivity and functionalities.

Keywords: Digestibility. Differential Scanning Calorimetry. Protein.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de processamento térmico induzem modificações na qualidade sensorial, textura, segurança microbiológica, digestibilidade e biodisponibilidade de nutrientes em produtos cárneos. Essas modificações incluem a alteração na conformação de proteínas musculares, gerando implicações na sua digestibilidade, em contraponto ao incremento da segurança e qualidade microbiológica pela inativação de patógenos de origem alimentar e microrganismos deteriorantes (Pathare & Roskilly, 2016; Bhat et al., 2021b).

O valor nutritivo das proteínas musculares está associado à sua digestibilidade no trato gastrointestinal e é definido pelos produtos finais disponíveis para absorção, como aminoácidos e peptídeos, em formas assimiláveis (Bhat et al., 2021b; Jiang et al., 2021). O processamento térmico, sob baixas temperaturas, pode melhorar a digestibilidade das proteínas musculares, alterando suas propriedades funcionais e estruturais, devido ao desdobramento parcial ou a exposição de locais de clivagem do músculo. Por outro lado, altas temperaturas podem causar agregação de proteínas e oxidação, reticulação ou aumento do conteúdo de dissulfeto (S-S), reduzindo a suscetibilidade das cadeias peptídicas à atividade enzimática proteolítica durante a digestão gastrointestinal (Kaur, Maudens, Haisman, Boland E Singh, 2014; Zhao et al., 2019; Bhat et al., 2021b).

A bioacessibilidade é definida como a fração de um determinado composto que é liberada da matriz alimentar após modificação pelo trato gastrointestinal durante o processo digestivo, tornando-se bioacessível para absorção pela mucosa intestinal e consequente incorporação na circulação sistêmica (Versantvoort et al., 2005; Galanakis, 2017; Pateiro et al., 2019). Após a ingestão de alimentos, as proteínas são desnaturadas pelo ácido e hidrolisadas pela pepsina gástrica no estômago, posteriormente hidrolisadas pelas proteases pancreáticas, em seguida degradadas pelas exopeptidases da membrana dos enterócitos do intestino delgado e absorvidas pelos enterócitos do intestino delgado para a corrente sanguínea, como aminoácidos individuais para uso no corpo (Dallas et al., 2017). No entanto, altos níveis de proteína na dieta levam a mais proteína sobrevivendo além do intestino delgado e, consequentemente, para o intestino grosso. Algumas proteínas, como mencionado, dependendo de sua fonte ou devido às condições de processamento, não são facilmente digeridas. Da mesma forma, alguns humanos têm baixa capacidade proteolítica, o que também diminui a

digestibilidade das proteínas (Fuller & Tomé, 2005), bem como a instabilidade de certas proteínas no trato gastrointestinal, variando sua capacidade de quebra (Hayes et al., 2019). Para determinação da bioacessibilidade e digestibilidade dos nutrientes, existem métodos que reproduzem as condições fisiológicas do trato digestivo *in vitro*, em etapas que representam a digestão na boca, estômago, intestino delgado e intestino grosso. As vantagens para o uso de avaliação *in vitro* incluem: possibilidade de avaliação em condições diversas, não depende de efeitos fisiológicos, elevado grau de controle e padronização usando materiais de referência para reproduutibilidade dos resultados, menor custo e menos tempo para realização das análises (Pateiro et al., 2019).

Nesse sentido, os métodos de cozimento têm efeitos significativos na digestibilidade dos nutrientes e na bioacessibilidade dos alimentos. A digestibilidade da carne bovina cozida sob baixas temperaturas (60–70 °C) foi maior comparada ao cozimento sob altas temperaturas (100 °C) (Yin et al., 2020). A digestibilidade *in vitro* de ostras do pacífico foi显著mente afetada pelo processo térmico, sendo 15% menor em amostras assadas quando comparadas ao produto cru (Jiang et al., 2021). Em contraponto, o cozimento a vapor alterou consideravelmente o perfil peptídico da digestão das ostras e induziu a uma hidrólise mais completa (Feng et al., 2022).

Os moluscos bivalves são consumidos principalmente crus e, por isso, são avaliados *in natura* (Maulvault et al., 2013). No entanto, por serem organismos que podem veicular patógenos de importância na saúde pública, geralmente são processados por meio de tratamentos térmicos que causam desnaturação das proteínas durante o cozimento, associada a oxidação, modificação de cadeia lateral, reticulação e agregação (Yin et al., 2020). Essa alteração irreversível na conformação das proteínas causa a exposição de resíduos hidrofóbicos, produz um alimento compactado que dificulta a ligação das proteínas às proteases (Zhang et al., 2020). Apesar da digestibilidade e dos perfis peptídicos serem significativamente afetados pelo tratamento térmico, não existe uma elucidação clara atual do mecanismo de transporte e da biodisponibilidade dos peptídeos, principalmente relacionados a digestão oral-gastrointestinal de proteínas de moluscos (Feng et al., 2022).

Pateiro et al. (2019) ponderaram que processamentos não térmicos aplicados a alimentos podem ser utilizados com o intuito não somente de prolongar a vida útil dos produtos, mas também para aumentar a biodisponibilidade de nutrientes a partir da matriz alimentar. A alta pressão é um método de pasteurização sob baixas temperaturas, muito usado na indústria de

sucos. Sua aplicação em amostras de carne de coelho promoveu melhor digestibilidade proteica comparada ao controle (1,98%, 6,13% e 61,31% para as fases oral, gástrica e intestinal, respectivamente) ao longo da digestão. Os resultados indicaram que o APH pode ser potencialmente uma tecnologia eficaz para melhorar a digestibilidade de produtos cárneos (Xue et al., 2020). Diante do exposto, o uso da APH pode ser vantajoso por promover não só a segurança microbiológica, como também potencializar o valor biológico da proteína de moluscos, usando-se as vieiras (*Nodipecten nodosus*) como modelo para nosso estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção, preparo das amostras de vieiras (músculo adutor), cocção e aplicação de APH

As vieiras (*Nodipecten nodosus*) foram obtidas de cultivos da Fazenda Marinha Vieiras da Ilha, localizada na Ponta da Aripeba, Baía de Ilha Grande, Angra dos Reis/RJ, sendo coletadas nos períodos de setembro e novembro de 2021. Nas ocasiões, os parâmetros de qualidade da água medidos no local foram: pH (8,24-8,25), percentual de oxigênio dissolvido (76,6-82,1), mg de oxigênio dissolvido (5,6-5,89), PSU de salinidade (31,46-30,68) e temperatura em grau Celsius (23,37-23,58), respectivamente, determinados pelo Grupo de Pesquisa. Após captura, os bivalves foram transportados vivos, com as valvas fechadas por elástico, em caixas térmicas com gelo, por deslocamento de até 100 km, do local de coleta até a Embrapa Agroindústria de Alimentos, em períodos de cerca 2 horas, chegando vivas aos locais de beneficiamento. Não houve manipulação após a despesa, ou seja, as vieiras foram mantidas fechadas nas caixas térmicas até a sua utilização na planta de pescado, evitando exposição e possíveis contaminações ambientais ou por manipulação, garantindo a qualidade natural do produto. Após a recepção, as vieiras passaram por processo de limpeza e desconche manual, com posterior separação de músculo adutor, vísceras e conchas realizado no mesmo dia da captura. Após higienização, amostras do músculo adutor foram embaladas a vácuo em sacos de polietilenos de baixa densidade e submetidas ao tratamento de pressurização, exceto as amostras destinadas ao tratamento controle (sem aplicação de pressão), seguido de imediata refrigeração a 4 ± 2 °C de todas as amostras (Figura 1).



Figura 1. Etapas de desconche e envase do músculo adutor de vieiras para análises: (1) Vieira íntegra em sua concha; (2) Vieira após o desconche, ainda com manto; (3) Músculo adutor de vieira limpo; (4) Amostras separadas e envasadas a vácuo (Fonte: Imagens de autoria própria da autora).

Tratamento por alta pressão

As amostras foram submetidas ao processo de APH em um equipamento de escala piloto (Stansted Fluid Power modelo S-FL-850-9-W), utilizando-se como parâmetros operacionais pressão aplicada e tempo de exposição, com os tratamentos de extremos opostos avaliados na etapa anterior da pesquisa, mais o controle. Os tratamentos aplicados foram: Controle (sem aplicação de pressão) 200 MPa por 2,5 minutos e 400 MPa por 5 minutos, cozidos e crus. Posteriormente, as amostras foram mantidas sob congelação até o momento das análises.

2.2 Calorimetria Diferencial de Varredura

Para a Análise de Calorimetria Diferencial (“Differential Scanning Calorimetry”, DSC) os músculos adutores de vieiras pressurizadas foram avaliados por meio de medições realizadas com o auxílio de um calorímetro (modelo DSC 1, Mettler Toledo, Greifensee, Suíça), baseado no princípio do fluxo de calor. A calibração do fluxo de calor e temperatura foi feita com elementos índio ($T_m = 156,6^\circ C$, $\Delta H_{fus} = 28,5 \text{ J/g}$) e zinco ($T_m = 419,5^\circ C$, $\Delta H_{fus} = 107,5 \text{ J/g}$).

J / g) como padrões. Uma amostra de aproximadamente 10 mg (peso úmido) foi hermeticamente selada em cadiño de 40 µL. As amostras do músculo foram escaneadas de 5 a 100 °C usando-se uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. Duas repetições por tratamento foram realizadas. A análise de termograma DSC foi realizada usando o software STARE (Mettler Toledo, Greifensee, Suíça).

2.3 Bioacessibilidade de proteínas

2.3.1 Preparo das amostras cozidas

A partir desta etapa, foram utilizadas amostras controle e pressurizadas em condições cruas e grelhadas, com uma técnica tradicional de cocção que utiliza calor seco, que envolve a aplicação direta de calor na superfície da carne por cima, por baixo ou pelas laterais (Bhat et al., 2021b).

Para as vieiras, o padrão de cocção utilizado consistiu em grelhar os músculos adutores por 30 segundos de cada lado, com viragem única, em panela do tipo “grill”, elétrica e antiaderente, previamente aquecida a 180°C. As análises foram realizadas após as vieiras atingirem temperatura ambiente (25°C).

2.3.2 Análise da taxa de digestibilidade da proteína pela determinação da bioacessibilidade

A bioacessibilidade de proteínas das amostras do músculo adutor de vieiras pressurizadas e controle, com e sem cocção, foi avaliada através de simulação *in vitro* de digestão gastrointestinal humana de acordo com protocolo harmonizado Infogest (Brodkorb et al., 2019). As amostras selecionadas, controle crua e cozida, 200 MPa/2,5 min e 400 MPa/5 min, foram trituradas e homogeneizadas e a simulação da digestão foi realizada em três fases: oral, gástrica e intestinal. As amostras foram digeridas em quatro sucos digestivos formulados em laboratório: salivar, gástrico, duodenal e biliar. Cada suco digestivo foi composto por diferentes componentes orgânicos e inorgânicos e enzimas.

Tubos Falcon com capacidade para 50 mL foram pesados e tarados. A cada tubo foram adicionados 5,0 g de amostra. A digestão foi realizada em triplicata com o uso de um tubo controle (Branco) contendo somente os sucos digestivos. Primeiramente as soluções salinas foram preparadas e armazenadas em refrigeração. Cada suco digestivo foi preparado na hora, conforme as concentrações de sais e enzimas descritas no protocolo. A primeira etapa foi a

digestão pelo suco salivar. Foram adicionados 4,0 mL de suco + 25 µL de CaCl₂ 0.3M, com posterior agitação em vortex durante 30 segundos e incubação a 37 °C durante 5 minutos em banho-maria com agitação. Após a digestão oral simulada, 8,5 mL de suco gástrico + 5 µL de CaCl₂ 0.3M foram adicionados aos tubos, agitados em vortex por 30 segundos e o pH ajustado em 2,0 + 0,2 com solução HCl 1M. Foi realizada nova incubação a 37 °C durante 2 horas com agitação constante (100 rpm). Finalizada a digestão simulada do estômago, foram adicionados 8,5 mL de suco duodenal + suco biliar + 40 µL de CaCl₂ 0.3M em cada tubo. As amostras foram agitadas em vortex durante 30 segundos e o pH ajustado para 7,0 + 0,2 com solução de NaOH 1 M. Foi realizada a última incubação a 37 °C durante 2 horas com agitação constante (100 rpm). Após cada etapa digestiva, os tubos foram resfriados em gelo para cessar a atividade enzimática. Após a digestão simulada duodenal, os tubos foram pesados e centrifugados a 4000 rpm durante 10 minutos a 4 °C. A porção bioacessível ou líquida foi transferida para tubos Falcon 50 mL e congelada para as análises da proteína total. Para obtenção da porcentagem de digestão das amostras foi realizada análise do teor de nitrogênio proteico da amostra original e da porção bioacessível. A taxa de digestibilidade acima de 70% foi considerada satisfatória para uma digestão *in vitro*.

2.4 Composição proximal

A composição proximal foi determinada de acordo com os Métodos Oficiais de Análise da AOAC International (AOAC 2010). A umidade foi medida após secagem durante a noite até peso constante em um forno a 105°C; a proteína bruta foi medida usando o método Kjeldahl com 6,25 como fator de conversão, o teor de lipídio total foi medido por extração Soxhlet com éter de petróleo (12 horas) e as cinzas foram medidas por incineração total em um forno mufla a 550°C.

2.5 Avaliação da degradação proteica por análise do gel de eletroforese

Para a extração das proteínas miofibrilares foram utilizados 5 g do músculo adutor homogeneizado em macerador com 30 mL de solução extrativa (Tampão Fosfato K₂HPO₄ / KH₂PO₄ 20mM + KCl 0,45M pH 7,5). Após homogeneização, a amostra foi filtrada (Whatman No. 5) e o permeado transferido para tubos Falcon, onde foram mantidos sob refrigeração por 1 hora e posteriormente centrifugados a 6000 RPM por 15 minutos a 4 ° C. Uma alíquota de 200 µL do extrato foi coletada juntamente com 10 µL de tampão de amostra, para posterior aplicação em gel de eletroforese.

A análise por eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) foi realizada na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS / PAGE) de acordo com o método proposto por Laemmli (1970), utilizando o sistema de eletroforese vertical BIORAD PROTEAN II xi Cell (Hercules, CA, USA).

Utilizando acrilamida na concentração de 12 % no gel de corrida e 4 % no gel de aplicação, a corrida eletroforética foi realizada durante um período de sete horas e sob uma voltagem de 100 V. As proteínas dos géis foram coradas com 10% (v/v) de ácido acético, 40% (v/v) de álcool metílico e 1% (v/v) de Coomassie Brilliant Blue R250 durante a noite. O gel foi descolorado numa solução contendo 10 % (v/v) de ácido acético e 40 % (v/v) de álcool metílico, sendo a solução renovada a cada 30 minutos até se obter um desenvolvimento claro. A massa molecular das frações de proteína foi calculada construindo-se as curvas padrão com pesos moleculares dos marcadores contra as respectivas distâncias percorridas no gel. Os marcadores de massa molecular utilizados foram da marca BIO-RAD LABORATORIES (Richmond, EUA), de alto peso molecular: miosina (201,653 kDa), ovalbumina (47,873 KDa), β -galactosidase (114,505 KDa), BSA-albumina sérica bovina (72.516 KDa) e baixo peso molecular: fosforilase B (102.567 kDa), ovalbumina (47.873 kDa), anidrase carbônica (34.143 kDa), inibidor de tripsina de soja (26.890 kDa) e lisozima (17.074 kDa).

2.6 Estimativa pelo método da Tirosina

A quantificação da tirosina foi realizada segundo o método descrito por Chang-Lee et al. (1989), usando a técnica de detecção de tirosina por ultravioleta após precipitação das proteínas com ácido tricloroacético a 10%. Para a análise, foram utilizadas 1g de amostra digerida em 35ml de volume total de fluidos digestivos. A leitura foi feita em espectrofotômetro (Biospectro, modelo SP-220) a 280 nm. Foi construída uma curva padrão com diferentes concentrações de tirosina (Sigma Aldrich), variando de 0,25 a 1,6 μ g/mL. As análises de absorbância foram realizadas em triplicata e a concentração de tirosina foi calculada a partir das médias de absorbâncias e equação da reta do padrão de tirosina.

2.7 Análise estatística

Os resultados foram tratados estatisticamente por análises de variância (ANOVA) e as comparações múltiplas através do teste de Tukey, com nível de significância estabelecido para todos os testes estatísticos aplicados de 5 %. Todas as análises acima descritas foram realizadas com o software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação das características de músculo adutor de vieiras submetido a Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

A análise por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), que oferece um método direto de estudo das transições térmicas de proteínas musculares *in situ* (Wright et al., 1977), foi realizada no estudo para avaliar o comportamento térmico de proteínas de cada tratamento aplicado ao músculo adutor de vieiras (Figura 2). Essa avaliação tem importância tecnológica para determinar e prever a qualidade final de produtos cárneos porque as características funcionais e texturais da carne são majoritariamente influenciadas pelas suas proteínas miofibrilares (Paredia et al., 2003).

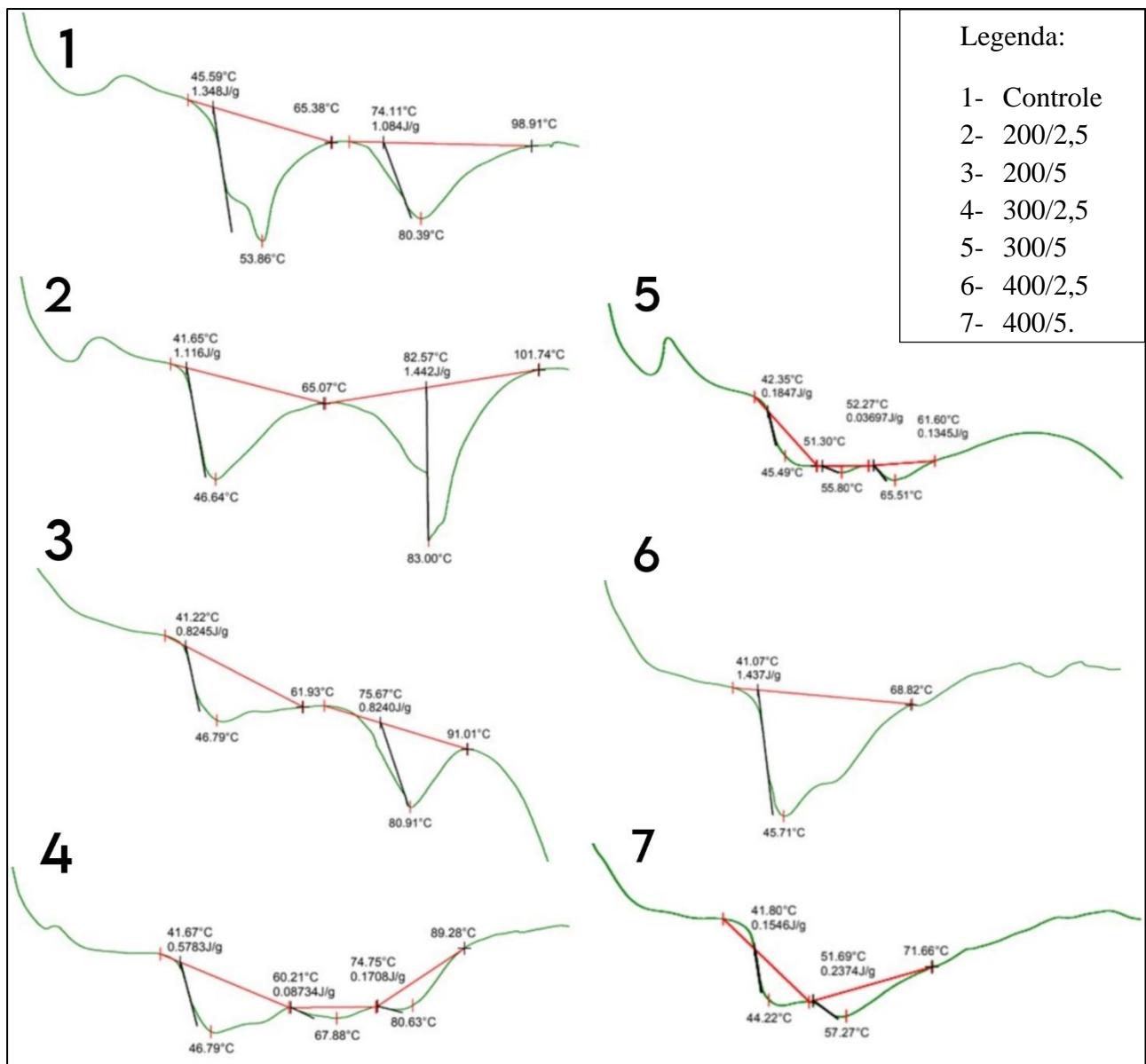


Figura 2. Avaliação de DSC em músculo adutor de vieiras. **1-** ‘Controle’ refere-se ao tratamento sem aplicação de pressão; **2-** 200/2,5 refere-se a amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; **3-** 200/5 refere-se a amostras submetidas a APH a 200 MPa por 5 minutos; **4-** 300/2,5 refere-se a amostras submetidas a APH a 300 MPa por 2,5 minutos; **5-** 300/5 refere-se a amostras submetidas a APH a 300 MPa por 5 minutos; **6-** 400/2,5 refere-se a amostras submetidas a APH a 400 MPa por 2,5 minutos; **7-** 400/5 refere-se a amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos.

O tratamento controle apresentou duas transições endotérmicas com Tmax de 53,86°C e 80,39°C (Figura 2, Item 1). Em consonância aos dados obtidos, em estudo com vieiras não pressurizadas, Paredia et al. (2003) descreveram valores similares, com duas transições endotérmicas apresentando Tmax de 55,0 e 79,2° C, nos termogramas de DSC do músculo

estriado inteiro de vieiras da Patagônia e Tmax de 53,2 e 79,0° C para músculos estriados da vieira tehuelche.

Termogramas de DSC semelhantes ao controle foram identificados para os tratamentos 200/2,5 e 200/5, com Tmax da primeira transição ligeiramente mais baixa e Tmax da segunda transição de 83°C e 80,91°C, respectivamente. Neste sentido, a APH aplicada apresentou pouca influência nas entalpias de desnaturação dos músculos de vieira. Em contrapartida, os tratamentos a 300 MPa apresentaram três picos na absorção de calor, com valores de temperatura entre a primeira e terceira transição similares ao controle, para 300/2,5 e Tmax de 65,51°C para o tratamento 300/5. Por outro lado, o tratamento 400/2,5 apresentou apenas uma zona correspondente a primeira transição endotérmica, com Tmax de 45,71°C, sendo ainda inferior ao primeiro pico do tratamento controle. Enquanto isso, o tratamento 400/5, apesar de expressar dois pontos de processos endotérmicos, seus valores de Tmax foram de 44,22°C e 57,27°C. Esses resultados nos indicam a influência da APH no deslocamento para temperaturas mais baixas, facilitando a desnaturação de proteínas. Pressões mais altas reduziram a temperatura de transição endotérmica, indicando maior desnaturação proteica.

Sabe-se que a APH pode influenciar no desdobramento proteico devido à sua capacidade de alterar as estruturas moleculares, causando dissociação, dependendo do tempo e pressão aplicados, aumentando a acessibilidade dos pontos de clivagem do músculo e resultando em produtos com maior bioatividade e funcionalidades aprimoradas (Lozano-Ojalvo et al., 2017; Zhao et al., 2017; Xue et al., 2020; Carullo, Barbosa-Cánovas & Ferrari, 2020 Landim et al., 2021; Bonfim et al., 2024).

Cabe ressaltar que o ponto de estabilidade térmica das vieiras também reduziu consideravelmente conforme o tratamento de pressão aplicado se tornou mais intenso, apresentando sensibilidade a mudanças provocadas pelo tratamento por APH. De maneira semelhante, Dang et al. (2019) avaliaram estruturas de camarão pressurizados e observaram a fusão de dois picos para apenas um, quando o nível de pressão aumentou de 100 MPa para 600 MPa, indicando que o aumento da pressão acelerou a estabilização das proteínas sarcoplasmáticas.

É descrito que diversas características, como o pH, podem modificar a estabilidade térmica e a estrutura conformacional das proteínas (Wright & Wilding, 1984). Paredia et al. (2003) demonstraram, em estudo realizado com vieiras, que os músculos apresentaram um

deslocamento da transição térmica para temperaturas mais baixas com o aumento do pH. No entanto, no capítulo 3 do presente estudo, não houve variações expressivas de pH que pudessem ser associadas às alterações nas características endotérmicas dos diferentes tratamentos.

Com base nesses resultados, pela proximidade e distanciamento dos resultados comparados ao controle, foram selecionados para análises mais detalhadas, os tratamentos extremos, de 200MPa/2,5min e 400MPa/5min, além do próprio tratamento controle. Nesta etapa, também realizamos a comparação dos tratamentos após o processo de cocção, utilizando cozimento por calor seco e direto.

3.2 Avaliação da digestibilidade da proteína total pela determinação da bioacessibilidade em músculo adutor de vieiras

A digestibilidade da proteína total (PT), avaliada pelo método de digestão *in vitro* utilizado no atual estudo, foi determinada pela mensuração do nitrogênio total disponível na fração bioacessível. Isso permitiu estimar a porcentagem de proteína bioacessível em cada tratamento aplicado aos músculos adutores de vieira (Figura 3).

Os processos de tempo e pressão aplicados, bem como o controle (sem aplicação de APH), foram avaliados crus e após a cocção. Este tratamento térmico é um método de cozimento rápido que utiliza calor direto para cozinhar a carne, que além de aprimorar o sabor e o aroma ao alimento, induz diversas modificações nas proteínas musculares, como desnaturação, carbonilação e formação de ligações dissulfeto, que podem influenciar a digestibilidade de proteínas musculares (Arena, Salzano, Renzone, D'ambrosio, & Scaloni, 2014; Silva, Ferreira, Madruga, & Estevez, 2016; Bhat et al., 2021).

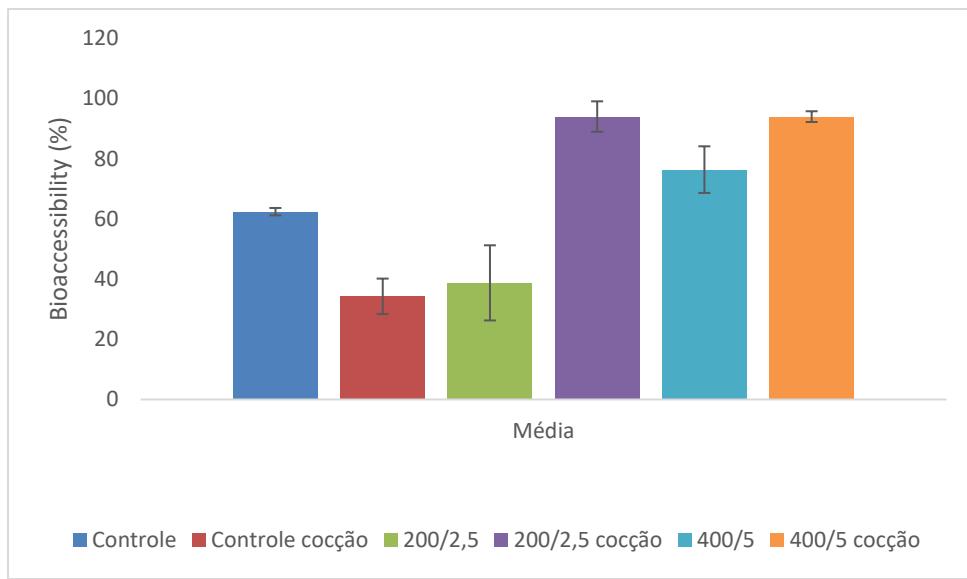


Figura 3. Porcentagem de proteína bioacessível em músculo adutor de vieiras. ‘Controle’ refere-se ao tratamento sem aplicação de pressão; ‘Cocção’ refere-se ao processo de cozimento da amostra; 200/2,5: amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; 400/5: amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos.

O cozimento provocou uma redução na digestibilidade da PT (de 62,42% para 34,28%), devido a desnaturação e alterações conformacionais nas proteínas causadas pelo processo de tratamento térmico. Corroborando com os dados encontrados no presente estudo, Jiang et al. (2021) evidenciaram a redução da digestibilidade de proteínas e bioacessibilidade mineral de ostras, utilizando diferentes formas de cozimento, quando comparados com ostras cruas.

A aplicação de 200 MPa por 2,5 min também provocou redução na bioacessibilidade de proteínas, quando comparadas ao grupo controle in natura ou cru (Figura 3). Em contrapartida, sob mesma condição de tempo e pressão, a amostra obteve bioacessibilidade da PT em taxas de 94%, quando associada ao processo de cocção. Além disso, é possível observar na Figura 3, que os tratamentos de APH a 400 MPa, sob duração de 5 min., também elevaram os níveis de bioacessibilidade da proteína bruta de vieiras acima de 70% e, quando submetidas ao processo de cocção, os índices se elevaram a 94%, indicando que a APH em níveis mais elevados pode ser um processamento ideal para garantir a qualidade nutricional das vieiras e sua segurança microbiológica, sendo otimizada pelo processo que cocção.

Gao e Wang (2014) sugeriram, em seus estudos, que a redução da bioacessibilidade em ostras, ao grelhar, se dá pela perda de umidade em tecidos que continham proteínas digeríveis antes da cocção. No mesmo seguimento, Alves et al. (2017) e Matos et al. (2015) descreveram que o calor aplicado nos procedimentos culinários, pode afetar negativamente a sua bioacessibilidade, mesmo gerando maior segurança microbiológica, devido a desnaturação de

proteínas. Além disso, estudos evidenciaram a melhora na digestibilidade de proteínas musculares pela aplicação de APH (Kaur et al., 2016; Xue et al., 2020), em consonância com os resultados obtidos nesse estudo, em musculatura de vieiras pressurizadas a 400 MPa/5min. A APH tem efeito significativo nas conformações quaternárias e terciárias das proteínas da carne e, dependendo das condições aplicadas (tempo, intensidade de processo e temperatura), sendo capaz de modificar também estruturas secundárias, através da interrupção de interações eletrostáticas, gerando a dissociação de proteínas (Bonfim et al., 2024; Buckow et al., 2013; Cao, Xia, Zhou, & Xu, 2012; Martínez et al., 2017; Xue et al., 2020).

No capítulo 3 do presente estudo, não houve diferença significativa entre a Aw das vieiras pressurizadas em comparação ao controle, assim como da CRA em níveis mais elevados de pressão. É possível que a APH tenha auxiliado na manutenção de água livre nas vieiras pressurizadas, reduzindo a perda de umidade após a cocção e, assim, otimizando os índices de PT nos tratamentos, pela redução na liberação de compostos proteicos carreado na perda de água. Essa percepção tem sido extensamente avaliada em estudos de produtos cárneos, revelando uma maior CRA em amostras tratadas por APH, com melhoria nas características texturais e suculência (Bajovic, Bolumar, & Heinz, 2012; Xue, Wang, et al., 2017; Xue et al., 2020).

Foi demonstrado que a oxidação leve e a desnaturação parcial das proteínas musculares favorecem a digestibilidade das proteínas musculares, aumentando sua suscetibilidade às proteases digestivas (Du et al., 2018; Shanlin, Stocker, & Davies, 1997). Além disso, o impacto da APH no desdobramento da conformação espacial da proteína, sugere a exposição de resíduos hidrofóbicos e de aminoácidos (Xue et al., 2020). Tais estudos corroboram os resultados obtidos nessa pesquisa, com o aumento nos índices de PT quando as vieiras pressurizadas foram submetidas ao processo de cozimento.

3.3 Perfil eletroforético das proteínas

Com o objetivo de melhor avaliar o impacto da APH nas proteínas do músculo adutor de vieiras, foram analisadas as amostras controle, 200 MPa/2,5 min e 400 MPa/5 min, cruas e cozidas, antes e após a digestão, através dos perfis em gel de eletroforese (SDS-PAGE), método analítico no qual as proteínas são separadas de acordo com seu tamanho. O perfil eletroforético

das proteínas miofibrilares dos tratamentos obtidas em SDS-PAGE em meio redutor pode ser observado na Figura 4.

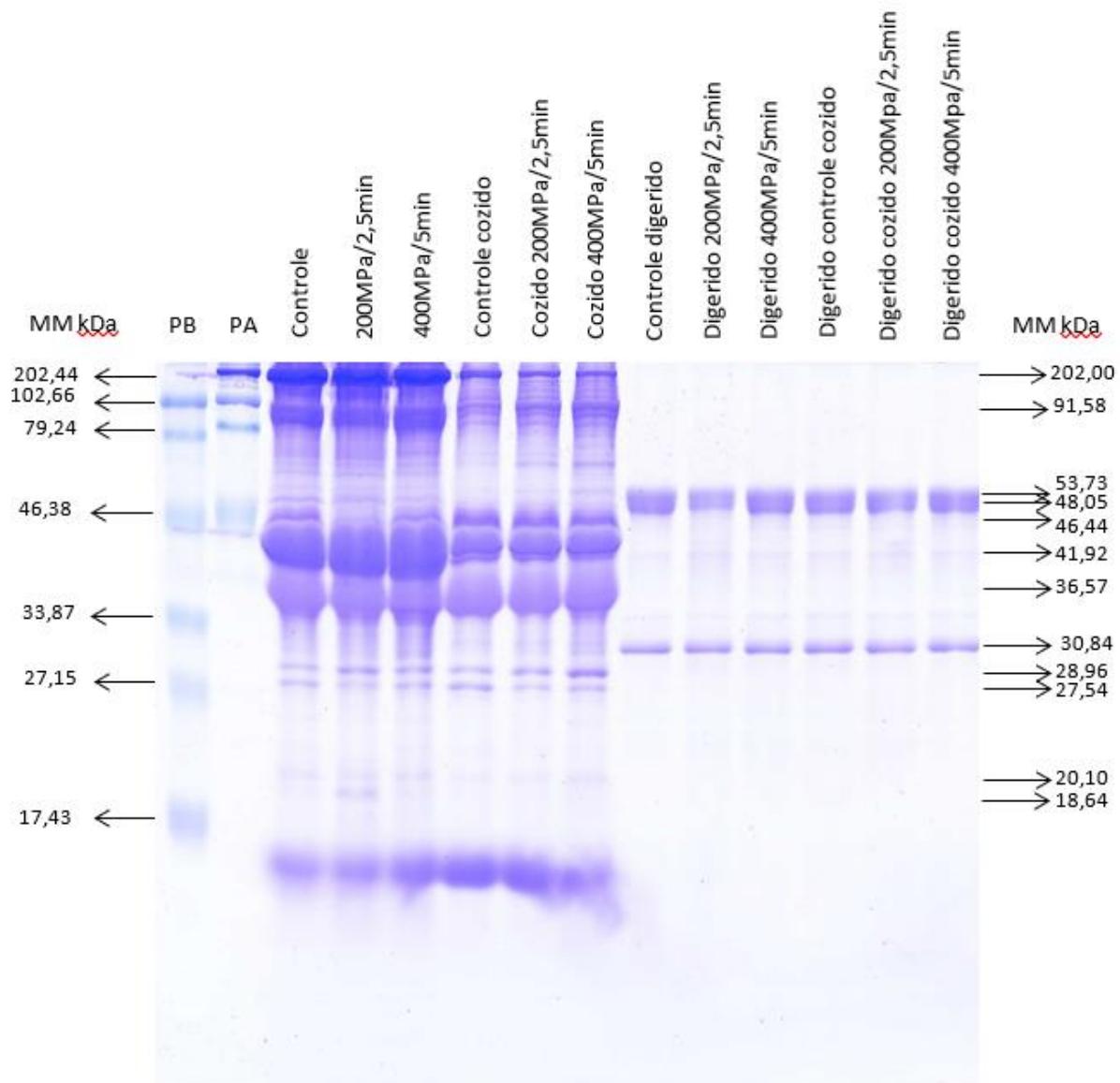


Figura 4. SDS-PAGE de proteínas musculares extraídas de músculo adutor de vieiras submetidas a diferentes tratamentos de pressão. Controle: sem aplicação de pressão; ‘Cozimento’ refere-se ao processo de cozimento da amostra; 200/2,5: amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; 400/5: amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos; ‘Digerido’ refere-se ao processo de digestão *in vitro*.

Foram observadas bandas de diversos pesos moleculares nos diferentes tratamentos. O efeito do cozimento foi expressivo na banda 202,02 kDa, correspondente a miosina, passando de uma marcação espessa para uma linha mais fina e delimitada. Ainda quando submetidas ao processo de cozimento, nota-se uma redução na intensidade das bandas de miosina conforme o

tratamento de APH aplicado, indicando maior desnaturação da miosina com o efeito combinado da APH com o calor. No entanto, pouca ou nenhuma variação foi observada na comparação entre o ‘controle’ e as amostras pressurizadas cruas, sugerindo que não houve interferência no desdobramento da miosina nessas amostras devido à pressão, em nenhum dos níveis avaliados. Em consonância, Bonfim et al. (2024) encontraram padrões similares, em estudo com vieiras pressurizadas de 200 a 400 MPa, por até 5 minutos. Por outro lado, em estudo com carne de coelho, foram encontrados padrões inversos ao apresentado nesse estudo, com uma redução na banda da cadeia pesada de miosina conforme o aumento da pressão. Cabe ressaltar, que apesar de incidir menor pressão aos tratamentos, o estudo utilizou um maior tempo de exposição, 9 minutos, e carnes de animais terrestres tendem a ser mais barorresistentes (Chen et al., 2017; Xue et al., 2020).

Em 102,66 kDa, houve um leve aumento na intensidade de coloração das bandas, nas amostras pressurizadas a 400 MPa/5 min, quando comparadas aos demais tratamentos. Este evento ocorre tanto para o tratamento cru, quanto para o tratamento após o cozimento. Nesta faixa, é possível que se trate de uma α -actina.

A banda apresentada em 37 kDa refere-se, provavelmente, a cadeia leve da miosina, em relação à troponina T ou subunidades de β -actina, que sofreram uma leve redução na intensidade quando cozidos, mas nenhuma variação perceptível quando pressurizadas, em comparação ao controle. Resultados semelhantes foram observados em estudo de carne de Caititu com pulso de pressão até 400 MPa/0 min (Fernandes et al., 2022).

De maneira semelhante ao comportamento da miosina, não houve efeito da pressão nas bandas de actina (43 kDa), apresentando-se expressivas e bem coradas nos tratamentos pressurizados e controle crus. Já para os tratamentos cozidos, as bandas de actina se identificaram mais claras e estreitas. Bonfim et al. (2024) encontraram resultados contrários quando submeteram o músculo adutor de vieiras a pressões semelhantes, avaliando os efeitos da pressão sobre o desdobramento da actina. Xue et al. (2020) demonstraram a degradação da actina quando submetidas a 300 MPa por 9 minutos, em carne de coelho.

Outros estudos corroboram que as proteínas miofibrilares são sensíveis a APH (Chen et al., 2017; Xue et al., 2020). Contudo, é fundamental destacar que a APH é um método suave, incapaz de induzir a degradação de proteínas (Cheftel & Culoli, 1997), porém pode estar associado à desnaturação e dissociação de estruturas terciárias e quaternárias. Os efeitos da

APH no grau de desnaturação das proteínas podem ser associados a diversos fatores, como ruptura de interações eletrostáticas e hidrofóbicas nas moléculas de proteína e seguida pela restauração de ligações intra e intermoleculares dentro ou entre essas moléculas, formações de ligações dissulfeto durante a pressurização, tempo de tratamento, nível de pressão e temperatura (Cheftel, 1992; Messens et al., 1997; Teixeira et al., 2014; Martínez et al., 2017; Luo et al., 2021; Bonfim et al., 2024).

Todas as bandas de gel que correspondem aos tratamentos após a digestão se apresentaram semelhantes, com pouca expressão de frações proteicas na altura de 48 e 30 kDa, evidenciando a degradação das proteínas após o processo de digestão *in vitro*, independente da pressão aplicada.

3.4 Avaliação no perfil de Tirosina

A avaliação da concentração de tirosina foi determinada em cada tratamento aplicado aos músculos adutores de vieira (Figura 5).

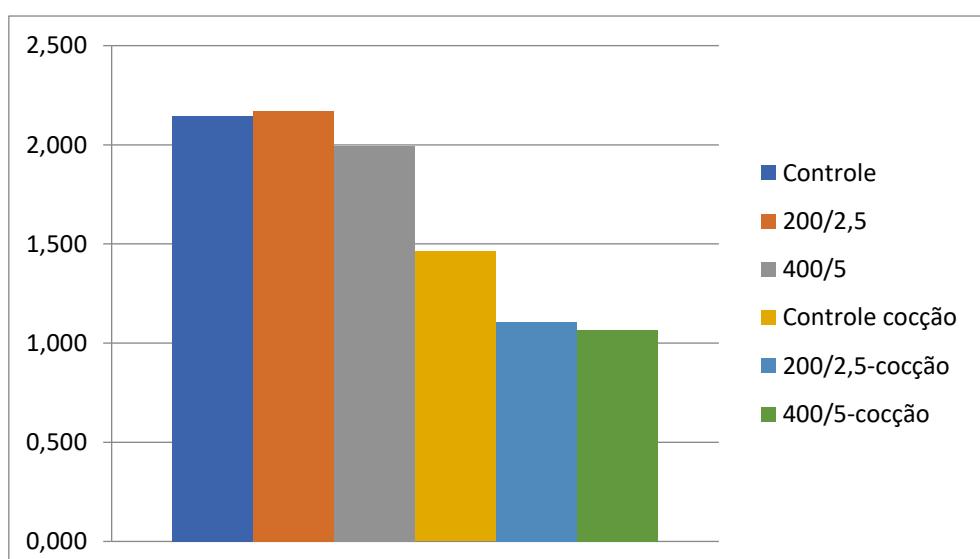


Figura 5. Perfil de tirosina em músculo adutor de vieiras, expresso em concentração (mg/ml). ‘Controle’ refere-se ao tratamento sem aplicação de pressão; ‘Cocção’ refere-se ao processo de cozimento da amostra; 200/2,5: amostras submetidas a APH a 200 MPa por 2,5 minutos; 400/5: amostras submetidas a APH a 400 MPa por 5 minutos.

Os tratamentos de APH não influenciaram a concentração de tirosina em seu tratamento mais brando. Apenas quando submetidos a 400 MPa/5 min, pode se observar uma leve redução de 2,15 mg/ml no tratamento controle, para 1,99 mg/ml no pressurizado. De maneira similar, Liu et al. (2022) não observaram redução na concentração de tirosina em ostras, quando pressurizadas a 200MPa. O decaimento de tirosina ocorreu, de maneira considerável, nas amostras submetidas à cocção.

O processo de cocção influenciou consideravelmente a redução da concentração de tirosina do músculo adutor com e sem a aplicação de pressão, apresentando níveis mais baixos em vieiras pressurizadas. O calor pode induzir a oxidação de proteínas, resultando em alterações nos aminoácidos e na formação de diversos produtos de oxidação, como as ligações de ditirosina, derivadas da tirosina (Santé-Lhoutellier et al. 2008; Zhang et al. 2023). De maneira similar, Chu et al. (2023) descreveram que na avaliação de peptídeos em carne de porco, o tratamento térmico não teve efeito significativo na degradação de proteínas, mas acelerou a reação de Maillard e oxidação.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a aplicação de alta pressão hidrostática (APH) pode melhorar significativamente a digestibilidade das proteínas do músculo adutor de vieiras, especialmente em condições de pressões mais elevadas e/ou quando associada ao processo de cocção, com base nos resultados obtidos em experimentos de digestão *in vitro*. Além disso, a tecnologia mostrou-se eficaz em minimizar os impactos negativos causados pela exposição ao calor, preservando características estruturais importantes.

Os resultados evidenciaram que a APH favorece o desdobramento e a exposição das proteínas, aumentando a acessibilidade aos pontos de clivagem enzimáticos, o que pode resultar em produtos com maior bioatividade e funcionalidades aprimoradas.

Por fim, este estudo fornece informações e evidências relevantes sobre o comportamento da estrutura muscular das vieiras (*Nodipecten nodosus*) sob efeito da alta pressão. Essas descobertas podem beneficiar tanto a indústria alimentícia, na elaboração de produtos com propriedades otimizadas, quanto os consumidores, ao oferecer alimentos de maior qualidade nutricional e funcional, através do emprego de uma tecnologia inovadora.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Todas as referências citadas em todos os capítulos são apresentadas em sessão única ao final da tese.

CONCLUSÃO GERAL

O processamento por Alta Pressão Hidrostática (APH) em vieiras (*Nodipecten nodosus*) demonstra ser uma tecnologia promissora para o setor de pescados, aliando garantia de qualidade microbiológica e preservação de características texturais, que podem reverter em maior vida útil do produto com agregação de valor e benefícios de comercialização. Além disso, o processo melhora a digestibilidade das proteínas musculares e preserva características estruturais importantes, mesmo quando associado à cocção, minimizando impactos negativos do calor.

Os resultados deste estudo sugerem que a tecnologia tem potencial para ampliar o mercado de vieiras, possibilitando a comercialização em regiões distantes, com maior prazo de distribuição e armazenamento. Paralelamente, destaca-se a necessidade de superar barreiras culturais e falta de conhecimento do consumidor sobre frutos do mar, como vieiras, por meio de estratégias educativas e de comunicação que valorizem suas características e benefícios. Tais ações podem elevar a percepção de valor desses produtos, incentivando seu consumo e inserindo-os de forma mais significativa na culinária brasileira, quando associados a tecnologias inovadoras que promovam diferencial de qualidade, como a APH.

Por fim, embora a APH já demonstre benefícios evidentes para a qualidade e segurança das vieiras, estudos adicionais são necessários para aprofundar o entendimento científico sobre seus efeitos na estrutura muscular e para viabilizar a aplicação comercial em larga escala no Brasil, abrangendo outros moluscos bivalves. Essa tecnologia inovadora representa uma oportunidade para atender às demandas do mercado por alimentos mais seguros, nutritivos e funcionais, beneficiando tanto os consumidores quanto a cadeia de pescados, na geração de emprego e renda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Beef Report. 2021. Available in: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/>

ADEKUNLE & OZOEMENA. Comparative Surface Electrochemistry of Co and Co₃O₄ Nanoparticles: Nitrite as an Analytical Probe. **International Journal of Electrochemical Science**. 2010. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)15399-5](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)15399-5)

ALVES R.N. et al. Oral bioaccessibility of toxic and essential elements in raw and cooked commercial seafood species available in European markets. **Food Chemistry**. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.045>

ANDRÉS, V.; VILLANUEVA, M.-J.; TENORIO, M.-D. Influence of high pressure processing on microbial shelf life, sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content of milk- and soy-smoothies. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 98-105, 2016. ISSN 00236438.

ANTMANN, G.; ARES, G.; SALVADOR, A.; VARELA, P. *et al.* Exploring and explaining creaminess perception: consumers' underlying concepts. **Journal of Sensory Studies**, 26, n. 1, p. 40-47, 2011. doi:10.1111/j.1745-459X.2010.00319.x

ANTON, A. A., & LUCIANO, F. B. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. **Ciencia Y Tecnologia Alimentaria**, 5(4), 245–251. 2007.

AOAC Official Method of Analysis. 16th Edition, Association of Official Analytical, Washington DC. 2002.

AOAC Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. 18th Edition, Washington, DC. 2010.

AOAC. Official methods of analysis (16th ed.). Washington, D.C.: Assn of Official Anal Chem (Vol. 2). 1996.

AOAC. Official Methods of analysis. EUA: Association of Official Analytical Chemist, 17 ed. v. 2 Washington, 2000.

ARENA S., SALZANO A.M., RENZONE G., D'AMBROSIO C., & SCALONI A. Non-enzymatic glycation and glycoxidation protein products in foods and diseases: an interconnected, complex scenario fully open to innovative proteomic studies. **Analytical Science Journals**. 2014. DOI: [10.1002/mas.21378](https://doi.org/10.1002/mas.21378)

ARES, G.; DELIZA, R. Identifying important package features of milk desserts using free listing and word association. **Food Quality and Preference**, 21, n. 6, p. 621-628, 2010/09/01/ 2010. doi:10.1016/j.foodqual.2010.03.010

ARU, V.; KHAKIMOV, B.; SØRENSEN, K. M.; ENGELSEN, S. B. The foodome of bivalve molluscs: From hedonic eating to healthy diet. **Journal of Food Composition and Analysis**, 69, p. 13-19, 2018/06/01/ 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.01.018>

ASHIE, I. N. A., & SIMPSON, B. K. Application of high hydrostatic pressure to control enzyme related fresh seafood texture deterioration. **Food Research International**, 29(5–6), 569–575. 1996. [http://doi.org/10.1016/S0963-9969\(96\)00012-9](http://doi.org/10.1016/S0963-9969(96)00012-9)

BAJOVIC, B., BOLUMAR, T., & HEINZ, V. Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. **Meat Science**, 92(3), 280–289. 2012.

BALNY C. & MASSON P. Effects of high pressure on proteins, **Food Reviews International**, 9:4, 611-628. 1993. doi.org/10.1080/87559129309540980

BELTRÁN-LUGO, A. I. et al. Seasonal variations in chemical, physical, textural, and microstructural properties of adductor muscles of Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*). **Aquaculture**. 2006. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.04.039.

BHAT Z.F. et al., Thermal processing implications on the digestibility of meat, fish and seafood proteins. **Compr Rev Food Sci Food Saf**. 2021. DOI:10.1111/1541-4337.12802

BIANCO V. & FRANZESE G., Contribution of Water to Pressure and Cold Denaturation of Proteins. **Physical Review Letters**. p.115, 108101. 2015. DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.108101

BIRCH, D.; LAWLEY, M. Buying seafood: Understanding barriers to purchase across consumption segments. **Food Quality and Preference**, 26, n. 1, p. 12-21, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.03.004>

BIYIKLI M. et al., Effect of different Sous Vide cooking temperature-time combinations on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of turkey cutlet. **International Journal of Gastronomy and Food Science** Vol. 20, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100204>

BOMBARDELLI, R. A.; SYPERRECK, M. A.; SANCHES, E. A. Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado. **Arquivos de ciências veterinárias e zoologia da UNIPAR**, 8, n. 2, p. 181-195, 2005. <https://core.ac.uk/reader/235582163>

BONFIM R.C. et al. Optimization of high pressure processing parameters to enhance the quality attributes of scallops (*Nodipecten nodosus*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.54:10, e20230438, 2024 <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230438>

BONFIM R.C., OLIVEIRA F.A. de, GODOY R.L.O., ROSENTHAL A., A review on high hydrostatic pressure for bivalve mollusk processing: relevant aspects concerning safety and quality. **Food Science and Technology**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.26918>

BONNARD M, BOURY B, PARROT I. Key insights, tools, and future prospects on oyster shell end-of-life: a critical analysis of sustainable solutions. **Environ Sci Technol**. 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03736>

BOU, R., et al. Effect of Vacuum Impregnation and High Hydrostatic Pressure Treatments on Shelf Life, Physicochemical, and Sensory Properties of Seabream Fillets. **Food Bioprocess Technol**. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02980-4>

BOURNE, M. Texture profile analysis. **Food Technology**, 32, 62-67 & 72. 1978.

BRASIL. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. RIISPOA, M. d. A. P. e. A. Brasília 1984. <https://cdn.sertaobras.org.br/wp-content/uploads/2010/11/RIISPOA.pdf>

BRASIL. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos., **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.**, 2001.

BRIONES, L. S. et al. Microbial shelf-life extension of chilled Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and abalone (*Haliotis rufescens*) by high hydrostatic pressure treatment. **Food Control.** 2010. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713510001489>

BRODKORB A. et al., INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature Protocols.** 2019. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>

BUCK R. et al. Opportunities and challenges in pulsed electric field processing of dairy products. **International Dairy Journal** 34(2):199–212 2014. DOI:10.1016/j.idairyj.2013.09.002

CALDERÓN-MIRANDA, M. et al. Métodos no térmicos para procesamiento de alimentos: Variables e inactivación microbiana. **Braz J Food Technol**, v. 1, p. 3-11, 1998.

CAMPUS, M. High Pressure Processing of Meat, Meat Products and Seafood. **Food Engineering Reviews**, 2(4), 256–273. 2010.

CAMPUS, M., et al. Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*) following high pressure treatment. **Journal of Food Engineering**, 96(2), 192–198. 2010. doi. org/ 10. 1016/j.jfood eng. 2009. 07. 013

CAO Y., XIA T., ZHOU G., & XU X., The mechanism of high pressure-induced gels of rabbit myosin. **Innovative Food Science & Emerging Technologies.** 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.04.005>

CARDOSO, C.; LOURENÇO, H.; COSTA, S.; GONÇALVES, S. et al. Survey into the seafood consumption preferences and patterns in the portuguese population. Gender and regional variability. **Appetite**, 64, p. 20-31, 2013. DOI: 10.1016/j.appet.2012.12.022

CARULLO, D.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FERRARI, G. Changes of structural and techno-functional properties of high hydrostatic pressure (HHP) treated whey protein isolate over refrigerated storage. **LWT-Food Science and Technology**, 2020.

CEBRIÁN, G.; MAÑAS, P.; CONDÓN, S. Comparative resistance of bacterial foodborne pathogens to non-thermal technologies for food preservation. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, n. MAY, 2016. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84973460193>

CHANG-LEE, M. V., PACHECO-AGUILAR, R., CRAWFORD, D. L., & LAMPILA, L. E. Proteolytic activity of surimi from Pacific Whiting (*Merluccius productus*) and heat-set gel texture. **Journal of Food Science**, 54(5), 1116-1119. 1989. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb05935.x>

CHAWLA, R.; PATIL, G. R.; SINGH, A. K. High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review. **Journal of food science and technology**, v. 48, n. 3, p. 260-268, 2011.ISSN 0022-1155.

CHEFTEL & CULIOLI. Effects of high pressure on meat: A review. **Meat Science**. 1997 [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00017-X)

CHEFTEL, J. C. Effects of high hydrostatic pressure on food constituents: an overview. **High Pressure Biotechnology**. 1992. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571980075060408320>

CHEN, J. H., REN, Y., SEOW, J., LIU, T., BANG, W. S., & YUK, H. G. Intervention Technologies for ensuring microbiological safety of meat: Current and future trends. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 11(2), 119–132. 2012.

CHÉRET, R., CHAPLEAU, N., DELBARRE-LADRAT, C., & VERREZ-BAGNIS, V. Effects of high pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets. **Journal of Food Science**, 70, e477–e483. 2005. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11518.x>

CHRISTENSEN, L. B. et al. Quality changes in high pressure processed cod, salmon and mackerel during storage. **Food Control**. 2017. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.07.037.

CHU F. et al. Effect of Sucrose on the Formation of Advanced Glycation End-Products of Ground Pork during Freeze–Thaw Cycles and Subsequent Heat Treatment. **Foods**. 2023, 12(5), 1024; <https://doi.org/10.3390/foods12051024>

CODINA-TORRELLA, I. et al. Potential application of ultra-high pressure homogenization in the physico-chemical stabilization of tiger nuts' milk beverage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 2016. ISSN 1466-8564. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146685641630128X>

CONSIDINE, K. M. et al. High-pressure processing—effects on microbial food safety and food quality. **FEMS Microbiology Letters**, v. 281, n. 1, p. 1-9, 2008. ISSN 0378-1097.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, 16, n. 3, p. 297-334, 1951/09/01 1951. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>

CRUZ-ROMERO, M. C., KERRY, J. P., & KELLY, A. L. Fatty acids, volatile compounds and colour changes in high-pressure-treated oysters (*Crassostrea gigas*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 9(1), 54–61. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.05.003>

CRUZ-ROMERO, M., et al. Effects of high pressure treatment on physicochemical characteristics of fresh oysters (*Crassostrea gigas*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 5(2), 161–169. 2004. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.01.002>

CRUZ-ROMERO, M., KELLY, A. L., & KERRY, J. P. Effects of high-pressure and heat treatments on physical and biochemical characteristics of oysters (*Crassostrea gigas*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 8(1), 30–38. 2007. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.05.002>

DA SILVA, E. G.; CASTILHO-BARROS, L.; HENRIQUES, M. B. Economic feasibility of integrated multi-trophic aquaculture (mussel *Perna perna*, scallop *Nodipecten nodosus* and seaweed *Kappaphycus alvarezii*) in Southeast Brazil: A small-scale aquaculture farm model. **Aquaculture**, 552, p. 738031, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.73803>

DALGAARD, P., MADSEN, H. L., SAMIEIAN, N., & EMBORG, J. Biogenic amine formation and microbial spoilage in chilled garfish (*Belone belone belone*)-Effect of modified atmosphere packaging and previous frozen storage. **Journal of Applied Microbiology**, 101, 80–95. 2006. DOI:[10.1111/j.1365-2672.2006.02905.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02905.x)

DALLAS et al., Personalizing protein nourishment. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 2017. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1117412>

DAMÁSIO, B. F. Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. **Avaliação Psicológica**, 11, p. 213-228, 2012.

DANG T.T., et al. Proteomic and microscopic approaches in understanding mechanisms of shell-loosening of shrimp (*Pandalus borealis*) induced by high pressure and protease. **Food Chemistry**. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.059>

DE HIDOBRO, F.R., MIGUEL, E., BLÁZQUEZ, B., ONEGA, E. A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. **Meat Science**. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.09.008>

DELIZA, R.; ARES, G. Consumer Perception Of Novel Technologies. In: Rosenthal, A.;Deliza, R., et al (Ed.). **Fruit Preservation: Novel and Conventional Technologies**. New York, NY: Springer New York, p. 1-20.2018. doi: 10.1007/978-1-4939-3311-2_1

DU, X. J., et al. The effect of structural change on the digestibility of sarcoplasmic proteins in Nanjing dry-cured duck during processing. **Poultry Science**. 97, 4450–4457. 2018.

EFSA. Scientific Opinion on health benefits of seafood (fish and shellfish) consumption in relation to health risks associated with exposure to methylmercury. **EFSA Journal**, 12, n. 7, p. 3761, 2014. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3761>

ENGEL, J. F.; BLACKWELL, R. D.; MINIARD, P. Consumer Behavior, Hinsdale. The Dryden Press, Inc 1990. book.

ERKAN, N., ÜRETENER, G., & ALPAS, H. Effect of high pressure (HP) on the quality and shelf life of red mullet (*Mullus surmuletus*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 11(2), 259–264. 2010. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.01.001>

ERKAN, N., ÜRETENER, G., ALPAS, H., SELÇUK, A., ÖZDEN, Ö., & BUZRUL, S. The effect of different high pressure conditions on the quality and shelf life of cold smoked fish. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 12(2), 104–110. 2011. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.12.004>

FAO. World food and agriculture. **FAO Rome Italy**, 2015. <https://www.fao.org/news/story/en/item/335748/icode/>

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. **Sustainability in action**. 2020. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>

FARKAS, D. F.; HOOVER, D. G. High pressure processing. **Journal of Food Science**, v. 65, n. s8, p. 47-64, 2000. ISSN 1750-3841

FENG et al., Independent and combined effects of ultrasound and transglutaminase on the gel properties and *in vitro* digestion characteristics of bay scallop (*Argopecten irradians*)

adductormuscle. **Current Research in Food Science.** 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.crefs.2022.07.009>

FONTANA, I.; DELPHINO, M. K. V. C.; SESTERHENN, P. M.; BERTOTTO, D. *et al.* A sampling plan for phycotoxins surveillance in bivalve mollusc farms along the Santa Catarina coast, Brazil. **Aquaculture**, 518, p. 734732, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734732>

FRANCIS, F.J. & CLYDESDALE, F.M. Food Colorimetry: Theory and Applications. 1975. **AVI Publishing Co.**, Westport.

FRONTEIRA, E. F. D. A. **Atitudes e determinantes de compra, consumo e percepção do risco face aos bivalves.** 2021. (Mestrado em Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar) - Politécnico de Leiria, Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar. Available in: <http://hdl.handle.net/10400.8/6802>.

FULLER M. & TOMÉ D. In vivo determination of amino acid bioavailability in humans and model animals. **Journal of AOAC International.** 2005. DOI:[10.1093/JAOAC/88.3.923](https://doi.org/10.1093/JAOAC/88.3.923)

FURST, T.; CONNORS, M.; BISOGNI, C. A.; SOBAL, J. *et al.* Food Choice: A Conceptual Model of the Process. **Appetite**, 26, n. 3, p. 247-266, 1996. doi: 10.1006/appc.1996.0019

GALANAKIS, C. Nutraceuticals and Functional Food Components. Academic Press, London. 2017.

GAMBARO, A. Projective techniques to study consumer perception of food. **Current Opinion in Food Science**, 21, p. 46-50. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.05.004>

GAO S. & WANG W.X. Oral bioaccessibility of toxic metals in contaminated oysters and relationships with metal internal sequestration. **Ecotoxicology and Environmental Safety.** 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.013>

GINSON, J., PANDA, S. K., BINDU, J., KAMALAKANTH, C. K., & SRINIVASA GOPAL, T. K. Effect of high pressure treatment on microbiological quality of Indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*) during chilled storage. **Food Microbiology.** 2015. [http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.10.008. PMid:25475333](http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.10.008)

GOEL, A.; POTHINENI, N.; SINGHAL, M.; PAYDAK, H.; SALDEEN, T.; MEHTA, J. Fish, Fish Oils and Cardioprotection: Promise or Fish Tale?. **International Journal of Molecular Sciences**, 19(12), 3703–2018. doi:10.3390/ijms19123703

GOLDEN, O., CALDEIRA, A. J. R., & SANTOS, M. J. Raw fish consumption in Portugal: A survey on trends in consumption and consumer characteristics. **Food Control**, 135, Article 108810. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108810>

GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. et al. Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. **Food Hydrocolloids**, v. 16, n. 1, p. 25-34, 2002. ISSN 0268-005X.

GONÇALVES, A.A. Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação. São Paulo: **Editora Atheneu**, 2011. 608 p.

GONG X. et al. Effects of Protein Structure Changes on Texture of Scallop Adductor Muscles under Ultra-High Pressure. *Appl. Sci.* 2023, 13(24), 13247; <https://doi.org/10.3390/app132413247>

GRAM, L., & DALGAARD, P. Fish spoilage bacteria e problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13, 262–266. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(02\)00309-9](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00309-9)

GUERRERO, L.; CLARET, A.; VERBEKE, W.; ENDERLI, G. *et al.* Perception of traditional food products in six European regions using free word association. *Food Quality and Preference*, 21, n. 2, p. 225-233, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.06.003>.

GUIDETTI, M.; CARRARO, L.; CAVAZZA, N.; ROCCATO, M. Validation of the revised Food Neophobia Scale (FNS-R) in the Italian context. *Appetite*, 128, p. 95-99, 2018/09/01/2018. doi: 10.1016/j.appet.2018.06.004

GUYON, C., MEYNIER, A., & LAMBALLERIE, M. Protein and lipid oxidation in meat: a review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 131–143. 2016. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.026>

HAYES, D.G., et al. Biodegradable Plastic Mulch Films for Sustainable Specialty Crop Production. *Polymers for Agri-Food Applications*. Springer, Cham. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19416-1_11

HE, H. et al. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension. *Journal of Food Science*, v. 67, n. 2, p. 640-645, 2002. ISSN 0022-1147. DOI:[10.1111/j.1365-2621.2002.tb10652.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10652.x)

HELLBERG, R. S.; DEWITT, C. A. M.; MORRISSEY, M. T. Risk-Benefit Analysis of Seafood Consumption: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, n. 5, p. 490-517, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00200.x>

HENRY, Y.; BOURDON, D., Valeur énergétique de l'avoine nue pour le porc. *Ann. Zootech.*, 20 (4): 577-579. 1971. <http://dx.doi.org/10.1051/animres:19710411>

HENSON, R. K.; ROBERTS, J. K. Use of Exploratory Factor Analysis in Published Research: Common Errors and Some Comment on Improved Practice. *Educational and Psychological Measurement*, 66, n. 3, p. 393-416, 2006. <https://doi.org/10.1177/0013164405282485>

HONGYU, K. Exploratory Factor Analysis: theoretical summary, application and interpretation. *ES Engineering and Science*, 7, n. 4, p. 88-103. 2018. doi: 10.18607/ES201877599

HORN, J. A rationale and technique for estimating the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*.30: 179-185 p. 1965. doi: 10.1007/BF02289447

HSU, K. C., HWANG, J. S., CHI, H. Y., & LAI, K. M. Effect of different high pressure treatments on shucking, biochemical, physical and sensory characteristics of oysters to elaborate a traditional Taiwanese oyster omelette. *Journals of Science Food Agriculture*, 90, 530–535. 2010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3854>

HUGLI, T. E.; MOORE, S. Determination of the tryptophan content of proteins by ion exchange chromatography of alkaline hydrolysates. *The Journal of Biological Chemistry*, v. 247, n. 9, p. 2828-34, 1972. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)45285-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)45285-X)

HURTADO-BERMÚDEZ, S.; JURADO-GONZÁLEZ, J. A.; SANTOS, J. L.; DÍAZ-AMIGO, C. F. *et al.* Geographical origin of bivalve molluscs in coastal areas using natural radioactivity fingerprinting and multivariate statistical analyses: Andalusian coast as case of study. **Journal of Hazardous Materials**, 367, p. 706-714, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.01.027>

IANTOVICS, L. B.; ROTAR, C.; MORAR, F. Survey on establishing the optimal number of factors in exploratory factor analysis applied to data mining. **WIREs Data Mining and Knowledge Discovery**, 9, n. 2, p. e1294, 2018. doi: 10.1002/widm.1294

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Produção da Pecuária Municipal. 43, 2015.

IBGE. , Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo Demográfico. Rio de Janeiro 2023.

JAEGER, S. R.; RASMUSSEN, M. A.; PRESCOTT, J. Relationships between food neophobia and food intake and preferences: Findings from a sample of New Zealand adults. **Appetite**, 116, p. 410-422, 2017. doi: 10.1016/j.appet.2017.05.030

JANTAKOSON et al. Effect of high pressure and heat treatments on black tiger shrimp (*Penaeus monodon Fabricius*) muscle protein. **International Aquatic Research**. 4-19. 2012. <http://doi.org/10.1186/2008-6970-4-19>

JAY, James M. **Microbiologia de alimentos**. 6.ed. PORTO ALEGRE: Artmed, 2005., 711. p. ISBN: 978-85-363-0507-3

JIANG, S., et al. Ultrasonic treatment increased functional properties and in vitro digestion of actomyosin complex during meat storage. **Food Chem.** 2021 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129398>

KAAVYA, R., et al. Emerging non-thermal technologies for decontamination of salmonella in food. **Food Science & Technology**, 112, 400–418. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.011>

KAIMAKOUDI, E.; POLYMEROS, K.; SCHINARAKI, M.-G.; BATZIOS, C. Consumers' Attitudes towards Fisheries Products. **Procedia Technology**, 8, p. 90-96, 2013. doi: 10.1016/j.protcy.2013.11.013

KAUR, P.B., RAO S., NEMA P.K. Effect of hydrostatic pressure and holding time on physicochemical quality and microbial inactivation kinetics of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*), **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Volume 33, 2016, Pages 47-55, ISSN 1466-8564, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.002>

KINGSLEY, D. H. et al. High-pressure processing with hot sauce flavouring enhances sensory quality for raw oysters (*Crassostrea virginica*). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 9, p. 2013-2021, 2015. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84939252907>

KÖSTER, E. P. Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective. **Food Quality and Preference**, 20, n. 2, p. 70-82, 2009. doi:10.1016/j.foodqual.2007.11.002

KRUK, Z. A., YUN, H., RUTLEY, D. L., LEE, E. J., KIM, Y. J., & JO, C. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. **Food Control**, 22, 6–12. 2011.

KUMAR, V., et al. Multi-potential biomarkers for seafood quality assessment: Global wide implication for human health monitoring. TrAC. **Analytical Chemistry**, 132, Article 116056. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116056>

KUNSELMAN, E. et al. Microbial threats and sustainable solutions for molluscan aquaculture. **Sustainable Microbiology**. 2024. <https://doi.org/10.1093/sumbio/qvae002>

LAEMMLI, U. K. SDS-page Laemmli method. **Nature**, v. 227, p. 680-5, 1970.

LANDIM A. P. M. et al. Effect of high hydrostatic pressure on the antioxidant capacity and peptic hydrolysis of whey proteins. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.51:4, e20200560, 2021. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200560>

LATORRES, J. M.; MITTERER-DALTOÉ, M. L.; QUEIROZ, M. I. Hedonic and Word Association Techniques Confirm a Successful Way of Introducing Fish into Public School Meals. **Journal of Sensory Studies**, 31, n. 3, p. 206-212, 2016. doi:10.1111/joss.12204

LEE, Y. C., et al. Effects of high-hydrostatic-pressure processing on the chemical and microbiological quality of raw ready-to-eat hard clam marinated in soy sauce during cold storage. **LWT–Food Science and Technology**, 159, Article 113229. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113229>

LI, Y.; LANG, P.; LINKE, W. A. Titin stiffness modifies the force-generating region of the muscle sarcomeres. **Nature: Scientific Reports**. 2016. <http://www.nature.com/articles/srep24492>

LIN, C. S., et al. Inactivation of microbial loads and retardation of quality loss in Asian hard clam (*Meretrix lusoria*) using high-hydrostatic-pressure processing during refrigerated storage. **Food Control**, 133, Article 108533. 2022b. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108533>

LIN, C-S. et al., Impacts of high-hydrostatic pressure on the organoleptic, microbial, and chemical qualities and bacterial community of freshwater clam during storage studied using high-throughput sequencing. **Food Science and Technology**, 171. 2022a. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114124>

LIU C., et al. Effects of high hydrostatic pressure (HHP) and storage temperature on bacterial counts, color change, fatty acids and non-volatile taste active compounds of oysters (*Crassostrea ariakensis*). **Food Chemistry**, Volume 372, 131247, ISSN 0308-8146, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131247>

LIU, H. J.; CHANG, B. Y.; YAN, H. W.; YU, F. H.; LIU, X. X. Determination of AminoAcids in Food and Feed by Derivatization with 6-Aminoquinolyl-N-Hydroxysuccinimidyl Carbamate and Reversed-Phase Liquid-Chromatographic Separation. Journal of Aoac International, v. 78, n. 3, p. 736-744, 1995. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:97140336>

LOPATEK M., WIECZOREK K. & OSEK J. Prevalence and Antimicrobial Resistance of Bacterial Foodborne Pathogens Isolated from Raw Bivalve Molluscs Subjected to Consumption in Poland during a Ten-Year Period. **Foods**. 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11213521>

LOPES, I. G.; DE OLIVEIRA, R. G.; RAMOS, F. M. Perfil do consumo de peixes pela população brasileira. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, 6, n. 2, p. 62-65, 2016. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n2p62-65>

LOPEZ-CABALLERO, M. et al. Oyster preservation by high-pressure treatment. **Journal of food protection**, v. 63, n. 2, p. 196-201, 2000. ISSN 0362-028X.

LOZANO-OJALVO, D. et al. Pepsin treatment of whey proteins under high pressure produces hypoallergenic hydrolysates. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 43, p. 154–162, 2017.

LUO, H. et al. Quality attributes enhancement of ready-to-eat hairtail fish balls by high-pressure processing. **LWT**, v.147, 2021. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111658

MANZONI, G. C.; POLI, C. R.; RUPP, G. S. Período reproductivo del pectinideo nodipecten nodosus (mollusca:bivalvia) en los alrededores de la isla do arvoredo (27°017's-48°022'w). In: **IX congresso latino americano de acuicultura**, 1996, coquimbo. Comunicacões curtas, 1996. V. 1. P. 197-201.

MACIEL, E. S.; SONATI, J. G.; LIMA, L. K. F.; SAVAY-DA-SILVA, L. K. et al. Similarities and distinctions of fish consumption in Brazil and Portugal measured through electronic survey. **International Food Research Journal**, 23, n. 1, p. 395-402, 2016. Article. <http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20%2801%29%202016/%2858%29.pdf>

MACIEL, E. S.; SAVAY-DA-SILVA, L.K.; GALVÃO, J.A.; OETTERER M. Atributos de qualidade do pescado relacionados ao consumo na cidade de corumbá, MS. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, 41(1): 199 – 206, 2015. Relato de caso. https://www.researchgate.net/publication/282712560_Quality_attributes_related_to_the_consumption_of_fish_in_the_city_of_Corumba_MS

MARQUES, M. H. C.; SILVA, I. C. E.; ZACARDI, D. M.; SANTOS, M. A. S. d. et al. Consumer profile of Amazon river prawn in the Pará State: socioeconomic, consumption frequency and preferences. **Research, Society and Development**, 9, n. 9, p. e525997316. 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7316>

MARTÍNEZ, M. A. et al. Effects of high pressure processing on protein fractions of blue crab (*Callinectes sapidus*) meat. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. 2017. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856416309006>

MARTINS, I. B. A.; OLIVEIRA, D.; ROSENTHAL, A.; ARES, G. et al. Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. **Food Research International**, 125, p. 108555, 2019/11/01 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108555>

MASSON P. & LUSHCHEKINA S. Conformational Stability and Denaturation Processes of Proteins Investigated by Electrophoresis under Extreme Conditions. **Molecules**. 27, 6861. 2022. doi.org/10.3390/molecules27206861

MATOS J. et al. Influence of bioaccessibility of total mercury, methyl-mercury and selenium on the risk/benefit associated to the consumption of raw and cooked blue shark (*Prionace glauca*). **Environmental Research**. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.09.015>

MITTERER-DALTOÉ, M. L.; CARRILLO, E.; QUEIROZ, M. I.; FISZMAN, S. ET AL. Structural equation modelling and word association as tools for a better understanding of low fish consumption. **Food Research International**, 52, n. 1, p. 56-63, 2013/06/01/ 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.048>

MITTERER DALTOÉ, M. L.; BREDA, L. S.; BELUSSO, A. C.; NOGUEIRA, B. A. *et al.* Projective mapping with food stickers: A good tool for better understanding perception of fish in children of different ages. **Food Quality and Preference**, 57, p. 87-96, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.12.003>

MONTERO, P., & GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. High pressure applications on myosystems. In G. V. Barbosa-Cánovas, M. S. Tapia, & M. P. Cano (Eds.), **Novel food processing technologies** (pp. 311–342). New York: CRC Press. 2005

MORAES, R.R.M., Respostas bioquímicas do músculo adutor de juvenis e adultos de vieiras Nodipecten nodosus (Linnaeus, 1758) expostas ao ar. Dissertação (mestrado) - **Universidade Federal de Santa Catarina**, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2012. <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/100766>

MURCHIE, L. W. et al. High pressure processing of shellfish: a review of microbiological and other quality aspects. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 3, p. 257-270, 2005. ISSN 1466-8564.

NICOLOSI, A.; FAVA, N.; MARCIANÒ, C. CHAM. **Consumers' Preferences for Local Fish Products in Catalonia, Calabria and Sicily**. Springer International Publishing. 103-112. 2019. doi: 10.1007/978-3-319-92102-0_12

NIELSEN, H. K.; HURRELL, R. F. Tryptophan determination of food proteins by h.p.l.c. after alkaline hydrolysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 36, n. 9, p. 893-907, 1985. DOI:10.1002/JSFA.2740360920

NOGER, H. E., et al. Risk and benefit assessment of seafood consumption harvested from the Pertuis Charentais region of France. **Environmental Pollution**, 292, Article 118388. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118388>

NOGUEIRA, M. C. F.; HENRIQUES, M. B. Large-scale versus family-sized system production: economic feasibility of cultivating *Kappaphycus alvarezii* along the southeastern coast of Brazil. **Journal of Applied Phycology**, 32, n. 3, p. 1893-1905, 2020. doi: 10.1007/s10811-020-02107-2

NOVAES, A.L.T., VIANNA, L.F.N., SANTOS, A.A., SILVA, F.M., SOUZA, R.V., Regularização da atividade de maricultura no Estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense** 24 (1), 51-53. 2011.

OCAÑO-HIGUERA, V. M., Pacheco-Aguilar, R., and Maeda-Martínez, A. 2001. Bioquímica post mortem en pectínidos. In: Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Agricultura. Maeda-Martínez, A. N. (Ed.). México, DF, México: Limusa SA de CV. Pp. 405-429

OGAWA, M.; MAIA, E. L. Manual de pesca: ciência e tecnologia do pescado. São Paulo: Varela, v. 1, p. 430, 1999.

OHSHIMA, T., USHIO, H., & KOIZUMI, C. (1993). High-pressure processing of fish and fish products. **Trends in Food Science and Technology**, 4, 370–375

OJAGH, S.M., NÚÑEZ-FLORES, R., LÓPEZ-CABALLERO,M. E., MONTERO,M. P., & GÓMEZ-GUILLÉN,M. C. Lessening of high-pressure-induced changes in Atlantic salmon muscle by the combined use of a fish gelatin–lignin film. **Food Chemistry**, 125, 595–606. 2011.

OLATUNDE, O. O., & BENJAKUL, S. Nonthermal processes for shelf-life extension of seafoods: A revisit. **Food Science and Food Safety**, 17, 892–904. 2018. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12354>

OLATUNDE, O. O., SHIEKH, K. A., & BENJAKUL, S. Pros and cons of cold plasma technology as an alternative non-thermal processing technology in seafood industry. **Food Science & Technology**, 111, 617–627. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.026>

OLIVEIRA, F. A. D. et al. Effect of high pressure on fish meat quality – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 66, p. 1-19, 2017/08/01/ 2017. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224416304344>

OMS (WHO) World Health Organization. 2020

ORBAN E, DI LENA G, NEVIGATO T, CASINI I, MARZETTI A, CAPRIONI R. Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. **Food Chem** 77:57–65. 2002.

PACHECO, Sidney. Melhoria e implantação de metodologias de análise de alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência. Seropédica: UFRRJ, 2014. 147p. (Tese, Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Ciência dos Alimentos). Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014. <https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/9257>

PALMIERI, N.; FORLEO, M. B. The potential of edible seaweed within the western diet. A segmentation of Italian consumers. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, 20, p. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100202>.

PALMIERI, N & MARIA BONAVENTURA FORLEO An Explorative Study of Key Factors Driving Italian Consumers' Willingness to Eat Edible Seaweed, **Journal of International Food & Agribusiness Marketing**, 34:4, 433-455, 2022. doi: [10.1080/08974438.2021.1904082](https://doi.org/10.1080/08974438.2021.1904082)

PALMIERI N., NERVO C., TORRI L., Consumers' attitudes towards sustainable alternative protein sources: Comparing seaweed, insects and jellyfish in Italy, **Food Quality and Preference**, Volume 104, 104735, ISSN 0950-3293. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104735>.

PAREDIA, M.E.; TOMAS M.C; CRUPKIN M., Thermal behavior of myofibrillar proteins from the adductor muscles of scallops: a differential scanning calorimetric study (DSC). **Food Science Engineering**. Braz. J. Chem. Eng. 20 (2) .2003 <https://doi.org/10.1590/S0104-66322003000200009>

PATEIRO M., MUNEKATA P.E.S., TSATSANIS C., DOMÍNGUEZ R., ZHANG W., BARBA F.J., LORENZOJ.M., Evaluation of the protein and bioactive compound bioaccessibility/bioavailability and cytotoxicity of the extracts obtained from aquaculture and fisheries by-products, **Advances in Food and Nutrition Research**, Academic Press, Volume 92, 2020, Pages 97-125, ISSN 1043-4526, ISBN 9780128202166, <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.12.002>.

PATHARE P.B. e ROSKILLY A.P.R., Quality and Energy Evaluation in Meat Cooking. **Food Engineering Reviews**. 2016. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:59064833>

PATRIGNANI, F.; LANCIOTTI, R. Applications of High and Ultra High Pressure Homogenization for Food Safety. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, n. 1132, 2016-August-03 2016. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2016.01132>

PAUPÉRIO, A.; SEVERO, M.; LOPES, C.; MOREIRA, P. *et al.* Could the Food Neophobia Scale be adapted to pregnant women? A confirmatory factor analysis in a Portuguese sample. **Appetite**, 75, p. 110-116, 2014. doi: 10.1016/j.appet.2013.12.023

PEREIRA, R.; VICENTE, A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1936-1943, 2010. ISSN 0963-9969.

PLINER, P.; HOBDEN, K. Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans. **Appetite**, 19, n. 2, p. 105-120, 1992. [https://doi.org/10.1016/0195-6663\(92\)90014-W](https://doi.org/10.1016/0195-6663(92)90014-W)

PONCE-DIAZ, G.; MASSO-ROJAS, A.; FELIX-PICO, E.; MORALES-ZARATE, M. *et al.* Nodipecten spp. como recurso pesquero. **Biología y cultivo de los pectínidos del género Nodipecten. Limusa, Mexico DF**, p. 11-26, 2011.

RAMANE K., STRAUTNIECE E., GALOBURDA R. Chemical and Sensory Parameters of Heat-treated Vacuum-packaged Broiler and Hen Fillet Products. **Proceedings of the Latvia University of Agriculture**. 2012. doi:[10.2478/v10236-012-0007-0](https://doi.org/10.2478/v10236-012-0007-0)

RAMIREZ-SUAREZ, J. C., & MORRISSEY, M. T. High hydrostatic pressure and heat treatment effects on physicochemical characteristics of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, 15(1), 5–17. 2006. https://doi.org/10.1300/J030v15n01_02

REIG, L.; ESCOBAR, C.; CARRASSÓN, M.; CONSTENLA, M. *ET AL.* Aquaculture perceptions in the Barcelona metropolitan area from fish and seafood wholesalers, fishmongers, and consumers. **Aquaculture**, 510, p. 256-266, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.066>

RENDUELES, E. et al. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 1251-1260, 2011. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79951511811>

REYES J.E. et al. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) treatments on microbiological shelf-life of chilled Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 2015.

RIBEIRO DE ANDRADE PREVIATO, H. D.; BEHRENS, J. H. Translation and Validation of the Food Neophobia Scale (FNS) to the Brazilian Portuguese. **Nutrición Hospitalaria**, 32, n. 2, p. 925-930, 2015. doi:10.3305/nh.2015.32.2.9108

ROCO T. et al., Effect of high hydrostatic pressure treatment on physical parameters, ultrastructure and shelf life of pre- and post-rigor mortis palm ruff (*Seriola violacea*) under chilled storage. **Food Research International**. 2018. doi:[10.1016/j.foodres.2018.03.009](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.009)

ROJAS-RIVAS, E.; ESPINOZA-ORTEGA, A.; THOMÉ-ORTIZ, H.; CUFFIA, F. More than words! A narrative review of the use of the projective technique of word association in the studies of food consumer behavior: Methodological and theoretical implications. **Food Research International**, 156, p. 111124, 2022/06/01/ 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111124>.

RONG, C. et al. Characterization of microbial community in high-pressure treated oysters by high-throughput sequencing technology. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 45, p. 241-248, 2018/02/01/ 2018. ISSN 1466-8564. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856417305659>

RUBINI S. et al., Comparative evaluation of most probable number and direct plating methods for enumeration of Escherichia coli in Ruditapes philippinarum, and effect on classification of production and relaying areas for live bivalve molluscs, **Food Control**, Volume 154, 2023, 110005, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110005>

RUPP, G. S.; PARSONS, G. J Aquaculture of the Scallop *Nodipecten nodosus* in Brazil. In: (Ed.). **Scallops: Biology, Ecology, Aquaculture, and Fisheries**., 2006. p.999-1017.

RUPP, G.S., Obtenção de reprodutores, indução a desova, cultivo larval e pós larval de *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) (Mollusca: Bivalvia). Dissertação de Mestrado, **Departamento de Aquicultura, Universidade Federal Santa Catarina**, Florianópolis. 132 p.1994.

SANTÉ-LHOUTELLIER, V. et al. Effect of Meat Cooking on Physicochemical State and in Vitro Digestibility of Myofibrillar Proteins. **J. Agric. Food Chem.** 2008. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf072999g>

SATO, H.; SEINO, T.; KOBAYASHI, T.; MURAI, A.; YUGARI, Y. Determination of the Tryptophan Content of Feed and Feedstuffs by Ion-Exchange Liquid-Chromatography. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 48, n. 12, p. 2961-2969, 1984. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:84246858>

SCHATTE OLIVIER A.V. et al. A global review of the ecosystem services provided by bivalve aquaculture. **Reviews in Aquaculture**. 2018. DOI:10.1111/raq.12301

SCHUG DM, BAXTER K, WELLMAN K Valuation of ecosystem services from shellfish restoration, enhancement and management: a review of the literature. **Northern Economics Inc.**, Report, 58 p. 2009.

SENTURK, T., & ALPAS, H. Effect of high hydrostatic pressure treatment (HHPT) on quality and shelf life of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). **Food and Bioprocess Technology**, 6, 2306–2318. 2012.

SHANLIN, F., STOCKER, R., & DAVIES, M. J. Biochemistry and pathology of radical-mediated protein oxidation. **Biochemistry Journal**, 324, 1–18. 1997.

SILVA, F. A., FERREIRA, V. C., MADRUGA, M. S., & ESTÉVEZ, M. Effect of the cooking method (grilling, roasting, frying and sousvide) on the oxidation of thiols, tryptophan, alkaline amino acids and protein cross-linking in jerky chicken. **Journal of food science and technology**, 53(8), 3137–3146. 2016.

SIRÓ I., VÉN CS., BALLA CS., JÓNÁS G., ZEKE I., FRIEDRICH L., Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. **Journal of Food Engineering**. VoL. 91. ISSN 0260-8774. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015>.

SMAAL A.C., FERREIRA J. G., PETERSEN J.G.J.K., STRAND O. **Goods and Services of Marine Bivalves**, Springer, Cham, 598p., 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96776-9>

SMELT, J. P. P. M. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. Trends in **Food Science and Technology**, v. 9, n. 4, p. 152-158, 1998. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0032052931>

SMIDDY, M., et al. Greater high-pressure resistance of bacteria in oysters than in buffer. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 6, 83–90. 2015.

SMITH, J.T. Cenozoic giant pectinids from California and Tertiary Caribbean province: Lyropecten, “Macrochlamys”, Vetipecten, Nodipecten species. **Washington: United States Government**, 136pp. (U. S. Geological Survey Professional paper, 1391). 1991.

SOARES, E. K. B.; ESMERINO, E. A.; FERREIRA, M. V. S.; DA SILVA, M. A. A. P. *et al.* What are the cultural effects on consumers' perceptions? A case study covering coalho cheese in the Brazilian northeast and southeast area using word association. **Food Research International**, 102, p. 553-558, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.053>

SOUZA, R.V., RUPP, G.S., CAMPOS, C.A.A., LEE, R., Moluscos Bivalves: Medidas de controle microbiológico para atender as exigências da União Europeia. Documentos 247. **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina**, Florianópolis, Brasil, 48 p. 2014. <publication/271839238>

SPENCE, C. Comfort food: A review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, 9, p. 105-109, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2017.07.001>.

SÜHNEL S., Utilização de diferentes dietas em reprodutores da vieira *Nodipecten nodosus* (L.) em laboratório e seu efeito na maturação, no rendimento larval e na produção de pré-sementes. Tese de Doutorado. **Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)**, Departamento de Aquicultura, Florianópolis, SC, Brasil, 155p. 2008.

SYMONEAUX, R., GALMARINI, M. V., & MEHINAGIC, E. Comment analysis of consumer's likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. **Food Quality and Preference**, 24 (1) 59-66. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.013>

TABILLO-MUNIZAGA, G., & BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Color and textural parameters of pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white. **Food Research International**, 37(8), 767–775. 2004. DOI:[10.1016/j.foodres.2004.04.001](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.04.001)

TAKEY, M.; GIANNINI, D. T.; KUSCHNIR, M. C. C. Erica: prevalence of fish consumption and its association with cardiovascular risk factors and healthy behavior in Brazilian adolescents. **Jornal de Pediatria**, 2022/04/02/ 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2022.02.003>

TAYLOR, R. et al. Salmon fillet texture is determined by myofibermyofiber and myofiber-myocommata attachment. **Journal of Food Science**, v.67, n.6, p.2067-2071. 2002. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb09502.x

TEIXEIRA, B., et al., Effects of high-pressure processing on the quality of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets during refrigerated storage. **Food and Bioprocess Technology**, 7(5), 1333–1343. 2014. <http://doi.org/10.1007/s11947-013-1170-0>

THEUERKAUF SJ, et al. A global spatial analysis reveals where marine aquaculture can benefit nature and people. **PLoS ONE** 14(10): e0222282. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222282>

TONG L., et al., High-hydrostatic-pressure inactivation of GI.5 and GII.4 human norovirus and effects on the physical, chemical, and taste characteristics of oyster (*Crassostrea virginica*). **LWT- Food Science and Tecnology**, Vol. 176, 114554, ISSN 0023-6438, 2023. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114554>

TRUONG, B. Q. et al. Advances in High-Pressure Processing of Fish Muscles. **Food Engineering Reviews**, v. 7, n. 2, p. 109-129, 2014. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84931565070>

TUORILA, H.; HUUTILAINEN, A.; LÄHTEENMÄKI, L.; OLLILA, S.; TUOMI-NURMI, S.; URALA, N.. Comparison of affective rating scales and their relationship to variables reflecting food consumption. **Food Quality and Preference**, 19(1), 0–61. 2008. doi:10.1016/j.foodqual.2007.06.007.

VAN SPREEKENS K.J.A. The suitability of Long & Hammer's medium for the enumeration of more fastidious bacteria from fresh fishery products. **Arch Lebensmittelhyg**. 1974.

VARELA, P.; ARES, G. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. **Food Research International**, 48, n. 2, p. 893-908, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>

VERSANTVOORT, C.H.M., OOMEN, A.G., VAN DE KAMP, E., ROMPELBERG, C.J., SIPS, A.J. Applicability of an in vitro digestion model in assessing the bioaccessibility of mycotoxins from food. **Food Chem. Toxicol.** 43, 31–40. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2004.08.007>

VIDAL, L.; ARES, G.; GIMÉNEZ, A. Projective techniques to uncover consumer perception: Application of three methodologies to ready-to-eat salads. **Food Quality and Preference**, 28, n. 1, p. 1-7, 2013/04/01/ 2013. doi:10.1016/j.foodqual.2012.08.005

VOIGT, D. D.; KELLY, A. L.; HUPPERTZ, T. High-Pressure Processing of Milk and Dairy Products. In: (Ed.). **Emerging Dairy Processing Technologies: John Wiley & Sons**, Ltd, 2015. p.71-92. ISBN 9781118560471.

WANG, C. Y. et al. Recent Advances in Food Processing Using High Hydrostatic Pressure Technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 4, p. 527-540, 2016. DOI: 10.1080/10408398.2012.745479

WANG, O., & SOMOGYI, S. Motives for luxury seafood consumption in first-tier cities in China. **Food Quality and Preference**, 79, Article 103780. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103780>

WEI Q., JUN MEI J., XIE J. Application of electron beam irradiation as a non-thermal technology in seafood preservation. **LWT** 169. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113994>

WIJSMAN, J. W. M.; TROOST, K.; FANG, J.; RONCARATI, A. Global Production of Marine Bivalves. Trends and Challenges. In: SMAAL, A. C.; FERREIRA, J. G., et al (Ed.). **Goods and Services of Marine Bivalves**. Cham: Springer International Publishing, p. 7-26. 2019. doi:10.1007/978-3-319-96776-9_2

WRIGHT, D.J. & WILDING, P. Differential scanning calorimetric study of muscle and its proteins: myosin and its subfragments. **J.Sci.Food Agric.**, 35, 357, 1984. DOI: 10.1002/jsfa.2740350317

WU Z-X. et al. Effect of boiling on texture of scallop adductor muscles and its mechanism based on label-free quantitative proteomic technique. **Food Chemistry**. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135723>

XUE F., LI C. & ADHIKARI B. Physicochemical properties of soy protein isolates-cyanidin-3-galactoside conjugates produced using free radicals induced by ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**. 2020. [10.1016/j.ultsonch.2020.104990](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104990)

YI, J. et al. Shucking of bay scallop (*Argopecten irradians*) using high hydrostatic pressure and its effect on microbiological and physical quality of adductor muscle. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 18, p. 57-64, 2013. DOI: [10.1016/j.ifset.2013.02.010](https://doi.org/10.1016/j;ifset.2013.02.010)

YIN T. & SHI L. Processing and Preservation of Aquatic Products. **Foods**. 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12102061>

YIN Y. et al. Insights into Digestibility and Peptide Profiling of Beef Muscle Proteins with Different Cooking Methods. **J. Agric. Food Chem.** 2020. doi:10.1021/acs.jafc.0c04054

YORDANOV D.G. & ANGELOVA G.V. High Pressure Processing for Foods Preserving, **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, 24:3, 1940-1945, 2010. DOI:10.2478/V10133-010-0057-8

YU D., et. al. Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products: A review. **Food Science and Nutrition**. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.15960672020>

ZHANG et al. The Effect of Heat Treatment on the Digestion and Absorption Properties of Protein in Sea Cucumber Body Wall. **Foods**. 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12152896>

ZHAO, R. J. et al. Ultra-high-pressure processing improves proteolysis and release of bioactive peptides with activation activities on alcohol metabolic enzymes in vitro from 35mushroom foot protein. **Food Chemistry**, v. 231, p. 25–32, 2017.

ZHOU, L.; Jin, S.; Zhang, B.; Cheng, G. z. g. c. *et al.* Determinants of fish consumption by household type in China. **British Food Journal**, 117, n. 4, p. 1273-1288, 2015. doi:10.1108/bfj-05-2014-0182

ZHU, S. et al. The application of photodynamic inactivation to microorganisms in food. **Food Chemistry**, 12, Article 100150. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodch.2021.100150>