



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

MAYARA GALVÃO MARTINS

**ESTUDO DAS ETAPAS DE OBTENÇÃO E DE ARMAZENAMENTO DO  
PIRARUCU SALGADO-SECO**

BELÉM – PA  
2020

MAYARA GALVÃO MARTINS

**ESTUDO DAS ETAPAS DE OBTENÇÃO E DE ARMAZENAMENTO DO  
PIRARUCU SALGADO-SECO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

BELÉM – PA  
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

M379e Martins, Mayara Galvão  
Estudo das etapas de obtenção e de armazenamento do pirarucu  
salgado-seco / Mayara Galvão Martins. — 2020.  
128 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena  
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade  
Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Arapaima gigas . 2. Desidratação osmótica. 3.  
Halofílicas. 4. Secagem. 5. Sensorial. I. Título.

CDD 664

---

MAYARA GALVÃO MARTINS

**ESTUDO DAS ETAPAS DE OBTENÇÃO E DE ARMAZENAMENTO DO  
PIRARUCU SALGADO-SECO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Orientador:** Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena

Data de Avaliação: 29 / 06 /2020

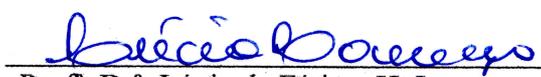
Conceito: APROVADA

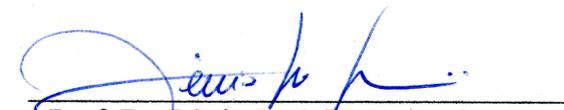
BANCA EXAMINADORA

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena  
(Orientador – FEA/ITEC/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Santos Lopes  
(Membro interno – FEA/ITEC/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Israel Hidenburgo Aniceto Cintra  
(Membro externo – ISR/ISARH/UFRA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lúcia de Fátima H. Lourenço  
(Membro interno – FEA/ITEC/UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria  
(Membro externo – FEQ/ITEC/UFPA)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues  
(Suplente interno – FEA/ITEC/UFPA)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eder Augusto Furtado Araujo  
(Suplente externo – FEA/ITEC/UFPA)

*À Deus, que me permitiu vivenciar tudo isso.*

*Aos meus pais Claudia e Nivaldo, minha irmã  
Déborah e minha avó Dina, que sempre estiveram  
presentes em todos os momentos da minha vida;  
dedico com carinho.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Palavras me faltam pra agradecer a Deus por tudo que sou e conquistei até aqui. Gratidão me define por se fazer presente em todos os momentos da minha vida, pelas dificuldades que conseguimos superar, pelas vitórias que alcançamos, por ser sempre meu refúgio e minha fortaleza.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.*

*Ao meu orientador, Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena, por sempre ter acreditado e confiado no meu potencial, pelos ensinamentos, pelos momentos de descontração, pelas palavras de conforto e incentivo, pelas sugestões, críticas e atenção dispensada ao longo desses anos em que trabalhamos juntos.*

*Aos membros da banca pelas valorosas contribuições: a Prof. Dra. Alessandra Lopes, por ter me dado a primeira oportunidade de estágio e por toda a parceria ao longo desses anos de UFPA; a Prof. Dra. Lúcia Lourenço, pelos ensinamentos e por sempre disponibilizar os meios para que minha pesquisa fosse desenvolvida; ao Prof. Israel Cintra, por ter contribuído para a construção dessa tese, pelos ensinamentos e incentivo; e ao Prof. Dr. Lênio Faria, pelas colaborações no tratamento estatístico e no desenvolvimento dessa pesquisa.*

*Ao técnico do Laboratório da Faculdade de Engenharia de Alimentos, Sr. Mário Carneiro por todos os ensinamentos que sempre compartilhamos, pela confiança e suporte dado durante a realização de todos os trabalhos que desenvolvi na minha vida acadêmica.*

*A todos da família LAFAMI, Adriano Lucena, Ana Paula Campos, Brenda Brito, Darly Pompeu, Elivaldo Modesto, Gisélia Nascimento, Tatyane da Cruz, Yasmin Lopes, Fernanda Sousa, Carlos Henrique, Maiara Oliveira, agradeço pelos momentos de descontração e pelos conhecimentos compartilhados. A todos que passaram pelo laboratório ao longo desses anos, com quem tive oportunidade de conviver e trabalhar, agradeço pelo crescimento profissional e pessoal que me proporcionaram. Em especial agradeço a parceria da Jaqueline que está comigo nessa jornada desde a graduação e a Gisélia por todo o suporte que me deu na realização da análise sensorial. Agradeço também ao A. Rondi, pela amizade e parceria, por todo apoio que me deu, por ter sido meu companheiro no fim dessa jornada, por topar viajar comigo sempre e me levar nas suas viagens também, por absolutamente todos os momentos compartilhados, somos sem dúvida um lindo encontro.*

Aos membros dos laboratórios: LABIOTEC, LAPOA, LABEX, Laboratório de Microbiologia e Laboratório de Tecnologia de Alimentos e seus respectivos professores coordenadores, por todo suporte fornecido ao desenvolvimento desta pesquisa. Em especial, agradeço pela amizade, incentivo, paciência e colaboração, aos colegas: Francília Siqueira, Deusa Leitão, Mayumi Konagano, Luiza Martins, Cleidiane Araújo, Maurício Freitas, Jáira Batista, Flavia Pires, Robson Carvalho, Felipe Maia e Kevin Albert.

Aos meus pais, Nivaldo e Claudia, por sempre me motivarem a estudar e por não medirem esforços para que eu conquistasse meus objetivos, pela educação e amor incondicional que sempre me deram. Obrigada por serem meu porto seguro e meu abrigo...amo vocês, papis e mamis.

A minha vó Dina, pelas orações, por toda paciência, carinho e preocupação, por sempre estar ao meu lado, por todas as vezes que me ajudou fazendo o possível e o impossível para que eu finalizasse esse trabalho. A senhora é muito mais que importante pra mim...é essencial...lhe amo!

A minha irmã, Déborah Elena, agradeço com profunda admiração, pela paciência que sempre teve comigo, pelos ensinamentos, por ser minha companheira nos momentos de alegria e também nos de tristeza, por ser minha confidente, meu ombro amigo, minha maior apoiadora e por nunca duvidar do meu potencial.

Aos meus amores Luppy, Nicky, Pitty, Billy e Meow pela companhia, carinho, alegrias que me trouxeram ao longo desses anos.

Ao Thyago Thomas, agradeço por ter entrado na minha vida tornando-a mais leve e meus dias mais felizes, por todo amor e as palavras de incentivo e motivação.

A toda minha família, meus avós, tios e primos, minha afilhada Ana Clara, minha família cearense, por todo o apoio e incentivo. Agradeço também a minha mãe de coração Carmen Dias por ter me adotado com imenso amor e sempre orar e torcer por mim, pelo carinho e apoio que sempre me deu.

Ao meu squad Brenda Brito, Elivaldo Modesto Jr. e Luan Milomes, agradeço pela amizade que construímos, por sempre respeitarmos nossas diferenças e nos entendermos, pelas risadas, polêmicas e zoeiras sem fim, pelo apoio nos bons e maus momentos, pela parceria nos aspectos pessoais e profissionais, por tudo que vivenciamos nesses anos.

Ao meu parceiro Gilson Chagas Jr., um dos maiores presentes que a UFPA me deu e que quero levar pra sempre comigo, sou grata por tudo que fez por mim, pelos momentos infinitos de descontração,

por ter me ensinado do zero um pouco do universo que é a microbiologia, sem você parte desse trabalho não teria acontecido.

A todos do Laboratório de Análise de Alimento (FANUT/UFPA), em especial a coordenadora do laboratório e minha amiga, Prof. Dra. Orquídea Vasconcelos por sempre acreditar em mim e me incentivar a nunca desistir, por todos os conselhos, desabafos e ensinamentos compartilhados.

Aos meus amigos de graduação Adriano Marçal, Fernanda Wariss, Flavia Pires, Jaqueline Moraes e Leonardo Pessoa, os quais levarei sempre comigo. Agradeço também aos amigos do Meu Studio de Pilates e Musculação Letícia, Glaucia e Alba pela amizade ao longo desses anos em que treinamos juntas.

Aos meus amigos de longa data Laura de Oliveira, Yuichi Takeda, Thiago Roque, Paulo Chada e Jéssica Penha, agradeço, pois mesmo distantes fisicamente são essenciais e sempre se fazem presente em minha vida.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, com sugestões, críticas ou amizade.

*“Tudo neste mundo tem o seu tempo; cada coisa tem sua ocasião. Há tempo de nascer e tempo de morrer; tempo de plantar e tempo de colher; tempo de matar e tempo de curar; tempo de derrubar e tempo de construir.” (Eclesiastes 1, 1-3)*

## RESUMO

O pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) tem despertado interesse para a exploração comercial, devido a sua qualidade nutricional e as características sensoriais, bem como por apresentar uma elevada taxa de crescimento em cativeiro e um elevado rendimento de carcaça. A salga e a secagem são os principais processos utilizados na conservação do músculo do peixe, o qual é tradicionalmente comercializado na forma salgada-seca.

Por outro lado, o processamento do pirarucu ainda não possui condições tecnológicas padronizadas e a comercialização dos produtos também ocorre sem um controle efetivo, o que compromete a qualidade dos produtos. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do pirarucu salgado-seco comercial, bem como estudar o processo de obtenção do pirarucu salgado-seco, com estabilidade e qualidade satisfatórias. No primeiro capítulo é apresentada uma revisão da literatura sobre as temáticas abordadas no estudo e nos quatro capítulos seguintes são apresentados os principais resultados da pesquisa.

No segundo capítulo é apresentado um manuscrito que versa sobre a avaliação da composição e da qualidade físico-química das regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco comercializado na região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil). A composição e parâmetros de qualidade (atividade de água, pH, acidez total titulável, cor instrumental, bases voláteis totais, substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico e perfil de aminas) de seis amostras comerciais do produto foram analisadas, para identificar possíveis marcadores de qualidade a serem empregados durante o processamento e a comercialização do produto.

O terceiro capítulo apresenta um manuscrito com os resultados da pesquisa, na qual foi avaliado o impacto do emprego de diferentes proporções de sal refinado e sal grosso, no processo de salga seca das regiões dorsal e ventral do pirarucu. Adicionalmente, foi estudado o processo de secagem complementar do produto salgado, bem como as possíveis alterações do produto, durante o período de estocagem, em atmosfera padrão.

No quarto capítulo é apresentado um manuscrito publicado na revista *Food Research International*, com os resultados da pesquisa que avaliou a influência da aplicação de pulso de vácuo e de pulsos periódicos de vácuo, bem como da temperatura, no processo de salga do músculo do pirarucu, por impregnação com cloreto de sódio.

O quinto capítulo apresenta um manuscrito com os resultados do estudo que comparou os processos de secagem com circulação de ar quente e com circulação ar frio, do músculo do pirarucu impregnado com o cloreto de sódio, utilizando pulso periódico de vácuo. Neste estudo foi também avaliado o comportamento higroscópico e as características nutricionais e sensoriais dos produtos obtidos pelos dois processos de secagem.

## ABSTRACT

Pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) has promoted interest for commercial exploitation, due to its nutritional quality and sensory characteristics, as well as having a high rate of growth in captivity and a high carcass yield. Salting and drying are the main processes used in the fish muscle conservation, which is traditionally sold in the form of dry-salted.

On the other hand, the processing of pirarucu does not have standard technological conditions and the sale of products also occurs without effective control, which compromises the quality products. Thus, this study aimed to assess the quality of commercial dry-salted pirarucu, as well as to study the process of obtaining dry-salted pirarucu, with satisfactory stability and quality. In the first chapter, a review of the literature on the themes addressed in the study is presented and in the following four chapters the main research results are presented.

In the second chapter, a manuscript is presented that deals with the evaluation of the composition and physical-chemical quality of the dorsal and ventral regions of salted-dried pirarucu sold in the Metropolitan Region of Belém (Pará, Brazil). The composition and quality parameters (water activity, pH, total titratable acidity, instrumental color, total volatile bases, substances reactive to thiobarbituric acid and amine profile) from six commercial samples of the product were analyzed, to identify possible quality markers to be used during the processing and marketing of the product.

The third chapter presents a manuscript with the results of the research, in which the impact of using different proportions of refined and coarse salt in the dry salting process of the dorsal and ventral regions of the pirarucu was evaluated. Additionally, the complementary drying process of the salted product was studied, as well as the possible changes of the product, during the storage period, in a standard atmosphere.

In the fourth chapter, a manuscript published in the Food Research International magazine is presented, with the results of the research that evaluated the influence of the application of vacuum pulse and periodic vacuum pulses, as well as temperature, in salting process of the pirarucu muscle, by impregnation with sodium chloride.

The fifth chapter presents a manuscript with the results of the study that compared the drying processes with hot air circulation and cold air circulation, of the pirarucu muscle impregnated with sodium chloride, using a periodic vacuum pulse. In this study, the hygroscopic behavior and the nutritional and sensory characteristics of the products obtained by the two drying processes were also evaluated.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
<b>1 PIRARUCU .....</b>	<b>4</b>
<b>2 ASPECTOS DE QUALIDADE DO PESCADO .....</b>	<b>6</b>
2.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH).....	6
2.2 OXIDAÇÃO LIPÍDICA .....	7
2.3 BASES VOLÁTEIS TOTAIS.....	8
2.4 AMINAS BIOATIVAS .....	8
2.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS.....	11
<b>3 PROCESSO TRADICIONAL DE SALGA E SECAGEM.....</b>	<b>13</b>
<b>4 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO PESCADO SALGADO-SECO .....</b>	<b>15</b>
<b>5 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....</b>	<b>17</b>
5.1 FUNDAMENTOS DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	17
5.2 MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA .....	19
5.3 FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	20
5.3.1 Natureza do produto .....	20
5.3.2 Composição e concentração da solução osmótica.....	21
5.3.3 Temperatura do processo .....	22
5.3.4 Pressão do processo .....	22
<b>6 SECAGEM .....</b>	<b>23</b>
6.1 FUNDAMENTOS DA SECAGEM.....	23
6.2 MÉTODOS DE SECAGEM .....	25
<b>7 SORÇÃO DE UMIDADE .....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO II – MANUSCRITO 1: COMPOSIÇÃO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO PIRARUCU SALGADO-SECO COMERCIAL .....</b>	<b>38</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
2.1 MATERIAL .....	39
2.2 COMPOSIÇÃO DO PIRARUCU SALGADO-SECO .....	40

2.3 AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DO PIRARUCU SALGADO-SECO .....	40
2.4 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA.....	41
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
3.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL .....	41
3.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS .....	43
3.3 PARÂMETROS DE COR .....	47
3.4 PERFIL DE AMINAS BIOATIVAS.....	48
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO III – MANUSCRITO 2: CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO PIRARUCU SALGADO-SECO.....</b>	<b>56</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>57</b>
2.1 MATÉRIA-PRIMA.....	57
2.2 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA .....	58
2.3 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DA MATÉRIA-PRIMA .....	58
2.4 PROCESSO DE SALGA.....	58
2.5 PROCESSO DE SECAGEM .....	59
2.6 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO PRODUTO.....	60
2.7 ESTABILIDADE DO PIRARUCU SALGADO-SECO .....	61
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	61
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PIRARUCU .....	62
3.2 PROCESSO DE SALGA.....	63
3.3 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO PRODUTO .....	66
3.4 PROCESSO DE SECAGEM .....	67
3.5 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO PRODUTO.....	68
3.6 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PRODUTO.....	70
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO IV – MANUSCRITO 3: APLICAÇÃO DE PULSO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL DO FILÉ DE PIRARUCU .....</b>	<b>78</b>

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>79</b>
2.1 MATÉRIA-PRIMA E PREPARO DA AMOSTRA.....	79
2.2 PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL.....	80
2.3 CINÉTICA DO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL .....	81
2.4 MODELAGEM DO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL .....	82
2.5 PREDIÇÃO DA DIFUSIVIDADE APARENTE.....	82
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	83
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>
<b>CAPÍTULO V – MANUSCRITO 4: SECAGEM DO FILÉ DE PIRARUCU SALGADO POR CIRCULAÇÃO DE AR A QUENTE E A FRIO.....</b>	<b>93</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>93</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>94</b>
2.1 MATÉRIA-PRIMA.....	94
2.2 PROCESSOS DE SALGA.....	94
2.3 PROCESSOS DE SECAGEM A QUENTE E A FRIO.....	95
2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS .....	97
2.5 AVALIAÇÃO HIGRÓSCOPICA .....	98
2.6 AVALIAÇÃO SENSORIAL.....	99
2.6.1 Recrutamento e pré-seleção do painel de julgadores .....	99
2.6.2 Seleção do painel de julgadores.....	100
2.6.3 Desenvolvimento da terminologia descritiva e treinamento do painel de julgadores .....	100
2.6.4 Análise sensorial .....	101
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>101</b>
3.1 PROCESSO DE SALGA .....	101
3.2 PROCESSO DE SECAGEM .....	103
3.3 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO PRODUTO.....	105
3.4 AVALIAÇÃO SENSORIAL DO PRODUTO .....	107
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>110</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>110</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
<b>Figura 1.</b> Pirarucu <i>Arapaima gigas</i> (Schinz, 1822).....	4
<b>Figura 2.</b> Estrutura química das aminas. ....	10
<b>Figura 3.</b> Representação esquemática do processo de desidratação osmótica. ....	18
<b>Figura 4.</b> Curva de secagem hipotética: umidade (a) e taxa de secagem (b), em função do tempo. ....	24
<b>Figura 5.</b> Isotermas de sorção de umidade generalizadas.....	27
<b>CAPÍTULO III – MANUSCRITO 2: CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO PIRARUCU SALGADO-SECO</b> .....	<b>56</b>
<b>Figura 1.</b> Representação esquemática dos sistemas de salga utilizados na primeira (a) e na segunda (b) etapa da pesquisa. ....	59
<b>Figura 2.</b> Cinética de salga da região dorsal do filé do pirarucu. (a) 1ª condição, (b) 2ª condição, (c) 3ª condição, (d) 4ª condição, (e) 5ª condição.....	64
<b>Figura 3.</b> Cinética de salga da região ventral do filé de pirarucu. (a) 1ª condição, (b) 2ª condição, (c) 3ª condição, (d) 4ª condição, (e) 5ª condição.....	65
<b>Figura 4.</b> Curvas de secagem das regiões dorsal (○) e ventral (□) do pirarucu salgado. ....	68
<b>Figura 5.</b> Isotermas de adsorção de umidade das regiões dorsal (○, —) e ventral (□,----) do filé de pirarucu salgado-seco e as curvas preditas pelos modelos de GAB.....	69
<b>Figura 6.</b> Variação da acidez total titulável (●), do pH (●) e do TBARS (●) para o pirarucu salgado-seco, durante 60 dias de armazenamento. Região dorsal a (a) 10°C e (b) 25°C e região ventral a (c) 10°C e (d) 25°C.....	71
<b>Figura 7.</b> Filé de pirarucu salgado-seco no 50º dia de armazenamento a 25°C. (a) Região dorsal e (b) Região ventral.....	73
<b>CAPÍTULO IV – MANUSCRITO 3: APLICAÇÃO DE PULSO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL DO FILÉ DE PIRARUCU</b> .....	<b>78</b>
<b>Figura 1.</b> Dispositivo utilizado para a realização dos ensaios de desidratação osmótica.....	80
<b>Figura 2.</b> Esquema gráfico dos processos de pulso de vácuo.....	81
<b>Figura 3.</b> Cinética de ganho sólido durante o processo de salga do filé de pirarucu a 10°C, 20°C, 30°C e 40°C, usando impregnação com pulso de vácuo (PVI) e com pulsos periódicos de vácuo (PPVI) (marcadores) e o ajuste do modelo proposto por Peleg (linhas): 1ª condição (○, —), 2ª condição (□,----), 3ª condição (◇, ····) e 4ª condição (Δ, -·-·-). ....	84

**Figura 4.** Perfis de umidade e de atividade da água durante o processo de salga do filé de pirarucu a 10°C, 20°C, 30°C e 40°C, na impregnação com pulso de vácuo (PVI) e na impregnação com pulsos periódicos de vácuo (PPVI): 1ª condição (○), 2ª condição (□), 3ª condição (◇) e 4ª condição (Δ)..... 86

**Figura 5.** Difusividade efetiva para o processo de salga do filé de pirarucu a 10°C, 20°C, 30°C e 40°C, para a impregnação com pulso de vácuo (PVI) e a impregnação com pulsos periódicos de vácuo (PPVI). 1ª condição (○), 2ª condição (□), 3ª condição (◇) e 4ª condição (Δ)..... 89

## **CAPÍTULO V – MANUSCRITO 4: SECAGEM DO FILÉ DE PIRARUCU SALGADO POR CIRCULAÇÃO DE AR A QUENTE E A FRIO..... 93**

**Figura 1.** Representação esquemática do sistema utilizado nos processos de secagem a frio e a quente..... 95

**Figura 2.** Curvas de secagem para o filé do dorso do pirarucu salgado e seco a frio (a) e a quente (b)..... 104

**Figura 3.** Isotermas de adsorção (○) e de dessorção (●) de umidade para o pirarucu salgado-seco a frio (a) e a quente (b). ..... 106

**Figura 4.** Gráfico radar com as médias atribuídas aos atributos avaliados nas amostras de pirarucu salgado-seco a frio (●) e a quente(●)..... 108

**Figura 5.** Intenção de compra do pirarucu salgado-seco a frio (a) e a quente (b). ..... 110

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO II – MANUSCRITO 1: COMPOSIÇÃO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO PIRARUCU SALGADO-SECO COMERCIAL..... 38**

**Tabela 1.** Composição centesimal das amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco..... 42

**Tabela 2.** Propriedades físico-químicas das amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco..... 45

**Tabela 3.** Parâmetros de cor instrumental das amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco..... 47

**Tabela 4.** Aminas bioativas detectadas nas amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco..... 49

### **CAPÍTULO III – MANUSCRITO 2: CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO PIRARUCU SALGADO-SECO..... 56**

**Tabela 1.** Composição centesimal das regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu. .... 62

**Tabela 2.** Contagem de bactérias halofílicas (log UFC/g) ao longo de 10 dias de salga das regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu. .... 67

**Tabela 3.** Microbiota das regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco durante o armazenamento..... 72

### **CAPÍTULO IV – MANUSCRITO 3: APLICAÇÃO DE PULSO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL DO FILÉ DE PIRARUCU ..... 78**

**Tabela 1.** Parâmetros do modelo Peleg para o ajuste os dados experimentais da cinética de ganho sólido, durante o processo de salga do filé de pirarucu, em diferentes temperaturas e com a aplicação de pulso de vácuo (PVI) e de pulsos periódicos de vácuo (PPVI). .... 87

### **CAPÍTULO V – MANUSCRITO 4: SECAGEM DO FILÉ DE PIRARUCU SALGADO POR CIRCULAÇÃO DE AR A QUENTE E A FRIO..... 93**

**Tabela 1.** Modelos matemáticos usados no ajuste da cinética de secagem do filé da região dorsal do pirarucu salgado-seco. .... 97

**Tabela 2.** Composição centesimal do pirarucu *in natura*, do pirarucu salgado e do pirarucu salgado-seco a frio e a quente..... 102

**Tabela 3.** Valores das estatísticas para os ajustes dos modelos aos dados de secagem a frio e a quente do pirarucu salgado. .... 105

**Tabela 4.** Médias das notas dos atributos e do índice de aceitabilidade do filé de pirarucu salgado-seco a frio e a quente..... 107

# INTRODUÇÃO GERAL

---

A Amazônia é reconhecida mundialmente por sua grande diversidade, a qual traz um impacto positivo no contexto social, cultural e econômico para a região e, conseqüentemente, para o Brasil (JUNK; SOARES; BAYLEY, 2007), que possui várias espécies de peixes com potencial para produção aquícola. Segundo o IBGE (2018), na piscicultura brasileira destaca-se o cultivo de 17 espécies, dentre as quais, o pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) figura como uma das espécies mais produzidas no país, com uma produção anual de 1.838.569 kg, em 2018.

O potencial para a exploração sustentável dessa espécie está relacionado à qualidade dos aspectos nutricionais e sensoriais, como o elevado teor de proteínas de alto valor biológico e a coloração levemente rosada e textura firme do músculo (MARTINS; PENA, 2017); às suas características biológicas, como a respiração aérea (a partir da fase juvenil); ao alto desempenho zootécnico, como a alta taxa de crescimento (até 10 kg por ano); o fácil manuseio em cativeiro e boa adaptação a alimentação artificial; e o alto rendimento de carcaça (57%) (PEREIRA-FILHO et al., 2003; CASTELLO, 2008 a,b; BALDISSEROTTO; GOMES, 2010; FOGAÇA et al., 2011).

Essa espécie é considerada uma das maiores da ictiofauna de água doce do planeta e tem despertado interesse para a exploração comercial, embora o pirarucu *in natura* seja pouco consumido nos grandes centros de comercialização de pescado, onde ele é tradicionalmente comercializado na forma salgada-seca. Apesar do alto valor nutricional e comercial, o pirarucu ainda não possui um processo tecnológico padronizado e controlado, o que compromete a qualidade e a conservação do peixe.

Embora apresente grande relevância nutricional, o pescado é um alimento altamente perecível, devido ao elevado pH e teor de água. Diante disso, métodos combinados têm sido aplicados, não só como uma alternativa para conservar o produto por um maior tempo, mas também para manter a qualidade nutricional e sensorial do mesmo (CORZO; BRACHO; MARVAL, 2006). A utilização de cloreto de sódio (NaCl), visando aumentar a vida útil do pescado é um método de preservação relativamente barato e antigo. O processo de salga do pescado baseia-se no princípio da desidratação osmótica, onde ocorre à difusão de sal para o interior dos tecidos, acompanhada de perda da água livre por osmose, o que resulta na redução da atividade de água ( $a_w$ ) do produto (SIGURGISLADOTTIR et al., 2000; WANG; TANG; CORREIA, 2000; GALLART-JORNET et al., 2007).

A desidratação osmótica (DO) é uma importante tecnologia no processamento do pescado e consiste na remoção parcial da água do produto, baseado na imersão do mesmo em soluções hipertônicas, com um ou mais solutos (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; MACIEL; RODRIGUES; PENA, 2016). Adicionalmente, a aplicação de pulso de vácuo por um curto período, no início do processo de DO, tem se mostrado como uma alternativa para o melhoramento de processos osmóticos difusivos, embora este processo ainda seja pouco explorado para peixes (ZHAO; XIE, 2004; CORZO; BRACHO; MARVAL, 2006; MARTINS; PENA, 2017).

As propriedades intrínsecas dos tecidos biológicos; o tipo, a concentração e a temperatura do agente osmótico; a relação solução/produto; o tempo de imersão; a pressão e a agitação a qual o sistema é submetido são variáveis que podem interferir na DO. Em função do objetivo do processo, o controle dessas variáveis pode resultar em duas situações distintas e opostas, uma na qual há predominância da desidrataação, quando a perda de água (PA) é maior que o ganho de sólidos (GS), e outra em que predomina a impregnação, onde o GS é maior que a PA (RAOULT-WACK, 1994; TORTOE, 2010; PHISUT, 2012).

A secagem convectiva, por sua vez, promove a remoção da água contida no interior do produto, por evaporação, a qual é promovida por convecção forçada do ar, devido aos processos simultâneos de transferência de calor e massa (STRUMILLO; KUDRA, 1986; KROKIDA; MAROULIS, 2002; MUJUMDAR, 2014). Nesse contexto, a utilização da DO, combinada ao processo de secagem tem despertado interesse, por ser uma alternativa econômica e segura para a preservação de produtos alimentícios. Esta combinação de métodos também pode promover a redução da perda da qualidade nutricional e sensorial do produto, quando comparado com produtos submetidos à secagem direta; além de contribuir para a redução de custos com embalagem, transporte e armazenamento (COLLIGNAN et al., 2001; CORZO; BRACHO; MARVAL, 2006; RATTI, 2008).

O peixe salgado desidratado é um alimento de grande procura em diversas partes do mundo, podendo constituir um produto nobre, de alto valor agregado. Por outro lado, pouco se conhece a respeito dos mecanismos de transferência de massa e das mudanças estruturais, de ordem física, química e bioquímica, que ocorrem durante os processos de DO e secagem de produtos de origem animal.

A falta de controle dos níveis de remoção de água e o uso de temperaturas e concentrações de sal inadequadas durante o processamento do peixe salgado-seco podem ocasionar a ruptura da parede celular, devido a ativação dos mecanismos de autólise (YANG; LE MAGUER, 1992; CORZO; BRACHO, 2007; GALLART-JORNET et al., 2007), que

podem desencadear alterações irreversíveis na estrutura do pescado, como: a desnaturação das proteínas miofibrilares, a perda de funcionalidade das proteínas do músculo e a formação de aminas biogênicas.

Embora os processos de DO e secagem reduzam os riscos de contaminação, em função da diminuição da  $a_w$ , é importante avaliar o comportamento do produto em relação ao ganho de água. Isto pode ser feito a partir das isotermas de sorção de umidade, que descrevem a relação entre a umidade e a  $a_w$  de um produto, a uma temperatura constante (LABUZA, 1968). As isotermas são a base para o estudo do comportamento higroscópico de alimentos desidratados, a partir das quais é possível estimar a estabilidade do produto, o tempo de secagem, a vida de prateleira e o tipo de embalagem a ser utilizado (IGLESIAS; CHIRIFE, 1982; KAREL; LUND, 2003; ASSUNÇÃO; PENA, 2007; PENG et al., 2007).

As considerações feitas, associadas à escassez de estudos sobre o processamento do pirarucu, no que se refere à elaboração de um produto salgado-seco, motivaram o desenvolvimento desta pesquisa, a qual visa avaliar a qualidade do pirarucu salgado-seco comercial, bem como estudar o processo de obtenção do produto, com estabilidade e qualidade satisfatórias.

Assim, este trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos: no Capítulo I é apresentada uma revisão da literatura, sobre as temáticas abordadas na pesquisa; no Capítulo II é apresentado o manuscrito intitulado “Qualidade físico-química e microbiológica do pirarucu salgado-seco comercial”; o Capítulo III apresenta o manuscrito intitulado “Caracterização e estabilidade físico-química e microbiológica do pirarucu salgado-seco”; no Capítulo IV é apresentado o manuscrito “Aplicação de pulso de vácuo no processo de salga por impregnação do pirarucu”, já publicado na revista *Food Research International*; e no Capítulo V é apresentado o manuscrito intitulado “Secagem do filé de pirarucu salgado por circulação de ar a quente e a frio”.

# CAPÍTULO I

## Revisão de Literatura

---

### 1 PIRARUCU

Dentre as diversas espécies de peixes nativos da região amazônica, destaca-se o pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), da Família Osteoglossidae; um peixe primitivo pertencente a um dos grupos mais antigos de teleósteos vivos (Ordem Osteoglossiformes), caracterizando assim uma espécie de transição entre os peixes ósseos ancestrais e os teleósteos modernos (VENTURIERI; BERNADINO, 1999; ARANTES et al., 2010; CASTELLO; STEWART, 2010).

Considerado uma das maiores espécies da ictiofauna de água doce do planeta, pois pode atingir até 3 m de comprimento e 200 kg de peso, o pirarucu (Figura 1) representa um recurso de importância não só econômica, mas também ecológica para as regiões onde é encontrado, o que tem despertado e motivado o interesse para sua exploração comercial (REIS; KULLANDER; FERRARIS JR, 2003; JUNK; SOARES; BAYLEY, 2007; CASTELLO, 2008a,b; CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011).



**Figura 1.** Pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822).

O pirarucu é um piscívoro que habita ambientes lacustres das bacias Araguaia-Tocantins, Amazônica e do Orinoco, com registros de ocorrência no Brasil, Peru, Colômbia, Equador e Guiana (IMBIRIBA, 2001; CASTELLO, 2008b; CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011). Além de possuir uma língua óssea, essa espécie possui como outra particularidade a presença de dois aparelhos respiratórios: as brânquias, convencional em peixes, para a respiração aquática, e uma bexiga natatória modificada, para respiração aérea; especializada para funcionar como pulmão, que representa um processo vital, onde o ar atmosférico é utilizado para a realização das trocas gasosas (IMBIRIBA, 2001; BRAUNER et al., 2004; ARANTES et al., 2010).

A exploração comercial do pirarucu teve início no século XVIII, quando o peixe já era comercializado na forma de mantas salgadas-secas e considerado um substituto alternativo para o bacalhau *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758) salgado-seco. A partir de 1970, devido à intensa exploração comercial, a população dessa espécie entrou em declínio. Na década de 1990, medidas legais de proteção ao pirarucu na Bacia Amazônica foram implementadas, na tentativa de recuperar os estoques locais.

Em 2004, com a Instrução Normativa (IN) nº 05 (BRASIL, 2004a) o pirarucu passou a ser considerado uma espécie ameaçada de extinção e sobre-exploração. Neste mesmo ano a IN nº 24 (BRASIL, 2004b) passou a regulamentar o período de defeso do pirarucu na bacia hidrográfica dos rios Araguaia-Tocantins (1º de outubro a 31 de março), e a IN nº 34 (BRASIL, 2004c) passou a regulamentar a proibição anual do exercício da pesca, nos seguintes estados e períodos: Amazonas, Pará, Acre e Amapá (1º de dezembro a 31 de maio); Rondônia (1º de novembro a 30 de abril); e Roraima (1º março a 31 de agosto). Esta IN estabelece como parâmetro de captura: 1,5 m para o peixe fresco e inteiro, 1,2 m para a manta fresca e 1,1 m para a manta seca.

O pirarucu está entre as espécies mais cultivadas e comercializadas na Amazônia, mesmo com a redução das populações naturais, devido à pesca extrativista e predatória (CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011; MPA, 2013). Para manter esse recurso em condições de ser explorado racionalmente é importante a realização de estudos de manejo, da biologia e de conservação da espécie, bem como de melhor aproveitamento tecnológico do peixe. Uma das medidas para a conservação e sustentabilidade da espécie está no desenvolvimento da piscicultura, nos seus diferentes métodos (extensiva, semi-intensiva ou intensiva) (IMBIRIBA, 2001; CAVERO et al., 2003; BRANDÃO; GOMES; CHAGAS, 2006).

Além do fator proteção da espécie, a criação do pirarucu tem se mostrado promissora, pois estudos indicam o grande potencial para a criação do peixe em cativeiro, devido à elevada qualidade de seu músculo, o alto valor agregado e por apresentar diversas características propícias para esse tipo de cultivo, tais como: alta taxa de crescimento (até 10 kg no primeiro ano), rusticidade ao manuseio, elevado aproveitamento da carcaça (51-57%), adaptabilidade à alimentação artificial e a estocagem em ambientes com baixas concentrações de oxigênio e altas concentrações de amônia dissolvida na água (IMBIRIBA, 2001; CAVERO et al., 2003; BRANDÃO; GOMES; CHAGAS, 2006).

Por outro lado, o pirarucu possui aspectos comportamentais reprodutivos complexos, cujos principais entraves ao cultivo em cativeiro estão relacionados às disfunções reprodutivas

e a larvicultura. O pirarucu tem hábitos reprodutivos peculiares, que envolvem a formação de casais monogâmicos, a construção de ninhos em locais com pouca movimentação de água, cuidado parental e a não realização de migrações reprodutivas (VENTURIERI; BERNADINO, 1999; IMBIRIBA, 2001; NÚÑEZ et al., 2011). A produção de alevinos é dificultada pela ausência de domínio da biologia reprodutiva da espécie, além da alta mortalidade das larvas (CAVERO et al., 2004).

O conhecimento da composição química do pescado *in natura*, além do seu aspecto nutricional, é importante no que se refere a aplicação de processos tecnológicos. Embora informações sobre a composição nutricional de algumas espécies, como o pirarucu, seja escassa na literatura científica, alguns autores (FOGAÇA et al., 2011; MACIEL et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014; MARTINS; MARTINS; PENA, 2015) avaliaram a composição desta espécie, onde a umidade variou de 76-80%, proteínas de 17-21%, lipídios de 0,6-3% e cinzas de 0,7-2%, caracterizando o músculo do pirarucu como proteico e magro.

Além do produto salgado-seco, que é a forma tradicional de comercialização do pirarucu, o filé de pirarucu fresco e congelado e o filé defumado (a frio ou a quente) têm despertado interesse de consumidores nacionais e internacionais. O músculo do pirarucu, de coloração naturalmente rósea e desprovido de espinhas, é valorizado tanto na região amazônica, quanto no mercado externo.

## **2 ASPECTOS DE QUALIDADE DO PESCADO**

### **2.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)**

A determinação do pH em músculo de pescado fornece uma informação importante sobre o estado de conservação do produto. O processo de degradação, seja ele de origem hidrolítica, oxidativa ou fermentativa, quase sempre altera a concentração de íons hidrogênio livres, devido à formação de compostos como amônia e aminas (SILVA; MATTÉ; MATTÉ, 2008). Valores de pH próximos a 7 são indicativos de decomposição e quando passam de neutros a alcalinos o produto torna-se impróprio para o consumo (ASHIE; SMITH; SIMPSON, 1996; GRAM; HUSS, 1996).

Em geral, logo após a captura, ocorre uma redução do pH do músculo do pescado. Com a morte do animal, o processo de respiração cessa, instalando-se o processo de degradação do glicogênio, por via glicolítica ou amilolítica, com a produção de ácido láctico, em condições de anaerobiose, que é a principal causa da queda do pH. Essa acidificação observada é também influenciada pela liberação de fosfatos inorgânicos e amoníaco, como consequência da degradação enzimática do ATP. Com o aumento do teor de ácido láctico, o

pH do tecido muscular dos peixes de carne vermelha atinge um valor de 5,6, enquanto nos peixes de carne branca esse valor chega a 6 (OGAWA; MAIA, 1999).

## 2.2 OXIDAÇÃO LIPÍDICA

Em pescados, a quantidade de gordura é muito variável, mas em geral, pescados fluviais e lacustres apresentam maior quantidade do que os marinhos. Os principais compostos participantes da oxidação lipídica são os ácidos graxos insaturados e o oxigênio, embora este processo possa ocorrer pela ação de enzimas ou ser induzido pela luz, uso de temperatura elevada, desidratação e presença de agentes pró-oxidantes. A via mais frequente de interação entre os ácidos graxos insaturados e o oxigênio é uma sequência de reações em cadeia de radicais livres, denominada autooxidação, que é caracterizada por três etapas: iniciação, propagação e terminação (AKOH; MIN, 2008).

Os compostos de baixo peso molecular formados durante o processo de oxidação são responsáveis pelos odores e sabores de ranço, enquanto que os de maior peso molecular são os responsáveis pelas alterações de viscosidade e cor dos produtos oxidados. A oxidação de lipídios é um dos mecanismos primários de deterioração da qualidade de alimentos, e pode limitar a estabilidade e a aceitação dos mesmos (GRAY, GOMMA, BURCKLEY, 1996; AKOH; MIN, 2008).

No pescado salgado, a presença do sal acelera o processo de oxidação de lipídios, a qual ocorre tanto durante a salga, quanto no período de estocagem. Com a decomposição dos lipídios são formados ácidos graxos de cadeia curta, compostos carbonílicos, entre outros, os quais ocasionam odor desagradável e sabor adstringente ao pescado (OGAWA; MAIA, 1999). Maruf et al. (1990) avaliaram a qualidade nutricional de cavala indiana salgada-seca e verificaram que a oxidação de lipídios e o escurecimento associado em peixe salgado-seco alteram a cor e o sabor do produto e podem diminuir o valor nutricional da proteína.

Um dos índices mais utilizados para verificar a qualidade do pescado, quanto a oxidação lipídica, é o teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), no qual é quantificado o malonaldeído (MDA), um dos principais produtos da decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poli-insaturados, formados durante o processo oxidativo. Osawa, Felício e Gonçalves (2005) revisaram alguns métodos para determinação do TBARS, e avaliaram a influência deste parâmetro sobre as características sensoriais de pescados congelados. Os autores consideraram como não rancificadas as amostras com TBARS inferior 0,6 mg/kg, de qualidade aceitável as unidades com índice entre 0,7 a 1,4 mg/kg, e ligeiramente rancificadas, os exemplares com TBARS superior 1,5 mg/kg. Contudo, os

valores de TBARS variam bastante, pois dependem do perfil de ácidos graxos e das limitações dos testes.

### 2.3 BASES VOLÁTEIS TOTAIS

A concentração de bases voláteis totais, também chamadas de bases nitrogenadas totais, é um dos parâmetros mais utilizados para avaliar a decomposição do pescado, devido a simplicidade analítica e a concordância com o estado de frescor (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994). O conteúdo de bases voláteis totais (N-BVT) pode ser indicativo do grau de conservação do pescado, além de ser usado no controle de qualidade de produtos processados, como um critério de deterioração (HUSS, 1995). Os compostos nitrogenados de maior ocorrência, que representam as bases voláteis totais, são: o amoníaco, a trimetilamina (TMA), a dimetilamina e a metilamina.

As enzimas endógenas são as principais responsáveis pela perda do frescor do pescado. Nos primeiros momentos *post mortem*, a atividade dessas enzimas é favorecida pelo baixo conteúdo de glicogênio no tecido muscular e conduzem o pH para aproximadamente 6,0. Após este período as enzimas produzidas por bactérias, passam a ser as principais responsáveis pela degradação. Com o início do processo degradativo, a base volátil mais representativa é a amônia, originária dos produtos da desaminação dos derivados da ATP e, posteriormente, tem-se o aumento da amônia derivada da degradação de outros compostos nitrogenados e da TMA, formada a partir do óxido de trimetilamina (OTMA) (GRAM; HUSS, 1996; KYRANA; LOUGOVOIS, 2002).

A principal componente deste grupo é a amônia, particularmente no que se refere aos peixes de água doce. O aumento de amônia pode originar da ação das aminoidrolases sobre os nucleotídeos, do desenvolvimento microbiano e da hidrólise da ureia. A amônia derivada de nucleotídeos é produzida logo após a captura e em alguns casos, no esforço anterior à captura, e não deve ser considerada um reflexo da deterioração, representando apenas uma decomposição autolítica que não pode ser evitada (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994).

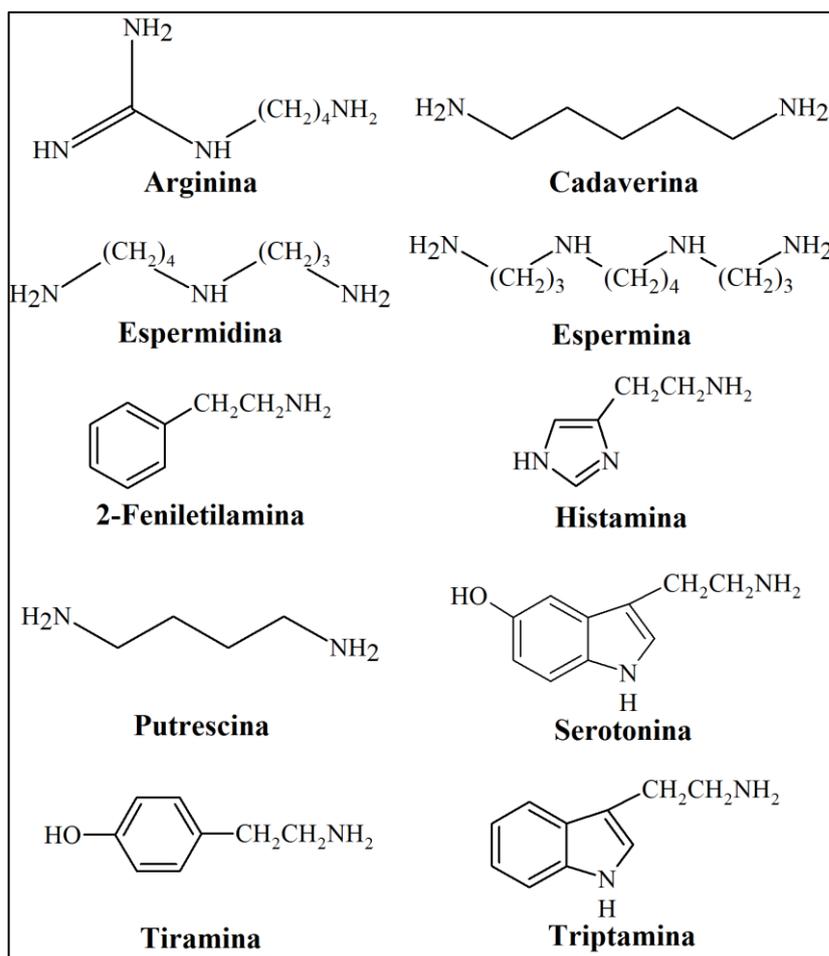
### 2.4 AMINAS BIOATIVAS

As aminas bioativas podem ser definidas como compostos orgânicos nitrogenados, nos quais um, dois ou três átomos de hidrogênio da amônia são substituídos por grupos alquila ou arila. A estrutura química das aminas bioativas pode ser alifática, alicíclica ou heterocíclica, com baixo peso molecular, que ocorrem principalmente em produtos que são fontes de proteínas (LIMA; GLORIA, 1999; HU et al., 2012). Em geral, os aminoácidos definem a

denominação das aminas bioativas, ou seja, os aminoácidos como a histidina, a tirosina e o triptofano dão origem às aminas histamina, tiramina, triptamina, respectivamente. Porém, nomes de aminas, como a cadaverina e a putrescina, estão associados aos processos de decomposição ou putrefação, enquanto a espermina e a espermidina recebem estas denominações por terem sido isoladas pela primeira vez no fluido seminal (GLÓRIA, 2005; GLÓRIA; VIEIRA, 2007).

Os pré-requisitos para formação de aminas nos alimentos são: a disponibilidade de aminoácidos livres, que podem ocorrer naturalmente em alimentos ou serem liberados de proteínas, devido a atividade proteolítica ou por degradação térmica; as elevadas temperaturas de processamento; ou a presença de micro-organismos descarboxilases-positivos, que podem constituir parte da população microbiana normal ou serem provenientes da contaminação, antes, durante ou após o processamento (HALÁSZ, 1994; GLÓRIA, 2005; GLÓRIA; VIEIRA, 2007).

As aminas podem ser classificadas de acordo com o número de grupos amina, a estrutura química, a via biosintética e funções fisiológicas. De acordo com o número de grupos amina, elas podem ser monoaminas (tiramina, feniletilamina), diaminas (histamina, serotonina, triptamina, putrescina, cadaverina) ou poliaminas (espermina, espermidina, agmatina). Com base na estrutura química, podem ser aminas alifáticas (putrescina, cadaverina, espermina, espermidina, agmatina), aromáticas (tiramina, feniletilamina) ou heterocíclicas (histamina, triptamina, serotonina). Quanto a via biosintética, as aminas são classificadas em naturais, que são formadas a partir de uma molécula simples, conforme são requeridas (agmatina, putrescina, espermidina, espermina e histamina) e biogênicas, que são formadas por reações de descarboxilação, hidrólise de compostos nitrogenados ou decomposição térmica (histamina, serotonina, tiramina, feniletilamina, triptamina, putrescina, cadaverina e agmatina) (SHALABY, 1996; GLORIA, 2005). Com base nas funções fisiológicas, as aminas são classificadas como poliaminas (que modulam o crescimento ao serem atuantes na manutenção do metabolismo celular) e aminas biogênicas (que têm funções vasoativas e neuroativas) (SHALABY, 1996; GLORIA, 2005; MOHAMED et al., 2009; GIROTTO et al., 2010) (Figura 2).



**Figura 2.** Estrutura química das aminas.

Quando ingeridas em concentrações elevadas, as aminas bioativas podem causar efeitos toxicológicos e carcinogênicos ao consumidor (LADERO et al., 2010). Micro-organismos com atividade descarboxilante podem ser parte constituinte da população microbiana natural dos peixes, ou serem micro-organismos adicionados (culturas iniciadoras para obtenção de produtos fermentados) ou ainda contaminantes; introduzidos devido a condições higiênico-sanitárias inadequadas (KALÁČ et al., 2002).

A via mais importante de formação das aminas biogênicas é a descarboxilação bacteriana de aminoácidos livres, mas existem outras vias, como a transaminação de aldeídos; a decomposição de fosfolipídios; a hidrólise de compostos nitrogenados; e a decomposição térmica de aminoácidos (HALÁSZ et al., 1994; LIMA; GLORIA, 1999). Para a síntese de aminas biogênicas, condições do ambiente, como: a temperatura, o pH, a tensão de oxigênio, a presença de vitaminas, as coenzimas e os carboidratos fermentáveis, devem ser favoráveis à ação microbiana. Em pH de 2,5 a 6,5 a produção de aminas é estimulada pelo mecanismo de proteção da bactéria, que são prejudicadas por pH muito baixos e sintetizam enzimas descarboxilases. As enzimas, por sua vez, são mais ativas em temperaturas menores que

30°C, sendo inativadas acima de 40°C, e têm atividade dependente do micro-organismo entre 0 e 10°C (GLÓRIA, 2005).

A produção de aminas biogênicas está ligada à estratégia de sobrevivência do micro-organismo em ambientes ácidos, ou como um suplemento alternativo de energia metabólica, quando as células estão expostas a condições desfavoráveis de substrato (COTTER; HILL, 2003). Fatores como a temperatura, o pH do meio, a concentração de oxigênio, a presença de vitaminas e de coenzimas, a concentração de aminoácidos livres e de carboidratos fermentescíveis podem afetar a produção de aminas pelos micro-organismos (GLÓRIA, 2005).

A quantificação de aminas em peixes é considerada uma importante ferramenta para o controle de qualidade do produto, refletindo a má qualidade das matérias-primas utilizadas ou as condições higiênicas insuficientes durante o processo de produção e o armazenamento (DONHAUSER; WAGNER; GEIGER, 1993; LIMA; GLÓRIA, 1999; TSAI et al., 2005).

## 2.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS

As proteínas musculares do pescado apresentam a vantagem de possuírem elevado valor biológico, decorrente da alta sensibilidade à hidrólise e da composição balanceada de aminoácidos, particularmente aqueles que costumam ser os limitantes em proteínas, como a metionina e a cisteína (NEVES; MIRA; MARQUEZ, 2004). As proteínas do pescado podem ser classificadas em proteínas miofibrilares (proteínas contráteis), proteínas sarcoplasmáticas (proteínas metabólicas) e estroma (proteínas do tecido conectivo) (BAGHAW, 1993; GONÇALVES, 2011).

O tecido muscular do pescado contém, em geral, maior porção de proteínas miofibrilares. Durante a transformação de pescado em produtos, processos como congelamento e estocagem podem favorecer a desnaturação de proteínas, a oxidação e a hidrólise de lipídios, as interações lipídio-proteína e as interações proteína-carboidrato. Como consequência disso podem ocorrer alterações na textura, sabor, palatabilidade, redução da biodisponibilidade de aminoácidos essenciais e destruição de vitaminas (SGARBIERI, 1996; SANTOS, 2007).

As proteínas miofibrilares do pescado são mais sensíveis à desnaturação que as dos mamíferos. As alterações bioquímicas que ocorrem no músculo durante o rigor mortis e aquelas decorrentes do processamento afetam significativamente as propriedades funcionais das proteínas musculares. O processo de desnaturação envolve alterações na estrutura ordenada da proteína nativa, sem a ruptura de ligações covalentes, o que pode envolver, numa

primeira etapa, perda da estrutura terciária da proteína, sem diminuição de solubilidade. Esta etapa é seguida, geralmente, pela agregação de proteínas. A diminuição da solubilidade é frequentemente usada como índice de desnaturação proteica. Esta sequência e as velocidades relativas das reações variam de uma proteína para outra (KINSELLA, 1976; GONÇALVES, 2011).

As propriedades funcionais das proteínas são definidas como propriedades físico-químicas, que afetam o comportamento das mesmas durante o processamento, o armazenamento e a manipulação do alimento, e contribuem para a qualidade e atributos sensoriais do produto. As propriedades funcionais do músculo do pescado estão diretamente relacionadas com a integridade das proteínas. Sendo assim, a desnaturação, a degradação ou a aplicação de forças externas, como, trituração, centrifugação, compressão e aquecimento podem contribuir para a perda dessas propriedades (BENJAKUL; VISESSANGUAN; TUEKSUBAN, 2003; ROMAN; SGARBIERI, 2005).

As propriedades funcionais das proteínas estão estritamente relacionadas com as várias características promovidas pelas proteínas hidratadas e podem ser classificadas em três grandes grupos: propriedades de hidratação (dependentes das interações proteína-água), propriedades dependentes da interação proteína-proteína e propriedades de superfície (interfacial). Algumas das principais propriedades funcionais das proteínas, em sistemas musculares, que influenciam diretamente sobre a qualidade do produto final, são: a solubilidade, a capacidade de absorção e a retenção de água e de óleo, o intumescimento, a viscosidade, a elasticidade, entre outras (KINSELLA, 1976; FOX; CONDON, 1982; RAMACHANDRAN; MOHAN; SANKAR, 2007).

O sal pode promover a desnaturação das proteínas miofibrilares, alterando a textura do tecido que perde a capacidade de retenção de água, resultando em perda de peso. A capacidade de retenção de água é afetada por fatores como: tamanho do poro e capilaridade, cargas da matriz proteica, força de Van der Waals, força iônica do meio, íons, pH, temperatura, equilíbrio entre proteínas e água, e a presença de moléculas de baixo peso molecular (BOUDHRIOUA et al., 2009; CARVALHO, 2012; THORARINSDOTTIR et al., 2011a). Além disso, esse processo pode provocar ligações proteína-proteína mais fortes, contração do músculo e desidratação (JITTINANDANA et al., 2002; THORARINSDOTTIR et al., 2011b; FAN et al., 2014).

Segundo Birkeland et al. (2005), a estrutura das proteínas é lábil e por essa razão o tratamento das mesmas com soluções salinas e temperaturas elevadas pode modificar as suas estruturas, promovendo a diminuição da solubilidade, devido a liberação de grupos

hidrofóbicos, a modificação da capacidade de fixação da água, a perda da atividade biológica, o aumento da susceptibilidade ao ataque por protease, o aumento da viscosidade intrínseca, a incapacidade de cristalizar, entre outros fatores.

### 3 PROCESSO TRADICIONAL DE SALGA E SECAGEM

O Brasil é um dos principais consumidores mundiais de peixe salgado-seco (LIMA; SANTANA, 2011). No entanto, mesmo sendo um processo de fácil emprego, a salga praticada na região Amazônica é empírica, não havendo técnica ou princípios higiênicos-sanitários bem definidos, o que dificulta a produção de produtos de boa qualidade (NUNES et al., 2012a,b).

Segundo Dias (1983), inicialmente, no processo de salga artesanal do pirarucu é realizado um corte longitudinal da carne, formando grandes “mantas”, com dois a três centímetros de espessura, as quais são estendidas e recebem sal de forma desuniforme, gerando produtos de baixa qualidade tecnológica. Já Oliveira (2007) relatou que o pirarucu é frequentemente salgado pelo método da salga-seca e, posteriormente, submetido a secagem natural, sem nenhum critério tecnológico, o que resulta em mantas salgadas e secas comercializadas normalmente em feiras livres locais. Lourenço et al. (2005) descreveram que a salga do pirarucu é realizada habitualmente logo após a captura, onde os peixes são descamados, eviscerados, manteados e salgados ainda na embarcação, pelo método de salga mista. Também é comum a salga tardia de peixes que não foram comercializados frescos e a ressalga ao longo da cadeia de processamento e comercialização, sem nenhum critério higiênico-sanitário ou tecnológico.

Dentre os muitos métodos de conservação de alimentos, a salga está fundamentada na penetração do sal para o interior dos tecidos alimentícios, o que promove a redução da  $a_w$  e, consequente, o aumento da estabilidade química, física e bioquímica associados, além de contribuir para o desenvolvimento de aroma e sabor do produto submetido ao processo (ALVES et. al., 2010; YANAR et al., 2006). A absorção do sal pelo peixe depende de diversos fatores, incluindo a espécie, o tipo do músculo, a espessura do filé, o peso, a composição, o estado fisiológico, a proporção entre peixe e sal, a temperatura e o método de salga, entre outros (GALLART-JORNET et al., 2007).

Os principais métodos de salga aplicados são a salga seca, a salga úmida e a salga mista. Na salga seca, os peixes são empilhados em camadas intercaladas de sal e peixe, até que toda a superfície do peixe esteja em contato com sal (30% de sal em relação ao peso da matéria-prima), e a salmoura formada é drenada. A salga mista é semelhante a salga seca,

todavia permite-se que o pescado seja mantido imerso na salmoura formada. Finalmente, na salga úmida o pescado fica submerso em salmoura saturada, previamente preparada (BASTOS, 1988; OGAWA; MAIA, 1999; LINS, 2011; CHAIJAN, 2011).

A granulometria do sal influencia diretamente sobre o processo de salga-seca e a qualidade do produto obtido. O sal fino, por conter pequenos cristais, possui uma penetração rápida, o que ocasiona coagulação das proteínas nos tecidos superficiais e, conseqüentemente, impede que ele penetre nas camadas mais internas do músculo do peixe. Já o sal grosso atua lentamente, sem ocasionar a coagulação das proteínas, no entanto, o longo período de salga pode desencadear alterações indesejáveis, como a oxidação lipídica e a ação de micro-organismos deteriorantes. O ideal é utilizar as duas diferentes granulometrias, produzindo o chamado sal traçado, que é a mistura do sal grosso com o sal fino (BASTOS, 1988; NUNES; PEDRO, 2011).

Diferentes métodos podem ser empregados em conjunto com a salga e, como o peixe fresco apresenta elevada umidade,  $a_w$  e conteúdo de nutrientes, esses mecanismos de conservação complementares devem ser eficientes como barreiras à deterioração, por questões oxidativas, microbiológicas e enzimáticas (YANAR et al., 2006; CHAIJAN, 2011; FAN et al., 2014, HASSOUN; KAROUI, 2016). Adicionalmente, pode-se realizar a prensagem e/ou a secagem natural ou artificial, para prevenir definitivamente a deterioração do pescado salgado, totalizando um período de processamento de 15 a 18 dias.

No processo de produção do pirarucu salgado-seco é utilizada a secagem natural, que consiste em expor as mantas salgadas à ação combinada do sol e do vento durante o dia. Esse método depende das condições climáticas, que são incertas e incontroláveis, além de permitir a exposição a insetos e a contaminação microbiana, o que compromete a qualidade do produto final e diminui sua vida de prateleira (BELLAGHA et al., 2007; NUNES; PEDRO, 2011)

A qualidade das operações de salga e secagem do pescado depende da qualidade da matéria-prima, do sal e da água utilizados, onde se deve considerar o índice de frescor dos peixes, o conteúdo de gordura, a espessura do músculo; além da pureza, concentração, granulometria e qualidade do sal e da água utilizada na salmoura (OGAWA; MAIA, 1999; FAN et al., 2014).

A IN nº1 (BRASIL, 2019), do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, estabelece o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de peixe salgado e peixe salgado seco. O peixe salgado-seco é definido como o peixe curado, obtido do peixe fresco, congelado, resfriado ou descongelado, de espécies de peixes oriundas da pesca ou da aquicultura, elaborado com peixe limpo, eviscerado, com ou sem cabeça, nadadeiras ou

escamas, com ou sem pele e tratado pelo sal (NaCl), por meio de salga úmida, seca ou mista, e posterior secagem por evaporação natural ou artificial, com umidade máxima de 52,9%, com ou sem aditivos.

#### 4 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO PESCADO SALGADO-SECO

Os micro-organismos indicadores são grupos ou espécies de micro-organismos que, quando presentes em um alimento, podem fornecer informações sobre a ocorrência de contaminação de origem fecal, a provável presença de patógenos ou a deterioração potencial de um alimento, além de indicarem condições inadequadas durante o processamento, produção, armazenamento e distribuição (FRANCO; LANDGRAF, 2005).

Segundo Vieira (2011), os micro-organismos associados a degradação do pescado podem ser agrupados como: (a) Micro-organismos deteriorantes, que são aqueles que apresentam metabolismos que provocam a deterioração do pescado, tem temperatura ótima de crescimento próximo á ambiente e alguns podem se desenvolver à temperatura de refrigeração (Ex: *Pseudomonas*, *Halococcus* e *Halobacterium salinarium*); (b) Micro-organismos indicadores de higiene, que são aqueles usados para avaliar as condições higiênico sanitárias as quais o pescado foi submetido (Ex: coliformes totais, bactérias mesófilas, bolores e leveduras); (c) Micro-organismos indicadores de contaminação fecal, que são representados pelos coliformes termotolerantes, com destaque para a *Escherichia coli*, a *Salmonella* e o *Enterococcus faecalis*; (d) Micro-organismos indicadores de manipulação inadequada, que indicam falhas nos pontos críticos de controle (Ex: *Staphylococcus aureus*; *Halococcus* e *Halobacterium salinarium*); (e) Micro-organismos capazes de causar doenças veiculadas ao pescado, que são representados por *Vibrio parahaemolyticus*; *Vibrio cholerae*, *Vibrio vulnificus*, *Listeria*, *Salmonella* e *Escherichia coli*.

A redução do conteúdo de água e da  $a_w$ , provocadas pelos processos de salga e secagem, inibe o desenvolvimento da maioria das bactérias patogênicas e deterioradoras, e dos bolores e leveduras; inativa muitas enzimas e diminui a velocidade de várias reações químicas; prolongando a vida útil do pescado. Embora o sal previna o desenvolvimento microbiano, inúmeros micro-organismos podem não ser inibidos na presença do mesmo, como é o caso dos micro-organismos xerofílicos, halofílicos e halotolerantes, que podem promover a deterioração, a perda de qualidade e oferecer risco à saúde (RODRIGUES et al., 2003; PARTIR et al., 2006).

Os micro-organismos que vivem em condições extremas de água, pH, temperatura, pressão, salinidade e em concentrações elevadas de metais pesados são conhecidos como

extremófilos (PODAR; REYSENBACH, 2006). Dentre esses micro-organismos, destaca-se os xerofílicos, que podem se desenvolver e se reproduzir em ambientes com pouca disponibilidade de água ( $a_w < 0,80$ ) e os halofílicos que requerem altas concentrações de sal para crescer e podem ser classificados como: ligeiramente halofílicos (2-5% de NaCl), moderadamente halofílicos (5-20% de NaCl), extremamente halofílicos (20-30%). Os halotolerantes são capazes de crescer na ausência ou na presença de sal (CARVALHO, 2010).

O peixe salgado e o peixe salgado-seco comercializados no Brasil devem atender aos critérios microbiológicos definidos na IN n°1 (BRASIL, 2019), que estabelece parâmetros para *Salmonella* spp. (ausência em 25g), *Staphylococcus* coagulase positiva (mínimo  $10^3$  e máximo  $10^4$  unidades formadoras de colônia – UFC) e *Escherichia coli* (mínimo 4 e máximo 40 número mais provável – NMP). A *Salmonella* é uma bactéria Gram negativa, anaeróbica facultativa, que não tolera concentrações de NaCl superiores a 9% e apresenta crescimento ótimo entre 35 e 37°C. Os *Staphylococcus aureus* são bactérias cocos Gram positivas, anaeróbias facultativas, que crescem em concentrações de 10 a 20% de NaCl, mas não produzem toxinas em concentrações superiores a 5% de NaCl. Eles se desenvolvem na faixa de temperatura de 7–48°C, com temperatura ótima entre 40–45°C. A *Escherichia coli*, por sua vez, são bacilos Gram negativos, capazes de fermentar a lactose, com a produção de gás, quando incubadas a temperaturas de 44–45°C, e é utilizada como indicador de contaminação de origem fecal, por ser a principal representante do grupo coliformes termotolerantes.

Além dos micro-organismos contemplados pela legislação brasileira, que basicamente estão voltados à saúde e à segurança do consumidor, podem se desenvolver no pescado salgado-seco outros micro-organismos que comprometem não só a qualidade microbiológica do produto comercializado, mas também a qualidade físico-química e sensorial, diminuindo assim a estabilidade e, conseqüentemente, a vida útil do produto. Esses micro-organismos podem ser bactérias ou fungos, que normalmente são incorporados ao pescado ao longo do processamento e da distribuição, como: *Halococcus*, *Halobacterium salinarium*, *Sarcina littoralis*, *Pseudomonas salinaria*, *Sporendonema epizoum*, entre outros.

*Halococcus* e *Halobacterium salinarium* são bastonetes pleomórficos ou cocos Gram negativos do tipo halófilas extremas (que se desenvolvem em meio contendo 16–32% de NaCl) e aeróbias. As bactérias do gênero *Halococcus* são as responsáveis pela produção da batorubeína e geralmente encontram-se no sal utilizado, o que pode ser evitado pelo processo de esterilização (ex: 80°C por 60–90 min; 90°C por 35–45 min; 100°C por 12–15 min; 110°C por 5–10 min; 120°C por 3–8 min) (VIEIRA, 2003). A *Sarcina littoralis* e a *Pseudomonas salinaria* são cocos, Gram positivos, anaeróbias, proteolíticas, que se desenvolvem em um

meio que contenha 5 a 17% de NaCl e temperatura entre 15 e 55°C. São responsáveis pelo aparecimento do vermelhão ou rouge no pescado, sendo a *Pseudomona salinaria* a responsável pelo odor desagradável. Já o gênero *Micrococcus* sp são bactérias moderadamente halofílicas, que crescem em meios que contenham um percentual entre 5 e 15% de NaCl.

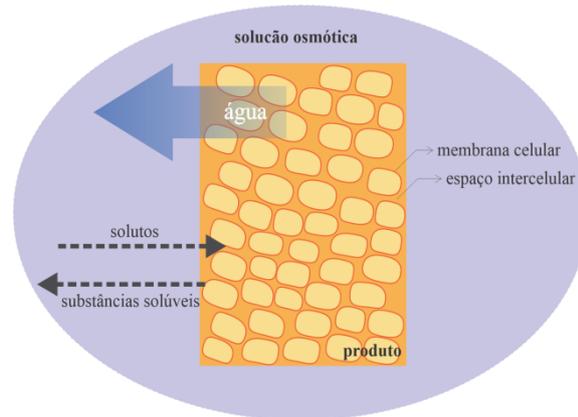
O *Sporendonema epizoum* é um fungo caracterizado pela produção de manchas de cor castanho-alaranjado (empoado) ou de pontos negros, que se desenvolve em meios contendo 5 a 15% de NaCl e a sua presença é um indicador de que o pescado foi armazenado em locais úmidos e/ou temperaturas elevadas. Já os fungos da espécie *Wallemia sebi* se desenvolvem melhor com elevadas pressões osmóticas e baixos valores de  $a_w$ , entre 0,69 e 0,75 (VIEIRA, 2003).

## 5 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

### 5.1 FUNDAMENTOS DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

O processo de desidratação osmótica (DO) tem sido estudado há alguns anos, como um método de remoção parcial da água de tecidos de origem vegetal (frutas e hortaliças) e mais recentemente para tecidos de origem animal (carnes e pescado). O processo consiste na imersão de um produto sólido, em pedaços ou inteiro, em uma solução aquosa concentrada (hipertônica), resultando em pelo menos três tipos de fluxos, conforme apresentado na Figura 3.

A diferença de pressão osmótica promove a saída da água dos tecidos para a solução osmótica e simultaneamente, em contracorrente, ocorre o processo de difusão de solutos da solução osmótica para o produto (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; RASTOGI et al., 2002; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). Como a membrana celular não é perfeitamente seletiva durante o processo de DO, alguns compostos hidrossolúveis presentes nas células (açúcares, ácidos orgânicos, minerais e vitaminas) podem ser lixiviados para a solução osmótica. Embora, este fluxo seja desprezível quantitativamente, quando comparado com os dois fluxos principais, ele pode exercer influência sobre a qualidade sensorial e nutricional do produto desidratado osmoticamente (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; RASTOGI et al., 2002; TONON; BARONI; HUBINGER, 2006; MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011; MUJUMDAR, 2014).



**Figura 3.** Representação esquemática do processo de desidratação osmótica.

A transferência de massa no processo de DO depende das propriedades do tecido, especialmente do espaço intercelular disponível. Quando o material é imerso em uma solução osmótica, o processo de desidratação é fortemente dependente da natureza do produto (espécie, forma, tamanho, características da microestrutura biológica inicial – ex. porosidade) e das variáveis de processo (composição/concentração do agente osmótico, temperatura, pressão, tempo de imersão), que exercem influência direta sobre a transferência de massa e a qualidade do produto (ISLAM; FLINK, 1982; TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; TORTOE, 2010).

A fluidodinâmica da interface sólido-fluido governa a resistência externa do processo de DO, enquanto a resistência interna, muito mais complexa, é influenciada pela estrutura do tecido celular, pela permeabilidade das membranas celulares, pela deformação provocada nos tecidos e pela interação entre os diferentes fluxos mássicos (LE MAGUER; SHI; FERNANDES, 2003; MAURO; TAVARES; MENEGALLI, 2003).

Alimentos de origem animal, como peixes, frequentemente são processados em soluções aquosas constituídas pelo cloreto de sódio, como o principal agente desidratante. No entanto, o processo de DO ainda é pouco explorado em pescados, diferentemente do que ocorre com frutas e vegetais. Embora existam alguns trabalhos desenvolvidos com DO aplicada a pescados, ainda não existe um domínio completo sobre os mecanismos que governam o processo (COLLIGNAN; RAOULT-WACK, 1994; COLLIGNAN; et al., 2001; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002; CORZO; BRACHO; MARVAL, 2006; CORZO; BRACHO, 2007a,b; CORZO et al., 2007; MACIEL et al., 2012; MACIEL; RODRIGUES; PENA, 2015; MARTINS; PENA, 2017).

Apesar do processo de DO proporcionar uma considerável redução na umidade, a  $a_w$  pode ainda permanecer em níveis elevados. Desta forma, no geral, produtos desidratados osmoticamente necessitam ser submetidos a processos complementares, como a secagem,

visando uma maior redução da  $a_w$ , de modo a assegurar a estabilidade e, conseqüentemente, aumentar a vida útil do produto (ALZAMORA et al.; 1993; TORREGGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994).

A utilização de métodos combinados de DO e secagem resulta em produtos com propriedades nutricionais e sensoriais, iguais ou superiores aos obtidos quando apenas métodos convencionais de secagem são empregados. Além disso, esta combinação pode promover a redução do tempo de secagem, o consumo de energia e os custos com embalagem e distribuição, devido a diminuição do volume e do peso do produto; além de inibir a degradação enzimática e oxidativa e garantir a retenção de pigmentos e aromas voláteis (TORREGGIANI, 1993; LENART, 1996; COLLIGNAN et al., 2001; SERENO et al., 2001; RASTOGI et al., 2002; FERNANDES et al., 2006; KHIN; ZHOU; PERERA, 2006). Vantagens adicionais podem ser obtidas, como a estabilidade à temperatura ambiente e a possibilidade de ter um produto que possa ser consumido com ou sem reidratação (DEL VALLE; CUADROS; AGUILERA, 1998).

Por sua vez, a variação das condições operacionais nas duas etapas do processo combinado DO-secagem pode promover modificações na estrutura do tecido e afetar, não apenas as cinéticas de DO e secagem, mas também as características sensoriais e físicas do produto, cujos mecanismos ainda não estão totalmente elucidados. Assim, o conhecimento dos mecanismos de transferência de massa considerando a estrutura biológica celular é um dos fatores limitantes do avanço desta área de aplicação, principalmente em produtos de origem animal.

## 5.2 MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Tradicionalmente, o processo de DO é conduzido à pressão atmosférica, entretanto, alguns trabalhos têm utilizado o vácuo, como uma alternativa para o aperfeiçoamento dos processos osmóticos difusivos (FITO, 1994; MÚJICA-PAZ et al., 2003; CORZO; BRACHO; MARVAL, 2006; MACIEL; RODRIGUES; PENA, 2015). Nesse contexto, novos métodos de DO foram desenvolvidos, entre os quais se destacam a desidratação osmótica à vácuo (DOV), a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo (DOPV) e a desidratação osmótica com aplicação de pulsos periódicos de vácuo (DOPPV) (COLLIGNAN et al., 2001; MAROUZÉ et al., 2001).

A DOV é realizada mantendo o sistema produto-solução osmótica a uma pressão subatmosférica constante, durante todo o processo (FITO, 1994; SHI; FITO, 1993). Segundo Rastogi et al. (2002), a taxa de transferência de massa sob vácuo é mais elevada que em

condições de pressão atmosférica, já que há um aumento da área interfacial, que resulta no preenchimento dos poros com a solução osmótica.

A DOPV consiste na aplicação de vácuo no sistema produto-solução osmótica, por um curto período de tempo, no início do processo, o que promove a retirada de parte do ar presente no interior dos poros do alimento, com posterior restabelecimento da pressão atmosférica. Durante a aplicação do vácuo, ocorre a expansão das fibras musculares, associada à evacuação dos gases ocluídos no interior dos poros. Com o reestabelecimento da pressão atmosférica, a solução osmótica penetra no interior dos poros, por mecanismos hidrodinâmicos, em função dos gradientes macroscópicos de pressão e da capilaridade (FITO, 1994; MAROUZÉ et al., 2001).

A DOPPV é caracterizada por ciclos de aplicação de pressão subatmosférica e pressão atmosférica, de forma intermitente. Este processo pode ser usado quando os tempos de processamento são longos ou quando a difusão de soluto é lenta (alto peso molecular e/ou uma forte interação de proteína na matriz) (COLLIGNAN et al., 2001).

O controle dos fatores que influenciam a DO pode fazer com que o processo resulte em duas situações opostas: uma em que predomina a desidratação, quando a perda de água (PA) é maior que o ganho de sólidos (GS), e outra em que há predominância da impregnação, quando o GS é maior que a PA (RAOULT-WACK, 1994; TORTOE, 2010; PHISUT, 2012).

### 5.3 FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

#### 5.3.1 Natureza do produto

Fatores como a composição química (proteína, carboidratos, gordura e sal), a estrutura física (porosidade, arranjo de células, orientação das fibras) e os pré-tratamentos (alta pressão hidrostática, vácuo parcial, tratamento de ultrassom) podem afetar a estrutura da parede celular e, conseqüentemente, a permeabilidade da membrana celular (ESCOBAR et al., 2007; TORTOE, 2010).

A eficiência do processo de DO não está relacionada apenas com às variáveis de processo (composição/concentração do meio osmótico, relação solução/produto, agitação, temperatura, tempo de processo), mas também com a composição e com as características dos tecidos biológicos, em particular a porosidade do material, o que resulta em diferentes níveis de impregnação ou desidratação (LOMBARD et al., 2008).

No tecido animal, a transferência de massa é dependente das propriedades intrínsecas. Por exemplo, a taxa de penetração do sal é inversamente proporcional ao conteúdo de gordura do músculo, pois a gordura diminui significativamente a difusividade do sal, resultando em

uma redução nas taxas de PA e de GS (WANG; TANG; CORREIA, 2000; COLLIGNAN et al., 2001; GALLART-JORNET et al., 2007).

### **5.3.2 Composição e concentração da solução osmótica**

A composição e a concentração da solução osmótica determinam o potencial químico, que agirá como força motriz para a transferência de massa. Para a escolha do agente osmótico existem considerações a serem feitas, como: a solubilidade do soluto em água, a permeabilidade da membrana celular, a capacidade de favorecer a taxa de PA, a quantidade de água e de soluto desejado no produto osmo-desidratado, o custo e os efeitos sobre propriedades sensoriais e nutricionais, bem como a estabilidade do produto final (AZOUBEL; MURR, 2004; CHENLO et al., 2006; RÓZEK et al., 2009).

O tipo de agente osmótico afeta significativamente a cinética de PA e de GS, além de interferir na condição de equilíbrio. Os solutos mais utilizados como agentes osmóticos são: o açúcar (sacarose) e o sal (cloreto de sódio) (ALVES et al., 2005; PHISUT, 2012). No entanto, soluções binárias de cloreto de sódio (NaCl/água) são as mais usadas na DO de peixes, por apresentarem elevada capacidade de hidratação, o que favorece o aumento na força motriz de saída de água do produto (AZOUBEL; MURR, 2004; HEREDIA et al., 2009). Tonon, Baroni e Hubinger (2006) destacam o NaCl como um ótimo agente desidratante, especialmente quando a DO é empregada como etapa preliminar à secagem convectiva.

O uso de misturas de solutos ou de soluções osmóticas concentradas pode diminuir as perdas de solutos hidrossolúveis do produto, devido à formação de uma camada periférica concentrada do soluto, na superfície do produto; além de promover o aumento das taxas de PA, devido ao aumento na pressão osmótica da solução, o que reduz substancialmente o coeficiente de difusão do sal para o interior do material (COLLIGNAN et al., 2001; JOKIC et al., 2007; RODRIGUES; FERNANDES, 2007; BORIN et al., 2008). Por outro lado, soluções muito concentradas apresentam alta viscosidade, o que dificulta o preparo, a manipulação, o processo de agitação e o aumento da temperatura, e dependendo das condições de processo, podem favorecer um aumento do GS, o que interfere diretamente no perfil nutricional e sensorial do produto (CORZO; BRACHO, 2007b).

De acordo com Raoult-Wack (1994), em baixas concentrações da solução osmótica, o GS é superior à PA (efeito de impregnação); enquanto que em altas concentrações, o GS é menor que a PA (efeito desidratante). Gallart-Jornet et al. (2007) avaliaram os efeitos da adição de sal nos músculos de salmão e de bacalhau, e observaram que uma alta concentração

de sal provocou a desnaturação proteica, o que reduziu a capacidade de retenção de água (CRA) do produto e, conseqüentemente, aumentou a PA.

### **5.3.3 Temperatura do processo**

A temperatura é um fator altamente relevante no processo de DO, uma vez que influencia diretamente à cinética do processo osmótico. A taxa de transferência de massa aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, devido ao inchamento e plasticização das membranas celulares, ocasionando assim fluxos mais rápidos e intensos de PA e GS. A elevação da temperatura favorece a diminuição da viscosidade do meio osmótico, diminuindo assim a resistência externa ao transporte de massa (LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995; CHENLO et al., 2006; JOKIC et al., 2007; MONNERAT et al., 2010; TORTOE, 2010; PHISUT, 2012).

O uso de altas temperaturas promove também a liberação do ar ocluso nos tecidos, na estrutura porosa das matrizes alimentícias, resultando em maior efetividade na remoção da água e na impregnação de sólidos. No entanto, este efeito pode ocasionar a ruptura da parede celular, devido a ativação dos mecanismos de autólise, desnaturação ou agregação das proteínas miofibrilares (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

### **5.3.4 Pressão do processo**

Diversos autores têm observado que a pressão é um parâmetro importante a ser considerado durante o processo de DO, devido a indicação do aumento das taxas de transferências de massa durante o processo, em condições de pressão reduzida, quando comparado com processos realizados à pressão atmosférica (SHI; FITO, 1993; FITO, 1994; SHI; FITO; CHIRALT, 1995; DEUMIER et al., 2003; CORZO et al., 2007). De acordo com Fito (1994), os gradientes de pressão tornam mais efetiva a ação dos mecanismos hidrodinâmicos durante o processo de DO, cujo fenômeno da deformação-relaxação da matriz sólida intensifica a transferência de massa.

Segundo Mújica-Paz et al. (2003), a quantidade de líquido e de soluto impregnados na estrutura do alimento, após o restabelecimento da pressão atmosférica, depende principalmente da pressão de vácuo aplicada. No entanto, pouco se conhece a respeito dos mecanismos de transferência de massa e das mudanças estruturais (físicas, químicas e bioquímicas), que ocorrem quando o pulso de vácuo é aplicado na DO de produtos de origem

animal. Corzo et al. (2007) avaliaram a DOPV de filés de sardinha, e encontraram evidências de que a PA e o GS são favorecidos pelo uso de pulso de vácuo, no início do processo.

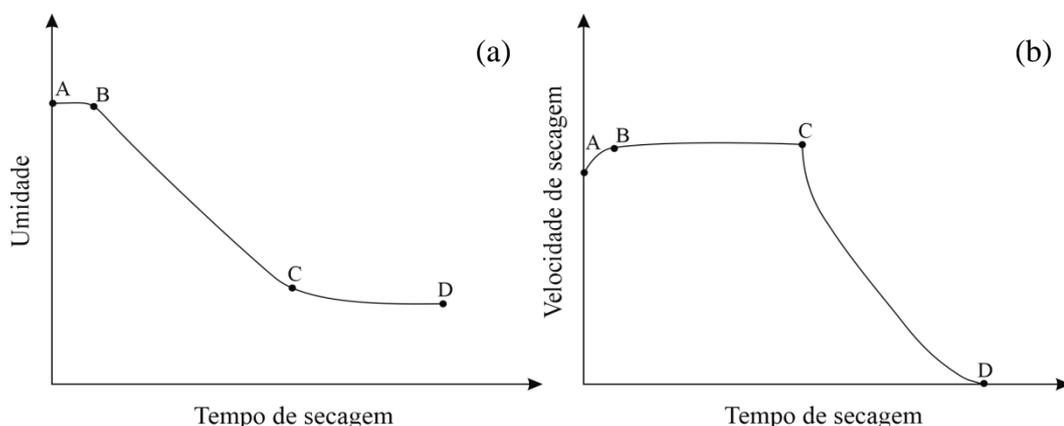
## **6 SECAGEM**

### **6.1 FUNDAMENTOS DA SECAGEM**

A secagem é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos e consiste na remoção da água do produto para o ambiente, até atingir um nível de  $a_w$  suficiente para garantir a estabilidade do produto. Com a remoção da água, o alimento seco pode apresentar características sensoriais distintas do alimento de origem, porém pode ser garantido um maior período de armazenamento, requisitos mínimos de embalagem e a redução dos custos de transporte (PINTO; TOBINAGA, 1996; KROKIDA et al., 2003). Dentre os processos de preservação aplicados aos alimentos, a secagem é considerada economicamente e tecnologicamente viável, por ser um método de baixo custo e de simples operação, quando comparado com o congelamento, a irradiação, os tratamentos químicos, entre outros (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

A secagem ocorre por meio de dois mecanismos de transporte simultâneos: a transferência de calor, para vaporizar o líquido, e a transferência de massa, que envolve o transporte do líquido e/ou do vapor, do interior para a superfície do material (SARAVACOS; MAROULIS, 2001). O processo de secagem necessita de gradientes que atuam como força motriz para promover o fluxo da massa de água, do produto para o ar de secagem. O vapor de água é retirado do material através de um fluxo originado pela diferença de pressão parcial de vapor; assim, o aumento de temperatura na superfície provoca um aumento da pressão de vapor, contribuindo para o fluxo de vapor, o que provoca a redução da umidade do material (STRUMILLO; KUDRA, 1986; KROKIDA; MAROULIS, 2002).

As taxas de secagem mudam de acordo com as condições de temperatura e umidade relativa do ar de secagem, as dimensões do alimento e também com a velocidade do ar de secagem (SARAVACOS; MAROULIS, 2001). Todo alimento apresenta uma curva de secagem característica, cujo comportamento é similar ao apresentado na Figura 4. Nela, a taxa de remoção de água aumenta por um curto período (trecho A-B), o que representa a fase inicial da secagem, quando o sólido é aquecido, promovendo assim um aumento na velocidade de secagem, em função do aumento da temperatura (MUJUMDAR, 2014).



**Figura 4.** Curva de secagem hipotética: umidade (a) e taxa de secagem (b), em função do tempo.

(Fonte: Adaptado de Ibarz e Barbosa-Cánovas (2002)).

Em seguida, a taxa de secagem se mantém constante (trecho B-C), até que a umidade do alimento atinge um valor em que a remoção de água seja dificultada pela formação de uma crosta externa, que atua como isolante. Ao final do período de taxa constante o sólido atinge a umidade crítica (Ponto C), a partir da qual a temperatura da superfície se eleva e a taxa de secagem cai rapidamente (STRUMILLO; KUDRA, 1986; MUJUMDAR, 2014). A partir desse ponto, a velocidade de secagem diminui até chegar a zero, quando a pressão de vapor da água contida no sólido se iguala à pressão parcial do vapor de água no ar de secagem e assim o produto atinge uma umidade constante (Ponto D) (MUJUMDAR, 2014).

De maneira geral, dois períodos distintos são observados durante o processo de secagem: o período de taxa constante, onde a resistência interna ao transporte de água é muito menor que a resistência externa à remoção de umidade da superfície do produto; e o período de taxa decrescente, caracterizado pela descontinuidade do fluxo de água na superfície de evaporação, devido à resistência interna ao transporte de umidade se tornar maior que a resistência externa (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2002).

O coeficiente de difusão, também chamado de difusividade efetiva ou difusividade aparente, é uma importante propriedade de transporte, o qual é útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como a secagem e a DO. A difusividade engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água, e é obtida pela modelagem matemática de dados experimentais. Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. A difusividade varia conforme as mudanças nas condições de secagem (ex. temperatura e velocidade do ar de secagem); não sendo considerada uma propriedade intrínseca ao material (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2002, OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006).

## 6.2 MÉTODOS DE SECAGEM

A secagem é uma das técnicas mais antigas documentadas na literatura para reduzir a  $a_w$  de um alimento. Entre os principais processos podem ser citados os processos de secagem por convecção natural, secagem a quente (por convecção forçada de ar) e secagem a frio. A secagem natural aproveita a energia solar para reduzir a umidade do produto. O produto obtido por esse método sofre poucos riscos de danos mecânico e térmico; mas, a eficiência do processo está diretamente ligada às condições psicrométricas do ar ambiente, o que pode ser um empecilho para a secagem (STRUMILLO; KUDRA, 1986; IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2002).

A secagem natural do pescado só é efetiva quando a umidade relativa do ar é baixa, juntamente com a presença do calor solar e do movimento do ar. As desvantagens desse método estão relacionadas, principalmente, aos processos de oxidação, que ocorrem com maior intensidade devido à exposição do produto ao ar livre, e também as reações de peroxidação, que são catalisadas pela radiação ultravioleta. Além disso, este processo depende de condições climáticas favoráveis, impossibilita a previsão das características finais do produto e, em climas tropicais, pode promover a desidratação drástica do produto (BASTOS, 1988).

A secagem por ar aquecido é um processo antigo, utilizado para preservar alimentos, no qual o produto a ser seco é exposto a uma corrente de ar quente, que flui continuamente através do mesmo, promovendo a remoção da umidade. A duração dessa operação varia de acordo com o material a ser seco e com as condições de processo, desde poucos segundos até vários dias (RATTI, 2008; KROKIDA; MAROULIS, 2002). Esse tipo de secagem se baseia em dois fenômenos físicos distintos e simultâneos, a evaporação da água da superfície do produto e a migração da água do interior do produto até a superfície, para que possa ser evaporada. Considerando que a velocidade e a distribuição do ar sejam uniformes durante o processo de secagem, esses fenômenos distinguem-se em duas diferentes etapas: período de velocidade constante e o período de velocidade decrescente (BASTOS, 1988; DURET et al., 2014).

O processo de secagem a frio não é comumente utilizado e é assim denominado por limitar a temperatura de secagem em um valor inferior à temperatura ambiente. A remoção da água é conduzida em baixas temperaturas, assim a água é mantida no estado líquido durante toda a operação, o que permite a obtenção de produtos com umidade intermediária e que são caracterizados por sua alta estabilidade e plasticidade. A umidade relativa do ar de secagem constitui um fator crítico nos processos de remoção da água em baixas temperaturas. Outros

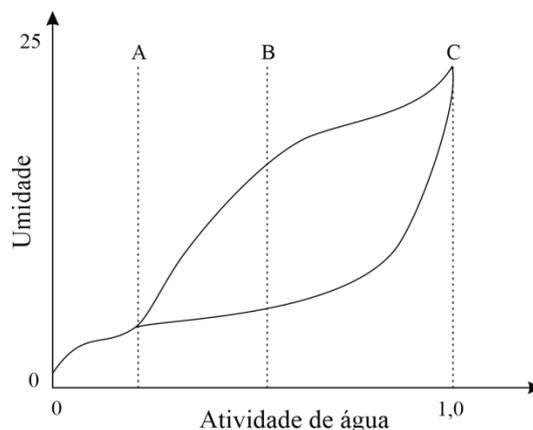
fatores que influenciam diretamente esse tipo de secagem é a temperatura do processo e a velocidade do ar de secagem (SCHMIDT et al., 1977; VIEIRA; CAL-VIDAL, 1995).

## **7 SORÇÃO DE UMIDADE**

A água é o componente mais importante dos produtos alimentícios, por exercer uma forte influência sobre as variáveis de um processo e sobre as características do produto e atributos de estabilidade (MOLINA-FILHO et al., 2006). A  $a_w$ , por sua vez, é uma medida da quantidade de moléculas de água que se encontram livres ou ativas, disponíveis para que alterações físico-químicas, bioquímicas e/ou microbiológicas possam ocorrer, em um produto. A  $a_w$  é definida como a relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio no alimento e a pressão de vapor de água pura, à uma mesma temperatura (PRIOR, 1969; MOHSENIN, 1986; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade descrevem a relação entre a umidade e a  $a_w$  de um produto, em uma temperatura constante, e são a base para o estudo do comportamento higroscópico de alimentos desidratados (IGLESIAS; CHIRIFE, 1982; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Uma isoterma de sorção de umidade (Figura 5) pode ser dividida em três zonas distintas, dependendo do estado da água presente no alimento.

A zona A representa a adsorção de uma camada monomolecular de água, fortemente ligada à matriz alimentícia; a zona B representa a adsorção de camadas adicionais acima da monocamada (multicamadas); e a zona C está relacionada com a água condensada nos poros e com a água capaz de favorecer a dissolução de solutos do produto (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). O limite de umidade entre as zonas A e B, corresponde ao valor de umidade da monocamada BET, a qual representa a quantidade de água necessária para a formação de uma camada de água sobre os sítios de fácil acesso, como os grupos altamente polares do produto (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).



**Figura 5.** Isotermas de sorção de umidade generalizadas.  
(Fonte: Adaptado de Labuza et al. (1968))

As isotermas podem ser de adsorção, quando o produto seco é colocado em atmosferas com diferentes umidades relativas (UR), sendo acompanhado o ganho de água (hidratação), ou de dessorção, quando é acompanhada a perda de água (desidratação) do produto exposto nas mesmas atmosferas de UR. Em geral, a isoterma de dessorção possui valores de umidade de equilíbrio superiores aos da isoterma de adsorção a uma dada  $a_w$ , gerando um laço entre as respectivas isotermas. Este laço é denominado de histerese e é atribuído a fatores como: condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, presença de impurezas na superfície e mudanças de fase (RAHMAN, 1995; HOSSAIN et al., 2001).

As isotermas são próprias de cada grupo de alimentos e permitem estimar a estabilidade do produto, além de ter aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto; inclusive quando o mesmo é constituído por componentes com diferentes  $a_w$  (ASSUNÇÃO; PENA, 2007; PENG et al., 2007).

A afinidade da água com outros componentes de um produto define a sua higroscopicidade, que é um parâmetro importante para o processamento, estabilidade e estocagem de alimentos de baixa umidade (LABUZA, 1968). Quando a pressão de vapor da água, em equilíbrio com o produto é muito próxima à pressão de saturação, o estado da água é considerado livre e o produto é não higroscópico; quando essa pressão é inferior à pressão de saturação, a água é considerada ligada e o produto é higroscópico (IGLESIAS; CHIRIFE, 1982).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology**. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2008. 928 p.
- ALVES, D. G.; JUNIOR, J. L. B.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. (2005). Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 99-103.
- ALVES, G.; ZABINE, L.; BANTLE, J. F.; RODRIGUES, L. C. S.; PASQUALI, R.; NASCIMENTO, I. A. (2010). Avaliação físico-química, microbiológica e sensorial de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) inteiras evisceradas submetidas a salga e secagem natural. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 13, p. 71-75.
- ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M. S.; ARGÁIZ, A.; WELTI, J. (1993). Application of combined methods technology in minimally processed fruits. **Food Research International**, v. 26, p. 125-130.
- ARANTES, C. C.; CASTELLO, L.; STEWART, D. J.; CETRA, M.; QUEIROZ, H. L. (2010). Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. **Ecology Freshwater Fish**, v. 19, p. 455-465.
- ASHIE, I. N. A.; SMITH, J. P.; SIMPSON, B. K. (1996). Spoilage and shelf life extension of fresh fish and shellfish. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 36, p. 87-121.
- ASSUNCAO, A. B.; PENA, R. S. (2007). Comportamento higroscópico de resíduo seco de camarão rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 786-793.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 291-295.
- BAGHAW, C. **Muscle contraction**. 2 ed. London: Chapman & Hall, 1993. 155 p.
- BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2 ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2010. 608 p.
- BASTOS, J. R. Processamento e conservação do pescado. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, FAO. **Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes**. Brasília: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1988. cap. 7.
- BELLAGHA, S.; SAHLI, A.; FARHAT, A.; KECHAOU, N.; GLENZA, A. (2007). Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 947-952.
- BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; TUEKSUBAN, J. (2003). Changes in physico-chemical properties and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) during post-mortem storage in ice. **Food Chemistry**, v. 80, p. 535-544.
- BIRKELAND, S.; SIVERTSVIK, M.; NIELSEN, H. H.; SKARA, T. (2005). Effects of brining conditions on weight gain in herring (*Clupea harengus*) fillets. **Journal of Food Engineering**, v. 70, p. 418-424.
- BORIN, I.; FRASCARELI, E. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. (2008). Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 39-50.
- BOUDHRIOUA, N.; DJENDOUBI, N.; BELLAGHA, S.; KECHAUOU, N. (2009). Study of moisture and salt transfers during salting of sardine fillets. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 83-89.

- BRANDÃO, F.; GOMES, L. C.; CHAGAS, E. C. (2006). Respostas de estresse em pirarucu (*Arapaima gigas*) durante práticas de rotina em piscicultura. **Acta Amazônica**, v. 36, p. 349-356.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa nº 34, de 18 de junho de 2004c. Aprova as normas gerais para o exercício da pesca do pirarucu na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 22 de junho de 2004. Seção 1, p. 74.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 1, de 15 de janeiro de 2019. Aprova o Regulamento Técnico que fixa a identidade e as características de qualidade que deve apresentar o peixe salgado e o peixe salgado seco. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 18 de janeiro de 2019, Edição 13, Seção 1, p. 2.
- BRASIL. Ministério de Estado do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 5, de 21 de maio de 2004a. Reconhece como espécies ameaçadas de extinção e espécies sobre-exploradas ou ameaçadas de sobre-exploração, os invertebrados aquáticos e peixes, que constam nos anexos desta Instrução Normativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 28 de maio de 2004, Seção 1, p. 136-142.
- BRASIL. Ministério de Estado do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 24, de 4 de julho de 2004b. Proíbe, anualmente, na bacia hidrográfica dos rios Araguaia-Tocantins, a captura, o transporte, a comercialização e a armazenagem do pirarucu, no período de 1º de outubro a 31 de março. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 06 de julho de 2005, Seção 1.
- BRAUNER, C. J.; MATEY, V.; WILSON, J. M.; BERNIER, N. J.; VAL, A. L. (2004). Transition in organ function during the evolution of air-breathing: insights from *Arapaima gigas* an obligate air-breathing teleost from the Amazon. **Journal of Experimental Biology**, v. 207, p. 1433-1438.
- CARVALHO, G. G. **Salga e dessalga de peixes: Aspectos químicos, físicos e efeito antioxidante do extrato aquoso de manjeriço (*Ocimum basilicum*)**. 2012. 59 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Aquicultura) - Centro de aquicultura da UNESP, Jaboticabal, 2012.
- CARVALHO, I. T. **Microbiologia dos alimentos**. Recife: EDUFRPE, 2010. 84 p.
- CASTELLO, L. (2008a). Lateral migration of the arapaima in floodplains of the Amazon. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 17, p. 38-46.
- CASTELLO, L. (2008b). Nesting habitat of pirarucu *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. **Journal of Fish Biology**, v. 72, p. 1520-1528.
- CASTELLO, L.; STEWART, D. J. (2010). Assessing CITES non-detriment findings procedures for arapaima in Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 26, p. 49-56.
- CASTELLO, L.; STEWART, D. J.; ARANTES, C. C. (2011). Modeling population dynamics and conservation of arapaima in the Amazon. **Reviews in Fish Biology & Fisheries**, v. 21, p. 621-640.
- CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A. M.; FONSECA, F. A. L.; ITUASSÚ, D. R.; ROUBACH, R.; ONO, E. A. (2004). Tolerance of pirarucu juveniles to increasing ammonia concentration in a closed environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 513-516.

- CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. R.; GANDRA, A. L.; CRESCÊNCIO, R. (2003). Biomassa sustentável de juvenis de pirarucu em tanques-rede de pequeno volume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 723-728.
- CHAIJAN, M. (2011). Physicochemical changes in tilápia (*Oreochromis niloticus*) muscle during salting. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1201-1210.
- CHENLO, F.; MOREIRA, R.; FERNÁNDEZ-HERRERO, C.; VÁZQUEZ, G. (2006). Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 164-173.
- COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 153-162.
- COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L. (1994). Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. **LWT- Food Science and Technology**, v. 27, p. 259-264.
- CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia (FUNEP), 1994. 409 p.
- CORZO, O.; BRACHO, N. (2007a). Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 1452-1458.
- CORZO, O.; BRACHO, N. (2007b). Water effective diffusion coefficient of sardine sheets during osmotic dehydration at different brine concentrations and temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 497-502.
- CORZO, O.; BRACHO, N.; MARVAL, J. (2006). Color change kinetics of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 21-26.
- CORZO, O.; BRACHO, N.; RODRÍGUEZ, J.; GONZÁLEZ, M. (2007). Predicting the moisture and salt contents the sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 781-790.
- COTTER, P. D.; HILL, C. (2003). Surviving the acid test: responses of Gram-positive bacteria to low pH. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 67, p. 429-453.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Brasil: Artmed, 2010. 890 p.
- DEL VALLE, J. M.; CUADROS, T. R. M.; AGUILERA, J. M. (1998). Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. **Food Research International**, v. 31, p. 191-204.
- DEUMIER, F.; BOHUON, P.; TRYSTRAM, G.; SABER, N.; COLLIGNAN, A. (2003). Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles
- DONHAUSER, S.; WAGNER, D.; GEIGER, E. (1993). Biogenic amines: significance, occurrence and assessment. **Brawelt International**, v. 11, p. 100-107.
- DURET, S.; HOANG, H. M.; FLICK, D.; LAGUERRE, O. (2014). Experimental characterization of airflow, heat and mass transfer in a cold room filled with food products. **International Journal of Refrigeration**, v. 46, p. 17-25.
- ESCOBAR, M. P.; GALINDO, F. G.; WADSO, L.; NÁJERA, J. R.; SJOHOLM, I. (2007). Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots. **Journal of Food Engineering**, v. 81, p. 313-317.

- FAN, H.; LUO, Y.; YIN, X.; BAO, Y.; FANG, L. (2014). Biogenic amine and quality changes in lightly salt- and sugar-salted black carp (*Mylopharyngodon piceus*) fillets stored at 4 °C. **Food Chemistry**, v. 159, p. 20-28.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. (2006). Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, p. 492-498.
- FITO, P. (1994). Modeling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, p. 313-328.
- FOGAÇA, F. H. S.; OLIVEIRA, E. G.; CARVALHO, S. E. Q.; SANTOS, F. J. S. (2011). Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v. 33, p. 95-99.
- FOX, P. F.; CONDON, J. J. **Food Proteins**. London: Applied Science Publishers, 1982. 361 p.
- GALLART-JORNET, L.; BARAT, J. M.; RUSTAD, T.; ERIKSON, U.; ESCRICHE, I.; FITO, P. A. (2007). Comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo solar*). **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 261-270.
- GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines. In: HUI, Y. H. **Handbook of Food Science, Technology and Engineering**. New York: CRC Press, 2005. v. 4, cap. 13, p. 1-38.
- GLÓRIA, M. B. A.; VIEIRA, S. M. (2007). Technological and toxicological significance of bioactive amines in grapes and wines. **Food**, v. 1, p. 258-270.
- GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**. 1. ed. São Paulo: Atheneu, 2011. 624 p.
- GRAM, L.; HUSS, H. H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, p. 121-137.
- GRAY, J. I.; GOMMA, E. A.; BUCKLEY, D. J. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. **Meat Science**, v. 43, p. 111-123.
- GÜMÜŞ, B.; IKIZ, R.; ÜNLÜSAYIN, M.; GÜLYAVUZ, H. (2008). Quality changes of salted red mullet (*Mullus barbatus L., 1758*) during vacuum packaged stored at 4°C. **Journal of Fisheries & Aquatic Sciences**, v. 25, p. 101-104.
- HALÁSZ, A.; BARÁTH, A.; SIMON-SARKADI, L.; HOLZAPFEL, W. (1994). Biogenic amines and their production by microorganisms in food. **Trends Food Science & Technology**, v. 5, p. 42-49.
- HASSOUN, A.; KAROUI, R. (2016). Monitoring changes in whiting (*Merlangius merlangus*) fillets stored under modified atmosphere packaging by front face fluorescence spectroscopy and instrumental techniques. **Food Chemistry**, v. 200, p. 343-353.
- HEREDIA, A.; PEINADO, I.; BARRERA, C.; GRAU, A. A. (2009). Influence of process variables on color changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, p. 285-294.
- HOSSAIN, M. D.; BALA, B. K.; HOSSAIN, M. A.; MONDOL, M. R. A. (2001). Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 103-107.
- HU, Y.; HUANG, Z.; LI, J.; YANG, H. (2012). Concentrations of biogenic amines in fish, squid and octopus and their changes during storage. **Food Chemistry**, v. 135, p. 2604-2611.

- HUSS, H. H. (1995). **Quality and quality changes in fresh fish**. Food and Agriculture Organization of United Nations: Fisheries Technical Paper, v. 348. 195p.
- IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2002. 889 p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção Pecuária Municipal 2018**. Brasil, v. 46, p. 1-15, 2018.
- IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. **Handbook of food isotherms: water sorption parameters for food component**. 1 ed. New York: Academic Press, 1982. 360 p.
- IMBIRIBA, E. P. (2001). Potencial de criação de pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. **Acta Amazônica**, v. 31, p. 299-316.
- ISLAM, M. N.; FLINK, L. N. (1982). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air-drying behavior. **Journal Food Technology**, v. 17, p. 387-403.
- JITTINANDANA, S.; KENNEY, P. B.; SLIDER, S. D.; KISER, R. A. (2002). Effect of brine concentration and brining time on quality of smoked rainbow trout fillets. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 2095-2099.
- JOKIC, A.; GYURA, J.; LEVIC, L.; ZAVARGÓ, Z. (2007). Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 47-51.
- JUNK, W. J.; SOARES, M. G. M.; BAYLEY, P. B. (2007). Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 10, p. 153-173.
- KALÁČ, P.; ŠAVEL, J.; KŘÍŽEK, M.; PELIKÁNOVÁ, T.; PROKOPOVÁ, M. (2002). Biogenic amine formation in bottled beer. **Food Chemistry**, v. 79, p. 431-434.
- KAREL, M.; LUND, D. B. **Physical Principles of Food Preservation: Revised and Expanded**. 2 ed. New York: CRC Press, 2003. 640 p.
- KHIN, M. M.; ZHOU, W.; PERERA, C. (2006). A study of mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 84-95.
- KINSELLA, J. E. (1976). Functional proprieties of proteins in foods: a survey. **Journal of Food Science and Nutrition**, v. 7, p. 219-280.
- KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 391-403.
- KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. (2002). Heat and mass transfer coefficients in drying: Compilation of literature data. **Drying Technology**, v. 20, p. 1-18.
- KYRANA, V. R.; LOUGOVOIS, V. P. (2002). Sensory, chemical and microbiological assessment of farm-raised European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in melting ice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 319-328.
- LABUZA, T. P. (1968). Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v. 22, p. 263-272.
- LADERO, V.; CALLES, M.; FERNÁNDEZ, M.; ALVAREZ, M. A. (2010). Toxicological effects of dietary biogenic amines. **Current Nutrition and Food Science**, v. 6, p. 145-156.
- LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. (1995). Mass transfer kinetics during pre-concentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 151-166.

- LE MAGUER, M.; SHI, J.; FERNÁNDEZ, C. (2003). Mass transfer behavior of plant tissues during osmotic dehydration. **Food Science Technology International**, v. 9, p. 187-192.
- LENART, A. (1996). Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v. 14, p. 391-413.
- LIMA, A. S.; GLÓRIA, M. B. A. (1999). Aminas bioativas em alimentos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de alimentos**, v. 33, p. 70-79.
- LIMA, E. J. V. M. O.; SANT'ANA, L. S. (2011). Nota científica: Determinação de atividade de água, umidade e sal em peixes salgados e secos importados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, p. 125-129.
- LINS, P. M. O. **Beneficiamento do pescado**. Pará: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, 2011. 98 p.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. (1985). Evaluation of food moisture sorption isotherm equations: Part II - milk, coffee, tea, nut, oilseeds, spices and starchy foods. **LWT- Food Science and Technology**, v. 18, p. 118-124.
- LOMBARD, G. E.; OLIVEIRA, J. C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pré-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 277-284.
- LOURENÇO, L. F. H.; AMANAJÁS, C. C.; SOUSA, A.; VIEIRA, L. L. Pirarucu salgado consumido em Belém tem baixa qualidade. **Jornal Beira Rio**, Belém, v. 28, 2005.
- MACIEL, R. A.; RODRIGUES, A. M. C.; PENA, R. S. (2016). Influence of the process parameters on osmotic dehydration of mapará (*Hypophthalmus edentatus*) fillet. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 676-684.
- MACIEL, R. A.; VIANA, C. M. C.; SIMOES, M. G.; FONTELLES, M. J. P. (2012). Desidratação osmótica de filé de pirarucu (*Arapaima gigas*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 6, p. 618-629.
- MAROUZÉ, C.; GIROX, F.; COLLIGNAN, A.; RIVIER, M. (2001). Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 207-221.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 144-151.
- MARTINS, M. G.; PENA, R. S. (2017). Combined osmotic dehydration and drying process of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillets. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 3170-3179.
- MARUF, F. W.; LEDWARD, D. A.; NEALE R. J.; POUTER, R. G. (1990). Chemical and nutritional quality of Indonesian dried-salted mackerel (*Rastrellinger Kanagurta*). **International Journal Food Technology**, v. 25, p. 66-77.
- MAURO, M. A.; TAVARES, D. Q.; MENEGALLI, F. C. (2003). Behavior of plant tissue in osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 1-15.
- MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. (2011). Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo L.*) fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 103, p. 29-37.
- MEDINA-VIVANCO, M; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. (2002). Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, p.199-205.

- MOHAMED, R.; LIVIA, S. S.; HASSAN, S.; SOHER, E.; AHMED-ADEL, E. B. (2009). Changes in free amino acids and biogenic amines of Egyptian salted-fermented fish (Feseekh) during ripening and storage. **Food Chemistry**, v. 115, p. 635-638.
- MOHSENIN, N. N. **Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 891 p.
- MOLINA-FILHO, L.; PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; BARBOZA, S. H. R. (2006). Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 26, p. 453-458.
- MONNERAT, S. M.; PIZZI, T. R. M.; MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. (2010). Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: concentration profiles and effective diffusion coefficients. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 604-612.
- MPA (Ministério da Pesca e Aquicultura). **Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011**. Brasil, 2013. 60 p.
- MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI-CHANES, J. (2003). Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 307-314.
- MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. 1348 p.
- NEVES R. A. M.; MIRA, N. V. M.; MARQUEZ, U. M. L. (2004). Caracterização de hidrolisados enzimáticos de pescado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, p. 101-108.
- NUNES, E. S. C. L.; FRANCO, R. M.; MÁRSICO, E. T.; NEVES, M. S. (2012b). Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas* Schinz, 1822) salgado seco comercializado em mercados varejistas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, p. 520-529.
- NUNES, E. S. C. L.; FRANCO, R. M.; MÁRSICO, E. T.; NOGUEIRA, E. B.; NEVES, M. S.; SILVA, F. E. R. (2012a). Presença de bactérias indicadores de condições higiênico-sanitárias e de patógenos em pirarucu (*Arapaima gigas* Schinz, 1822) salgado seco comercializado em supermercados e feiras da cidade de Belém, Pará. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 19, p. 98-103.
- NUNES, M. L.; PEDRO, S. Salga do pescado. In: GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do pescado: Ciência, tecnologia, inovação e legislação**. São Paulo: Atheneu, 2011. cap. 2, p. 156-165.
- NÚÑEZ, J.; CHU-KOO, F.; BERLAND, M.; ARÉVALO L.; RIBEYRO, O.; DUPONCHELLE, F.; RENNO, J. F. (2011). Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. **Aquaculture Research**, v. 42, p. 815-822.
- OGAWA, M; MAIA, E. L. **Manual de Pesca: Ciência e Tecnologia do Pescado**. São Paulo: Livraria Varela, 1999. 430 p.
- OLIVEIRA, P. R. **Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) procedente de piscicultura, estocado em gelo, congelado e de seus produtos derivados**. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais da Amazônia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2007. 119 f.

- OLIVEIRA, P. R.; JESUS, R. S.; BATISTA, G. M.; LESSI, E. (2014). Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 67-74.
- OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. (2006). Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia agrícola**, v. 26, p. 181-189.
- OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E.; GONÇALVES, L. A. G. (2005). Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28, p. 655-663.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. (2001). Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em Fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, p. 288-292.
- PENG, G.; CHEN, X.; WU, W.; JIANG, X. (2007). Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 562-567.
- PEREIRA-FILHO, M.; CAVERO, B. A. S.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. R.; GANDRA, A. L.; CRESCÊNCIO, R. (2003). Cultivo do Pirarucu (*Arapaima gigas*) em viveiro escavado. **Acta Amazônica**, v. 33, p. 715-718.
- PHISUT, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **International Food Research Journal**, v. 19, p. 7-18.
- PINTO, L. A. A.; TOBINAGA, S. (1996). Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **Vetor**, p. 33-49.
- PODAR, M.; REYSENBACH, A.-L. (2006). New opportunities revealed by biotechnological explorations of extremophiles. **Current opinion in biotechnology**, v. 17, p. 250-255.
- PRIOR, B. A. J. (1969). Measurement of water activity in food: A review. **Journal of food protection**, v. 42, p. 668-674.
- RAHMAN, M. S. **Food Properties Handbook**. Boca Raton: CRC Press, 1995. 86 p.
- RAMACHANDRAN, D.; MOHAN, M.; SANKAR, T. V. (2007). Physicochemical characteristics of muscle proteins from barracuda (*Sphyraena jello*) of different weight groups. **LWT – Food Science and Technology**, v. 40, p. 1418-1426
- RAOULT-WACK, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, p. 255-260.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **LWT – Food Science and Technology**, v. 37, p. 43-47.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, p. 48-59.
- RATTI, C. **Advances in Food Dehydration**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 467 p.
- REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS JR, C. J. **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2003. 742 p.
- RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. (2007). Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 678–687.
- ROMAN, J. A.; SGARBIERI, V. C. (2005). Efeito da hidrólise enzimática sobre propriedades funcionais de caseína bovina coagulada pela ação da quimosina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, p. 468-474.

- RÓZEK, A.; ACHAERANDIO, I.; GÜELL, C.; LÓPEZ, F.; FERRANDO, M. (2009). Grape phenolic impregnation by osmotic treatment: Influence of osmotic agent on mass transfer and product characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 59-68.
- SANTOS, V. B. (2007). Aspectos morfológicos da musculatura lateral dos peixes. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 33, p. 127-135.
- SARAVACOS, G. D.; MAROULIS, Z. D. **Transport properties of foods**. New York: CRC Press, 2001. 432 p.
- SCHMIDT, F. W.; CHEN, Y. S.; KIRB-SMITH, M.; MACNEIL, J. H. (1977). Low temperature air drying of carrot cubes. **Journal of Food Science**, v. 42, p. 219-222.
- SERENO, A. M.; HUBINGER, M. D.; COMESANA, J. F.; CORRA, A. (2001). Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 103-114.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradações e modificações**. 1 ed. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.
- SHALABY, A. R. (1996). Significance of biogenic amines to food safety and human health. **Food Research International**, v. 29, p. 675-690.
- SHI, X. Q.; FITO, P. (1993). Vacuum Osmotic Dehydration of Fruits. **Drying Technology**, v. 11, p. 1429-1442.
- SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during the osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, v. 28, p. 445-454.
- SIGURGISLADOTTIR, S.; SIGURDARDOTTIR, M. S.; TORRASEN, O.; VALLET, J. L.; HAFSTEINSSON, H. (2000). Effects of different salting and smoking processes on the microstructure, the texture and yield of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. **Food Research International**, v. 33, p. 847-855.
- SILVA, M. L.; MATTÉ, G. R.; MATTÉ, M. H. (2008). Aspectos sanitários da comercialização de pescado em feiras livres da cidade de São Paulo, SP/Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 67, p. 208-214.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 448 p.
- THORARINSDOTTIR, K. A.; ARASON, S.; SIGURGISLADOTTIR, S.; GUNNLAUGSSON, V.; TORNBERG, E. (2011a). The effects of salt-curing and salting procedures on the microstructure of cod (*Gadus morhua*) muscle. **Food Chemistry**, V. 126, P. 109-115.
- THORARINSDOTTIR, K. A.; ARASON, S.; SIGURGISLADOTTIR, S.; VALSDOTTIR, T.; TORNBERG, E. (2011b). Effect of different pre-salting methods on protein aggregation during heavy salting of cod fillets. **Food Chemistry**, v. 124, p. 7-14.
- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. (2006). Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 715-723.
- TORREGGIANI, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, p. 59-68.
- TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 247-253.
- TORTOE, C. (2010). A review of osmo-dehydration for food industry. **African Journal of Food Science**, v. 4, p. 303-324.

- TSAI, Y.-H.; LIN, C.-Y.; CHANG, S.-C.; CHEN, H.-C.; KUNG, H.-F.; WEI, C.-I. (2005). Occurrence of histamine and histamine-forming bacteria in salted mackerel in Taiwan. **Food Microbiology**, v. 22, p. 461-467.
- VENTURIERI, R.; BERNARDINO, G. (1999). Arapaima: Endangered species can be saved through culture. **Panorama da Aquicultura**, v. 9, p. 13-21.
- VIEIRA, J. A. G.; CAL-VIDAL, J. (1995). Secagem a frio de creme de abacate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 553-562.
- VIEIRA, R. H. S. F. Alterações microbianas em pescado processado: salgados, defumados e enlatados. In: VIEIRA, R. H. S. F. **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado: Teoria e prática**. São Paulo: Varela, 2003. cap. 6, p. 79-85.
- WANG, D.; TANG, J.; CORREIA, L. R. (2000). Salt diffusivities and salt diffusion in farmed Atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 115-123.
- YANAR, Y.; CELIK, M.; AKAMCA, E. (2006). Effects of brine concentration on shelf-life of hot-smoked tilapia (*Oreochromis niloticus*) stored at 4°C. **Food Chemistry**, v. 97, p. 244-247.
- YANG, D. C.; LE MAGUER, M. (1992). Osmotic dehydration of strawberry in a batch recirculation system. **Journal of Food Quality**, v. 15, p. 387-397.
- ZHAO, Y.; XIE, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, p. 434-451.

# CAPÍTULO II

## Manuscrito 1: Composição e qualidade físico-química do pirarucu salgado-seco comercial

---

### 1 INTRODUÇÃO

O pirarucu é tradicionalmente comercializado na forma de ‘mantas’ salgadas-secas, em mercados e feiras livres, exposto a temperaturas e umidades relativas elevadas, as quais são típicas das regiões onde é encontrado (NUNES et al., 2012). O processo de salga é uma das técnicas mais antigas de conservação de alimentos e baseia-se na difusão do sal para o interior dos tecidos, acompanhada da perda de água livre. Em geral, o pirarucu é submetido a salga logo após a captura, sem critérios higiênico-sanitários e tecnológicos definidos. Adicionalmente, é comum o pescado passar por procedimentos de ressalga, até a comercialização final (LOURENÇO et al., 2008).

A salga é um método de remoção parcial da água, portanto, após este processo é realizado a secagem natural complementar, onde o peixe salgado é exposto ao calor solar e ao movimento do ar, o que promove um fluxo simultâneo de calor e de massa e, conseqüentemente, a remoção da água da superfície do produto (BASTOS, 1988; MARTINS et al., 2015).

A redução do conteúdo de água e da atividade de água ( $a_w$ ), provocadas pelos processos de salga e secagem, inibe o desenvolvimento da maioria das bactérias patogênicas e deterioradoras, e de bolores e leveduras, inativa muitas enzimas e diminui a velocidade de várias reações químicas, prolongando a vida útil do pescado. Embora o sal previna o desenvolvimento microbiano, inúmeros micro-organismos podem não ser inibidos em sua presença, o que pode favorecer a deterioração e a perda de qualidade do produto, e assim proporcionar o risco à saúde do consumidor (PATIR et al., 2006; RODRIGUES et al., 2003).

A qualidade do peixe salgado-seco não está relacionada apenas com fatores inerentes ao pescado, como a composição, a qualidade da matéria-prima e os aspectos morfológicos de cada espécie, mas também com as condições de manipulação e com as etapas pós-captura e de processamento, como a concentração e a qualidade do sal; além de condições de higiene, de transporte e de armazenamento (BELLAGHA et al., 2007; NGUYEN et al., 2011). No caso do pirarucu, a região dorsal é proteica e magra, enquanto na região ventral está localizado um depósito de gordura (MARTINS et al., 2017), o que sugere que a qualidade do pirarucu

salgado-seco, que em geral é obtido com as partes magra e gorda do peixe, não siga um mesmo padrão.

O pescado é um alimento altamente perecível, por apresentar uma microbiota natural potencialmente deterioradora, grande quantidade de água e por apresentar em sua composição importantes substratos para micro-organismos (INHAMUNS; FRANCO, 2001; ESLICK et al., 2009). A deterioração pode ser ocasionada por alterações bioquímicas (oxidação lipídica e hidrólise de proteínas) ou pela atividade metabólica de micro-organismos (ASHIE et al., 1996), que pode dar origem a compostos não voláteis, como as aminas biogênicas, que em concentrações elevadas podem causar efeitos adversos a saúde humana (HALÁSZ et al., 1994; GLÓRIA, 2005). A produção dessas aminas está ligada à estratégia de sobrevivência do micro-organismo, quando as células estão expostas a condições desfavoráveis e a quantificação dessas substâncias é considerada uma importante ferramenta para o controle de qualidade do produto, pois reflete a má qualidade das matérias-primas utilizadas ou as condições higiênicas inadequadas durante o processo produtivo (GLÓRIA, 2005; TSAI et al., 2005).

A inexistência de um padrão de qualidade específico para peixes dulcícolas, como o pirarucu, e as considerações feitas sobre a salga, a secagem, a composição e a comercialização desta espécie; associada à escassez de estudos relacionados com a qualidade do pirarucu salgado-seco comercial e à importância econômica dessa espécie, motivaram esta pesquisa, que tem como objetivo avaliar a composição e a qualidade físico-química das regiões dorsal e ventral de amostras de pirarucu salgado-seco comercializadas na região metropolitana de Belém.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 MATERIAL**

Seis amostras comerciais de pirarucu salgado-seco, contendo as porções dorsal e ventral do peixe, foram adquiridas em diferentes pontos comerciais da região metropolitana de Belém (Pará, Brasil) (01° 27' 21" S e 48° 30' 16" W), sendo: três feiras livres (denominadas de A, B e C) e três supermercados (denominadas de D, E e F). Foram realizadas três coletadas de amostras, nos mesmos pontos comerciais, a cada quatro meses, por um período de um ano. As amostras foram transportadas para a Universidade Federal do Pará (01° 28' 30.2" S e 48° 27' 12.9" W), onde as porções dorsal e ventral do produto foram devidamente separadas, para serem analisadas separadamente. As amostras foram então embaladas em sacos de polietileno, e mantidas sob congelamento a -18°C, até o momento das análises.

## 2.2 COMPOSIÇÃO DO PIRARUCU SALGADO-SECO

As amostras (porção dorsal e ventral) do pirarucu salgado-seco foram caracterizadas de acordo com as metodologias oficiais da AOAC (2016), para as seguintes análises de *umidade*, por gravimetria, em estufa a 105°C, até peso constante; *cinzas*, por gravimetria, pela incineração da amostra a 550°C, em forno mufla; o *teor de cloretos*, pelo método de *Mohr*; *lipídios totais*, por extração intermitente da fração lipídica (usando éter de petróleo como solvente), pelo método Soxhlet; e *proteína bruta*, estimada mediante o conteúdo de nitrogênio total presente na amostra, pelo método de *Kjeldahl* (fator de conversão nitrogênio-proteína de 6,25). As análises foram realizadas em triplicata.

## 2.3 AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DO PIRARUCU SALGADO-SECO

Adicionalmente, as amostras do pirarucu salgado-seco (dorso e ventre) foram submetidas às análises de *atividade de água* ( $a_w$ ), em termohigômetro digital (Aqualab 4TE, Decagon, USA) a 25°C; *pH*, em potenciômetro digital; *acidez total titulável*, por método titulométrico, com o auxílio de potenciômetro digital (AOAC, 2016); *cor instrumental*, por medida diretamente em colorímetro (DP-400, Konica Minolta), utilizando a colorimetria tristímulo, para obtenção dos parâmetros luminosidade ( $L^*$ ), coordenada vermelho/verde ( $a^*$ ), coordenada amarelo/azul ( $b^*$ ), croma ( $C^*$ ) e ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ). Para a determinação das *bases voláteis totais (N-BVT)* foi realizada a extração com ácido tricloroacético, e posterior destilação e titulação com ácido sulfúrico (ANTONACOPOULOS; VYNCKE, 1989); já o *teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)* foi determinado de acordo com VYNCKE (1970). As análises foram realizadas em triplicata.

O perfil de aminas bioativas foi obtido por separação das aminas em cromatografia de alta eficiência-par iônico, em coluna de fase reversa, derivatizadas pós-coluna com o-ftalaldeído; sendo a quantificação realizada por fluorimetria a 340 nm de excitação e 450 nm de emissão (MANFROI et al., 2009). Tiramina, putrescina, cadaverina, histamina, serotonina, agmatina, espermidina, feniletilamina e triptamina foram as aminas identificadas por comparação dos tempos de retenção das aminas presentes nas amostras e em uma solução padrão. A quantificação baseou-se na relação entre a área do pico e a concentração obtida por cada amina, de acordo com uma curva padrão externa. Os resultados foram expressos em mg/kg do produto. Esta análise foi realizada em duplicata, apenas nos Lotes 1 e 2, em função da disponibilidade de realização da análise.

## 2.4 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA

Os resultados (média  $\pm$  desvio padrão) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, com 95% de significância ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o software Statistica 7.0.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

As composições centesimais das amostras (região dorsal e ventral) do pirarucu salgado-seco adquiridos nos diferentes pontos comerciais e nas diferentes épocas do ano, são apresentadas na Tabela 1. A Instrução normativa (IN) n° 1 (BRASIL, 2019) diferencia o peixe salgado do peixe salgado-seco com base na umidade do produto. Segundo a legislação, o peixe salgado-seco deve apresentar umidade máxima de 52,9 g/100 g e um mínimo de 12 g/100 g de cloreto de sódio (sal). Assim, independente do momento da coleta (lote), apenas os produtos obtidos nos pontos comerciais C e D atenderam ao limite imposto para a umidade.

Na maioria das amostras, o teor de sal foi bem superior ao limite estabelecido, o que merece destaque, uma vez que elevadas concentrações de sal, em produtos proteicos, podem interferir na qualidade da proteína e em aspectos nutricionais do produto (GALLART-JORNET et al., 2007; MARTINS et al., 2017).

As variações observadas entre os valores obtidos para as diferentes amostras e lotes, especialmente para os parâmetros umidade, cinzas e cloretos, podem ser atribuídas a utilização de um processo artesanal de salga e à secagem natural do produto; sem um controle eficiente das condições dos processos. Adicionalmente, as condições de embalagem e de armazenamento, com frequentes variações das condições de temperatura e umidade relativa do ambiente, podem ter contribuído para as variações observadas na umidade e na  $a_w$  do produto (MÁRSICO et al., 2009).

A IN n° 1 (BRASIL, 2019) estabelece ainda que o peixe salgado-seco deve ser comercializado em embalagens específicas do produto, que garantam a proteção contra a contaminação, e que o produto seja mantido em temperatura de até 7°C. Em todas as coletas realizadas, as amostras A, B e C, adquiridas em feiras livres, estavam sendo comercializadas sem nenhuma proteção e a temperatura ambiente (30-35°C).

**Tabela 1.** Composição centesimal das amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco.

Parâmetro (Amostra)*	Região dorsal**			Região ventral**			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 1	Lote 2	Lote 3	
Umidade (g/100 g)	A	51,28 <sup>Bb</sup> ±0,20	55,91 <sup>Aa</sup> ±0,25	50,82 <sup>Bb</sup> ±0,26	48,55 <sup>BCb</sup> ±1,70	52,91 <sup>Aa</sup> ±0,11	47,26 <sup>ABb</sup> ±1,86
	B	53,23 <sup>Aa</sup> ±0,22	52,00 <sup>Cb</sup> ±0,39	49,85 <sup>Bc</sup> ±0,31	52,36 <sup>Aa</sup> ±0,01	48,86 <sup>ABb</sup> ±1,39	45,65 <sup>Bc</sup> ±0,31
	C	48,54 <sup>Da</sup> ±0,09	48,80 <sup>Da</sup> ±0,16	49,05 <sup>Ba</sup> ±0,47	42,91 <sup>Db</sup> ±1,86	47,83 <sup>Ba</sup> ±0,56	44,81 <sup>Bb</sup> ±0,65
	D	50,75 <sup>Ca</sup> ±0,19	52,37 <sup>Ca</sup> ±0,14	50,81 <sup>Ba</sup> ±2,01	45,70 <sup>CDc</sup> ±0,80	47,87 <sup>Bb</sup> ±0,88	50,31 <sup>Aa</sup> ±0,13
	E	45,30 <sup>Eb</sup> ±0,89	54,10 <sup>Ba</sup> ±0,43	55,13 <sup>Aa</sup> ±0,13	49,81 <sup>Ba</sup> ±0,79	50,53 <sup>ABa</sup> ±0,20	50,11 <sup>Aa</sup> ±1,24
	F	52,50 <sup>ABb</sup> ±0,08	56,76 <sup>Aa</sup> ±0,46	44,62 <sup>Cb</sup> ±1,89	48,07 <sup>BCa</sup> ±1,47	52,13 <sup>ABa</sup> ±1,47	31,26 <sup>Cb</sup> ±2,68
Cinzas (g/100 g)	A	18,91 <sup>ABb</sup> ±0,27	17,12 <sup>Ac</sup> ±0,04	20,94 <sup>Aa</sup> ±0,50	14,23 <sup>Bb</sup> ±1,92	15,91 <sup>Cb</sup> ±0,30	21,25 <sup>Aa</sup> ±0,29
	B	19,51 <sup>Aab</sup> ±0,30	18,17 <sup>Ab</sup> ±0,90	20,46 <sup>Aa</sup> ±0,23	19,14 <sup>Ab</sup> ±0,31	17,52 <sup>Bc</sup> ±0,41	20,15 <sup>ABa</sup> ±0,41
	C	17,46 <sup>Cb</sup> ±0,58	17,93 <sup>Aab</sup> ±0,27	18,96 <sup>Ba</sup> ±0,31	20,59 <sup>Aa</sup> ±2,18	18,87 <sup>Aa</sup> ±0,11	18,06 <sup>BCa</sup> ±1,50
	D	18,58 <sup>ABa</sup> ±0,40	17,04 <sup>Ab</sup> ±0,15	17,99 <sup>BCa</sup> ±0,10	20,92 <sup>Aa</sup> ±0,25	15,44 <sup>Cc</sup> ±0,60	17,50 <sup>Cb</sup> ±0,38
	E	18,79 <sup>ABa</sup> ±0,79	18,09 <sup>Aa</sup> ±0,24	17,92 <sup>Ca</sup> ±0,46	19,06 <sup>Aa</sup> ±0,39	17,38 <sup>Bb</sup> ±0,48	17,44 <sup>Cb</sup> ±0,55
	F	17,96 <sup>ABa</sup> ±0,22	13,32 <sup>Bb</sup> ±0,91	16,26 <sup>Da</sup> ±0,01	16,93 <sup>ABa</sup> ±0,71	12,47 <sup>Db</sup> ±0,53	12,70 <sup>Db</sup> ±1,25
Cloretos (g/100 g)	A	15,88 <sup>Bb</sup> ±0,46	15,04 <sup>Ab</sup> ±1,31	18,75 <sup>Aa</sup> ±1,15	11,74 <sup>Cc</sup> ±1,78	14,80 <sup>ABb</sup> ±0,37	18,60 <sup>Aa</sup> ±0,15
	B	16,22 <sup>ABa</sup> ±0,03	17,59 <sup>Aa</sup> ±0,93	18,85 <sup>ABa</sup> ±2,03	15,27 <sup>Ba</sup> ±0,69	15,33 <sup>ABa</sup> ±2,14	18,35 <sup>Aa</sup> ±0,86
	C	15,24 <sup>Bb</sup> ±0,65	17,12 <sup>Aa</sup> ±0,32	17,54 <sup>ABa</sup> ±0,64	17,00 <sup>ABa</sup> ±1,73	16,38 <sup>ABa</sup> ±0,89	15,64 <sup>Ba</sup> ±1,55
	D	16,65 <sup>ABa</sup> ±0,92	15,62 <sup>Aa</sup> ±0,75	16,92 <sup>ABa</sup> ±0,58	19,81 <sup>Aa</sup> ±0,02	13,61 <sup>BCc</sup> ±0,90	16,33 <sup>ABb</sup> ±0,55
	E	18,15 <sup>Aa</sup> ±0,81	15,97 <sup>Aa</sup> ±1,06	16,53 <sup>ABa</sup> ±0,12	17,14 <sup>ABa</sup> ±0,80	16,84 <sup>Aa</sup> ±0,45	16,28 <sup>ABa</sup> ±0,72
	F	18,47 <sup>Aa</sup> ±1,27	12,11 <sup>Bb</sup> ±1,14	15,70 <sup>Ba</sup> ±0,07	16,75 <sup>ABa</sup> ±0,36	12,50 <sup>Cb</sup> ±0,85	12,39 <sup>Cb</sup> ±0,53
Lipídios totais (g/100 g)	A	0,76 <sup>BCb</sup> ±0,08	3,50 <sup>ABa</sup> ±0,98	1,42 <sup>Dab</sup> ±0,07	14,22 <sup>Aa</sup> ±1,44	8,31 <sup>ABb</sup> ±0,71	5,69 <sup>Cb</sup> ±0,30
	B	0,31 <sup>Cb</sup> ±0,06	5,17 <sup>Aa</sup> ±1,03	1,58 <sup>Db</sup> ±0,05	0,57 <sup>Dc</sup> ±0,08	9,82 <sup>Aa</sup> ±0,13	5,32 <sup>Cb</sup> ±0,33
	C	2,41 <sup>ABb</sup> ±0,87	4,70 <sup>Aa</sup> ±0,05	4,78 <sup>Aa</sup> ±0,31	9,44 <sup>Bb</sup> ±0,14	6,03 <sup>Cc</sup> ±0,13	11,02 <sup>Ba</sup> ±0,17
	D	0,63 <sup>Cb</sup> ±0,11	2,07 <sup>Ba</sup> ±0,53	2,57 <sup>Ca</sup> ±0,09	3,27 <sup>Cc</sup> ±0,05	7,80 <sup>Bb</sup> ±0,15	11,36 <sup>Ba</sup> ±0,19
	E	3,21 <sup>Aa</sup> ±0,48	1,24 <sup>Bb</sup> ±0,15	1,97 <sup>Db</sup> ±0,07	4,51 <sup>Cb</sup> ±0,41	5,16 <sup>Cb</sup> ±0,51	11,98 <sup>Ba</sup> ±1,01
	F	1,47 <sup>BCb</sup> ±0,17	1,02 <sup>Bb</sup> ±0,30	3,39 <sup>Ba</sup> ±0,05	4,03 <sup>Cb</sup> ±0,55	5,91 <sup>Cb</sup> ±0,41	29,59 <sup>Aa</sup> ±1,89
Proteína bruta (g/100 g)	A	27,09 <sup>Aa</sup> ±2,79	29,85 <sup>Aa</sup> ±0,07	26,20 <sup>CDa</sup> ±0,37	21,40 <sup>Bc</sup> ±0,02	28,86 <sup>ABa</sup> ±0,78	26,17 <sup>Ab</sup> ±0,04
	B	27,69 <sup>Ab</sup> ±0,11	29,89 <sup>Aa</sup> ±0,21	26,90 <sup>BCc</sup> ±0,01	27,10 <sup>Aa</sup> ±1,29	26,48 <sup>Ba</sup> ±0,09	25,88 <sup>Aa</sup> ±0,04
	C	27,27 <sup>Ab</sup> ±0,08	28,69 <sup>Ba</sup> ±0,17	25,99 <sup>CDc</sup> ±0,09	23,80 <sup>Bb</sup> ±0,74	27,84 <sup>ABa</sup> ±0,41	24,77 <sup>Bb</sup> ±0,02
	D	31,16 <sup>Aa</sup> ±0,52	29,52 <sup>ABab</sup> ±0,51	28,03 <sup>Bb</sup> ±0,35	29,51 <sup>Aa</sup> ±0,49	28,44 <sup>ABa</sup> ±0,20	22,89 <sup>Cb</sup> ±0,17
	E	31,19 <sup>Aa</sup> ±0,22	28,90 <sup>ABb</sup> ±0,01	25,44 <sup>Dc</sup> ±0,02	27,61 <sup>Aa</sup> ±0,71	28,10 <sup>ABa</sup> ±0,24	21,68 <sup>Db</sup> ±0,49
	F	29,51 <sup>Ab</sup> ±0,21	29,33 <sup>ABc</sup> ±0,22	32,72 <sup>Aa</sup> ±0,51	29,10 <sup>Aa</sup> ±0,59	27,93 <sup>ABa</sup> ±1,18	23,95 <sup>Bb</sup> ±0,10

\*A, B e C – amostras de feiras livres e C, D e E – amostras de supermercados; Média ± desvio padrão; letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre os lotes de uma mesma amostra ( $p \leq 0,05$ ), para cada região muscular; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre as amostras de um mesmo lote ( $p \leq 0,05$ ).

Por outro lado, as amostras D, E e F, que foram obtidas em supermercados, estavam embaladas com filme plástico, sobre bandejas de isopor e em ambiente climatizado (18-23°C), sob refrigeração ( $\pm 4^\circ\text{C}$ ) e congelada ( $-10^\circ\text{C}$ ), respectivamente. Dessa forma, considerando que a cadeia do frio foi mantida durante todo o tempo de comercialização do produto, apenas as amostras E e F atendiam o que preconiza a legislação.

O constituinte que apresentou a maior variação na composição do produto foi o teor de lipídeos, independentemente do local de comercialização, do lote e da região (dorso ou ventre) analisada. Segundo Oliveira et al. (2014), do ponto de vista tecnológico, o elevado teor de lipídios é uma característica importante para a determinação da vida útil do produto, pois a oxidação de lipídios acarreta a produção de compostos orgânicos indesejáveis, nas regiões consideradas gordas. De maneira geral, as variações observadas podem ser atribuídas a fatores como: idade do animal, sexo, dieta, fonte de captura (pesca artesanal/piscicultura) e sazonalidade (VISENTAINER et al., 2005).

A composição do produto indica que a proteína é o constituinte majoritário, tanto na região dorsal (25,44 – 32,72 g/100 g), quanto na ventral (21,40 – 29,51 g/100 g), independente do lote e da amostra analisada. Resultado semelhante foi observado por Martins et al. (2017), que também constataram que o pirarucu é uma excelente fonte de proteína, por apresentar um perfil de aminoácidos balanceado, constituído por 49% de aminoácidos essenciais.

Os valores obtidos são da mesma ordem de grandeza dos valores observados por Nunes et al. (2012), em amostras de pirarucu salgado-seco, sendo: 46,99 g/100 g de umidade, 18,82 g/100 g de cinzas, 7,31 g/100 g de lipídios e 29,49 g/100 g de proteínas. No estudo os autores não analisaram separadamente as regiões dorsal e ventral do produto, o que justifica a maior divergência observada para o teor de lipídios.

### 3.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Os valores das propriedades físico-químicas, utilizadas como parâmetros de qualidade para o pirarucu salgado-seco são apresentados na Tabela 2. Produtos saturados com NaCl apresentam valores de atividade de água ( $a_w$ ) próximos a 0,75, em temperaturas entre 15 a 27°C (CHIRIFE; RESNIK, 2006), o que foi observado por aproximadamente 85% das amostras analisadas. Em geral; independente do lote e região analisada; as amostras obtidas em supermercados, onde as temperaturas de armazenamento eram inferiores, apresentaram valores de  $a_w$  estatisticamente superiores. Além do maior controle de temperatura no armazenamento destes produtos, a diminuição da temperatura provoca a redução da

solubilidade do sal, o que justifica o aumento da  $a_w$ . Comportamento semelhante foi reportado por Sabadini et al. (2001), que observaram  $a_w$  de 0,79 a 10°C e de 0,74 a 20°C, em carne salgada e desidrata.

Para o pH, embora tenham sido observadas diferenças significativas entre as amostras, tanto em relação a procedência, quanto em relação ao lote, todas as amostras apresentaram pH superior a 6, o que classifica o pirarucu salgado-seco como um alimento de baixa acidez (MÁRSICO et al., 2009). Os níveis de pH e de  $a_w$  observados ( $a_w > 0,6$ ) são condições que não garantem a estabilidade microbiológica do produto (FRANCO; LADGRAF, 2008), o que demanda um controle mais rigoroso nas condições de armazenamento.

O valor do pH é usado como indicador do grau de frescor ou deterioração de pescado *in natura* ou processados, uma vez que um pH próximo a neutralidade é indicativo de frescor e um pH básico é indicativo da ocorrência de processos degradativos, resultantes da ação de enzimas e bactérias e das mudanças na concentração de íons hidrogênio e hidroxila livres (LATIFA et al., 2014). Os valores encontrados foram ligeiramente superiores aos observados por Mársico et al. (2009) em amostras de bacalhau salgado, cuja faixa variou de 5,7 a 6,0. Binici e Kaya (2018) avaliaram peixes da espécie *Squalius cephalus* salgados, por salga seca e por salga úmida, estocadas por 120 dias, e encontraram valores máximos pH de 7 e 8, respectivamente. Em um estudo conduzido por Bilgin et al. (2007) foi observado maior valor de pH na truta salgada por salga em salmoura do que na truta salgada por salga seca.

A acidez total titulável também fornece informações importantes quanto ao estado de conservação de um alimento, desde que analisada juntamente com outros parâmetros, uma vez um processo de decomposição altera quase sempre a concentração dos íons de hidrogênio, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação (ACHINEWHU; OBOH, 2002; BINICI; KAYA, 2017). Variações nos valores de pH, como o observado nas amostras comerciais de pirarucu salgado-seco, é indicativo de atividade de bactérias deteriorantes produtoras de ácido.

A determinação de Bases Voláteis Totais (N-BVT) pode ser usada como uma indicação do grau de frescor e conservação de pescado, pois são produzidas por enzimas endógenas e de origem bacteriana, sendo responsáveis pela perda do frescor e pelo aparecimento dos primeiros sinais de deterioração em pescado. Isso é atribuído à produção de compostos nitrogenados, sendo os mais frequentes: a trimetilamina, a dimetilamina, a amônia e os ácidos voláteis (CICERO et al., 2014). Os valores de N-BVT para a região ventral foram, de maneira geral, estatisticamente superiores aos observados na região dorsal, mesmo quando originadas de uma mesma amostra.

**Tabela 2.** Propriedades físico-químicas das amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco.

Parâmetros (Amostra)	Região Dorsal			Região Ventral			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 1	Lote 2	Lote 3	
Atividade de água	A	0,74 <sup>BCb</sup> ±0,02	0,75 <sup>Da</sup> ±0,01	0,75B <sup>Ca</sup> ±0,01	0,74 <sup>Bb</sup> ±0,02	0,75 <sup>CDa</sup> ±0,01	0,75 <sup>Ca</sup> ±0,01
	B	0,74 <sup>BCb</sup> ±0,01	0,75 <sup>Da</sup> ±0,01	0,74 <sup>Db</sup> ±0,01	0,74 <sup>Bb</sup> ±0,03	0,75 <sup>Ca</sup> ±0,01	0,74 <sup>Db</sup> ±0,01
	C	0,74 <sup>Cb</sup> ±0,02	0,74 <sup>Eb</sup> ±0,02	0,75 <sup>Ba</sup> ±0,01	0,74 <sup>Bb</sup> ±0,01	0,74 <sup>Db</sup> ±0,01	0,75 <sup>Ca</sup> ±0,01
	D	0,76 <sup>ABb</sup> ±0,01	0,77 <sup>Ca</sup> ±0,02	0,75 <sup>Bc</sup> ±0,01	0,75 <sup>Bc</sup> ±0,01	0,76 <sup>Ba</sup> ±0,01	0,75 <sup>Bb</sup> ±0,01
	E	0,76 <sup>ABCa</sup> ±0,02	0,78 <sup>Ba</sup> ±0,01	0,77 <sup>Aa</sup> ±0,01	0,75 <sup>Bb</sup> ±0,01	0,76 <sup>Ba</sup> ±0,01	0,77 <sup>Aa</sup> ±0,01
	F	0,77 <sup>Aa</sup> ±0,01	0,79 <sup>Aa</sup> ±0,01	0,74 <sup>CDb</sup> ±0,01	0,77 <sup>Aa</sup> ±0,01	0,80 <sup>Aa</sup> ±0,01	0,74 <sup>Db</sup> ±0,01
pH	A	6,24 <sup>Cb</sup> ±0,01	6,82 <sup>ABa</sup> ±0,04	6,26 <sup>BCb</sup> ±0,01	6,40 <sup>Db</sup> ±0,03	6,56 <sup>Da</sup> ±0,02	6,25 <sup>BCc</sup> ±0,04
	B	6,70 <sup>Ab</sup> ±0,03	6,77 <sup>Ba</sup> ±0,03	6,32 <sup>ABc</sup> ±0,01	6,78 <sup>Aa</sup> ±0,02	6,74 <sup>Ba</sup> ±0,03	6,31 <sup>BCb</sup> ±0,04
	C	6,47 <sup>Bb</sup> ±0,03	6,82 <sup>ABa</sup> ±0,02	6,27 <sup>BCc</sup> ±0,01	6,58 <sup>Bb</sup> ±0,02	6,70 <sup>Ba</sup> ±0,01	6,34 <sup>ABc</sup> ±0,02
	D	6,43 <sup>Bb</sup> ±0,01	6,95 <sup>Aa</sup> ±0,02	6,35 <sup>Ac</sup> ±0,02	6,42 <sup>Db</sup> ±0,02	6,91 <sup>Aa</sup> ±0,01	6,25 <sup>BCc</sup> ±0,03
	E	6,21 <sup>Cb</sup> ±0,07	6,50 <sup>Ca</sup> ±0,10	6,37 <sup>Aab</sup> ±0,05	6,20 <sup>Eb</sup> ±0,02	6,48 <sup>Ea</sup> ±0,01	6,43 <sup>Aa</sup> ±0,03
	F	6,64 <sup>Aa</sup> ±0,07	6,42 <sup>Cb</sup> ±0,07	6,21 <sup>Cc</sup> ±0,01	6,50 <sup>Cb</sup> ±0,01	6,64 <sup>Ca</sup> ±0,02	6,22 <sup>Cc</sup> ±0,05
Acidez total titulável (meq NaOH 0,1N/100g)	A	6,43 <sup>Ca</sup> ±0,37	6,03 <sup>Aab</sup> ±0,31	5,29 <sup>Cb</sup> ±0,17	5,41 <sup>Cb</sup> ±0,21	6,22 <sup>CDa</sup> ±0,46	5,70 <sup>Cab</sup> ±0,25
	B	7,49 <sup>Bb</sup> ±0,13	9,44 <sup>Ba</sup> ±0,47	8,11 <sup>Bb</sup> ±0,23	6,45 <sup>Cb</sup> ±0,21	7,71 <sup>Ba</sup> ±0,44	7,32 <sup>Ba</sup> ±0,20
	C	10,08 <sup>Ab</sup> ±0,20	11,40 <sup>Aa</sup> ±0,33	5,96 <sup>Cc</sup> ±0,20	7,84 <sup>Bb</sup> ±0,09	14,72 <sup>Aa</sup> ±0,35	7,55 <sup>Bb</sup> ±0,10
	D	10,28 <sup>Aa</sup> ±0,20	7,66 <sup>Cb</sup> ±0,18	9,52 <sup>Aa</sup> ±0,81	6,60 <sup>Cb</sup> ±0,31	6,81 <sup>BCb</sup> ±0,10	10,21 <sup>Aa</sup> ±0,18
	E	10,59 <sup>Aa</sup> ±0,37	4,75 <sup>Ec</sup> ±0,09	5,87 <sup>Cb</sup> ±0,35	12,12 <sup>Aa</sup> ±0,98	5,46 <sup>Db</sup> ±0,21	5,93 <sup>Cb</sup> ±0,35
	F	10,76 <sup>Aa</sup> ±0,37	6,06 <sup>Db</sup> ±0,31	5,38 <sup>Cb</sup> ±0,17	11,77 <sup>Aa</sup> ±0,18	6,19 <sup>CDb</sup> ±0,28	3,93 <sup>Dc</sup> ±0,29
N-BVT (mg N/100 g)	A	24,21 <sup>Ca</sup> ±3,96	30,33 <sup>Ca</sup> ±0,17	21,10 <sup>Da</sup> ±0,14	22,26 <sup>Dab</sup> ±1,43	25,38 <sup>Da</sup> ±0,36	20,96 <sup>Eb</sup> ±0,06
	B	54,92 <sup>Aa</sup> ±0,34	34,98 <sup>BCc</sup> ±1,11	39,06 <sup>Bb</sup> ±0,09	49,01 <sup>Aa</sup> ±5,75	32,13 <sup>Cb</sup> ±0,36	33,88 <sup>Cb</sup> ±0,17
	C	44,21 <sup>Bb</sup> ±0,36	63,46 <sup>Ab</sup> ±3,07	40,29 <sup>Aa</sup> ±0,41	42,30 <sup>ABb</sup> ±0,70	60,90 <sup>Aa</sup> ±1,25	40,27 <sup>Bc</sup> ±0,41
	D	30,34 <sup>Ca</sup> ±4,67	39,60 <sup>Da</sup> ±1,09	39,12 <sup>Ba</sup> ±0,10	30,28 <sup>CDb</sup> ±1,06	39,09 <sup>Ba</sup> ±0,34	38,93 <sup>Aa</sup> ±0,16
	E	24,06 <sup>Ca</sup> ±1,41	5,54 <sup>Db</sup> ±0,36	24,05 <sup>Ca</sup> ±0,30	23,63 <sup>Da</sup> ±2,13	2,77 <sup>Fb</sup> ±0,71	23,21 <sup>Ca</sup> ±0,07
	F	52,93 <sup>Aa</sup> ±1,09	5,79 <sup>Dc</sup> ±0,36	19,93 <sup>Eb</sup> ±0,09	35,37 <sup>BCa</sup> ±0,72	4,78 <sup>Ec</sup> ±0,36	14,81 <sup>Fb</sup> ±0,27
TBARS (mg MDA/kg)	A	2,03 <sup>Ba</sup> ±0,01	1,96 <sup>Aa</sup> ±0,07	1,12 <sup>Bb</sup> ±0,21	3,21 <sup>Ba</sup> ±0,21	2,20 <sup>Bb</sup> ±0,15	1,12 <sup>Bc</sup> ±0,15
	B	0,75 <sup>Cb</sup> ±0,01	1,13 <sup>Ba</sup> ±0,04	0,62 <sup>BCc</sup> ±0,01	0,81 <sup>Db</sup> ±0,05	1,50 <sup>Ca</sup> ±0,04	0,83 <sup>Bb</sup> ±0,02
	C	1,71 <sup>Ba</sup> ±0,07	0,63 <sup>Cc</sup> ±0,02	1,23 <sup>Bb</sup> ±0,03	3,09 <sup>Ba</sup> ±0,05	0,76 <sup>Dc</sup> ±0,02	1,25 <sup>Bb</sup> ±0,10
	D	1,75 <sup>Ba</sup> ±0,09	0,50 <sup>Cb</sup> ±0,03	0,27 <sup>Cc</sup> ±0,10	2,25 <sup>Ca</sup> ±0,01	0,83 <sup>Db</sup> ±0,10	0,66 <sup>Bb</sup> ±0,15
	E	3,11 <sup>Aa</sup> ±0,42	2,05 <sup>Ab</sup> ±0,09	1,17 <sup>Bb</sup> ±0,04	4,96 <sup>Aa</sup> ±0,13	2,77 <sup>Ab</sup> ±0,01	2,36 <sup>Bb</sup> ±0,11
	F	1,53 <sup>Bb</sup> ±0,02	1,16 <sup>Bb</sup> ±0,10	4,02 <sup>Aa</sup> ±0,34	2,92 <sup>Ba</sup> ±0,23	1,26 <sup>Ca</sup> ±0,03	4,63 <sup>Aa</sup> ±1,30

\* A, B e C – amostras de feiras livres e C, D e E – amostras de supermercados; Média ± desvio padrão; letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre os lotes de uma mesma amostra ( $p \leq 0,05$ ), para cada região muscular; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre as amostras de um mesmo lote ( $p \leq 0,05$ ); NaOH: hidróxido de sódio; N: nitrogênio; MDA: malonaldeído.

O regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe fresco (BRASIL, 1997) estabelece um limite máximo de 30 mg N/100 g para N-BVT. Como base neste limite, 58% das amostras analisadas não atenderam à legislação, sendo 36% para amostras oriundas de feiras livres e 22% para amostras obtidas em supermercados, e 30% para amostras da região dorsal e 28% para amostras da região ventral. Assim, os resultados de N-BVT indicam um maior nível de deterioração para os produtos comercializados em feiras livres; porém os níveis de deterioração para as regiões dorsal e ventral foram praticamente os mesmos. Comportamento similar foi reportado por Nunes et al. (2012), que observaram valores de N-BVT nas faixas de 5,67 a 29,61 mg/100 g e de 6,93 a 49,14 mg/100 g, para amostras de pirarucu salgado-seco obtidas em supermercados e feiras livres, respectivamente.

Em relação ao teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), os valores observados para a região ventral foram superiores aos observados para a região dorsal, o que é atribuído as maiores concentrações de gordura na região ventral (Tabela 1); uma vez que o TBARS expressa o avanço de degradações oxidativas (OSAWA et al., 2005). Os valores de TBARS obtidos para as amostras analisadas foram superiores aos observados por Nunes et al. (2012), para amostras de pirarucu salgado-seco, o que indica que o controle do avanço de processos oxidativos no produto, está menos eficiente do que há oito anos atrás.

Segundo Connell (1990), níveis de TBARS superiores a 1-2 mg MDA/kg do pescado são capazes de alterar atributos como textura e odores indicativos de deterioração. Porém, a dificuldade que os consumidores têm para identificar atributos sensoriais de deterioração, faz com que eles adquiram o produto em inadequadas condições para consumo. Tomando como base o limite de 2 mg MDA/kg, 36% das amostras do produto analisado não atenderam aos padrões sensoriais mínimos; sendo 11% para amostras oriundas de feiras livres e 25% para amostras obtidas em supermercados, e 11% para amostras da região dorsal e 25% para amostras da região ventral. Estes resultados indicam níveis mais elevados de deterioração oxidativa, para a porção ventral do produto.

## 3.3 PARÂMETROS DE COR

Os valores obtidos para parâmetros de cor instrumental das amostras de pirarucu salgado-seco analisadas são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Parâmetros de cor instrumental das amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco.

Parâmetro (Amostra)	Região dorsal*			Região ventral*			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 1	Lote 2	Lote 3	
L*	A	44,55 <sup>BCb</sup> ±1,97	41,77 <sup>Bb</sup> ±2,76	52,29 <sup>Aa</sup> ±0,54	36,15 <sup>Bb</sup> ±0,53	50,76 <sup>Aab</sup> ±8,27	54,51 <sup>Aa</sup> ±1,50
	B	39,87 <sup>Cb</sup> ±3,49	54,85 <sup>ABa</sup> ±4,98	51,04 <sup>Aa</sup> ±1,02	37,65 <sup>Bb</sup> ±1,25	54,90 <sup>Aa</sup> ±1,79	51,52 <sup>Aa</sup> ±2,36
	C	49,47 <sup>ABa</sup> ±0,93	47,63 <sup>Ba</sup> ±3,20	50,73 <sup>Aa</sup> ±3,48	49,86 <sup>Aa</sup> ±0,62	48,00 <sup>Aa</sup> ±3,28	48,97 <sup>Aa</sup> ±3,88
	D	51,58 <sup>ABa</sup> ±3,41	54,46 <sup>ABa</sup> ±0,79	51,88 <sup>Aa</sup> ±4,58	45,97 <sup>Aa</sup> ±3,09	58,34 <sup>Aa</sup> ±1,74	53,27 <sup>Aa</sup> ±5,75
	E	53,33 <sup>Aa</sup> ±2,02	61,93 <sup>Aa</sup> ±0,59	57,83 <sup>Aa</sup> ±4,15	47,70 <sup>Aa</sup> ±2,05	60,49 <sup>Aa</sup> ±4,73	51,62 <sup>Aa</sup> ±6,9
	F	50,70 <sup>ABa</sup> ±1,51	52,24 <sup>ABa</sup> ±5,10	56,00 <sup>Aa</sup> ±4,80	48,02 <sup>Aa</sup> ±1,90	50,99 <sup>Aa</sup> ±9,32	46,83 <sup>Aa</sup> ±3,81
a*	A	1,08 <sup>Ac</sup> ±0,12	2,96 <sup>Aa</sup> ±0,08	1,66 <sup>Cb</sup> ±0,23	3,72 <sup>Aa</sup> ±0,02	2,96 <sup>BCDa</sup> ±0,20	2,98 <sup>ABa</sup> ±1,72
	B	1,03 <sup>Aa</sup> ±0,83	3,98 <sup>Aa</sup> ±4,15	2,83 <sup>BCa</sup> ±0,36	2,33 <sup>Aa</sup> ±1,28	1,78 <sup>CDa</sup> ±0,18	3,29 <sup>ABa</sup> ±0,85
	C	2,72 <sup>Ab</sup> ±0,24	3,06 <sup>Aab</sup> ±0,05	4,86 <sup>ABa</sup> ±0,82	2,93 <sup>Aa</sup> ±1,69	6,29 <sup>Aa</sup> ±0,51	5,09 <sup>Aa</sup> ±1,17
	D	1,34 <sup>Aa</sup> ±0,82	3,21 <sup>Aa</sup> ±0,86	2,18 <sup>Ca</sup> ±0,14	4,07 <sup>Aa</sup> ±1,27	3,41 <sup>BCa</sup> ±0,35	1,33 <sup>Ba</sup> ±1,37
	E	1,60 <sup>Aa</sup> ±1,25	0,33 <sup>Aa</sup> ±0,18	0,53 <sup>Ca</sup> ±0,29	2,50 <sup>Aa</sup> ±1,16	1,22 <sup>Da</sup> ±0,13	3,59 <sup>ABa</sup> ±0,75
	F	1,73 <sup>Ab</sup> ±0,78	1,25 <sup>Ab</sup> ±0,01	6,70 <sup>Aa</sup> ±1,92	1,79 <sup>Ab</sup> ±0,30	4,48 <sup>ABa</sup> ±1,02	1,98 <sup>ABb</sup> ±1,03
b*	A	8,11 <sup>Bb</sup> ±1,18	12,86 <sup>BCa</sup> ±0,01	13,83 <sup>Aa</sup> ±1,07	14,60 <sup>ABa</sup> ±0,30	17,70 <sup>ABa</sup> ±1,67	16,21 <sup>BCa</sup> ±2,51
	B	8,27 <sup>BCb</sup> ±0,10	16,90 <sup>ACa</sup> ±1,03	15,07 <sup>Aa</sup> ±1,61	10,12 <sup>Ba</sup> ±0,45	18,93 <sup>ABa</sup> ±2,04	15,94 <sup>BCa</sup> ±1,08
	C	17,53 <sup>Ab</sup> ±0,49	17,99 <sup>Ab</sup> ±0,90	21,92 <sup>Aa</sup> ±1,64	18,41 <sup>Ab</sup> ±0,08	23,50 <sup>Aa</sup> ±1,30	19,61 <sup>ABb</sup> ±0,48
	D	13,75 <sup>ABCab</sup> ±1,83	17,88 <sup>Aa</sup> ±2,00	13,21 <sup>Ab</sup> ±0,66	17,48 <sup>Aa</sup> ±1,48	18,90 <sup>ABa</sup> ±0,37	13,49 <sup>Cb</sup> ±1,68
	E	18,98 <sup>Aa</sup> ±3,59	17,85 <sup>Aa</sup> ±1,48	16,37 <sup>Aa</sup> ±1,32	18,99 <sup>Aa</sup> ±2,96	19,02 <sup>ABa</sup> ±1,90	21,40 <sup>Aa</sup> ±1,58
	F	14,90 <sup>ACa</sup> ±1,69	11,24 <sup>Ba</sup> ±0,63	20,56 <sup>Aa</sup> ±7,42	18,16 <sup>Aa</sup> ±1,05	16,79 <sup>Ba</sup> ±0,95	17,58 <sup>ABCa</sup> ±1,47
C*	A	8,19 <sup>Bb</sup> ±1,16	13,20 <sup>ABa</sup> ±0,03	13,93 <sup>BCa</sup> ±1,09	15,07 <sup>ABa</sup> ±0,29	17,95 <sup>Ba</sup> ±1,68	18,18 <sup>ABa</sup> ±0,88
	B	8,35 <sup>Ba</sup> ±0,20	17,57 <sup>Aa</sup> ±1,93	15,33 <sup>BCa</sup> ±1,64	10,43 <sup>Bb</sup> ±0,15	19,01 <sup>ABa</sup> ±2,05	16,78 <sup>BCa</sup> ±1,14
	C	17,74 <sup>Ab</sup> ±0,44	18,25 <sup>Ab</sup> ±0,88	22,46 <sup>Aa</sup> ±1,53	18,68 <sup>Ab</sup> ±0,35	24,33 <sup>Aa</sup> ±1,12	20,28 <sup>ABb</sup> ±0,71
	D	13,83 <sup>ABab</sup> ±2,64	18,17 <sup>Aa</sup> ±2,12	13,39 <sup>Cb</sup> ±0,62	17,98 <sup>Aa</sup> ±1,43	19,20 <sup>ABa</sup> ±0,42	13,59 <sup>Cb</sup> ±1,82
	E	19,07 <sup>Aa</sup> ±3,68	17,85 <sup>Aa</sup> ±1,48	16,38 <sup>BCa</sup> ±1,32	19,16 <sup>Aa</sup> ±3,68	19,05 <sup>ABa</sup> ±1,90	21,71 <sup>Aa</sup> ±1,47
	F	15,01 <sup>ABa</sup> ±1,77	11,30 <sup>Ba</sup> ±0,63	17,86 <sup>Ba</sup> ±2,43	18,25 <sup>Aa</sup> ±1,07	17,40 <sup>Ba</sup> ±0,65	17,71 <sup>Ba</sup> ±1,58
h°	A	82,28 <sup>Aa</sup> ±1,96	77,04 <sup>Ab</sup> ±0,31	83,19 <sup>BCa</sup> ±0,42	75,52 <sup>ABa</sup> ±0,06	80,50 <sup>ABa</sup> ±0,24	80,02 <sup>ABa</sup> ±4,43
	B	81,80 <sup>Aa</sup> ±3,97	77,48 <sup>Aa</sup> ±12,49	79,38 <sup>Ca</sup> ±0,66	71,99 <sup>Bc</sup> ±0,38	84,90 <sup>Aa</sup> ±0,34	80,29 <sup>ABb</sup> ±0,79
	C	81,19 <sup>Aa</sup> ±1,01	80,36 <sup>Aa</sup> ±0,69	77,43 <sup>Ca</sup> ±2,52	76,05 <sup>ABa</sup> ±2,02	74,97 <sup>Ba</sup> ±1,95	75,51 <sup>Ba</sup> ±3,00
	D	84,01 <sup>Aa</sup> ±1,90	79,93 <sup>Bc</sup> ±1,54	80,60 <sup>BCb</sup> ±1,05	77,50 <sup>ABa</sup> ±4,67	79,83 <sup>ABa</sup> ±0,78	84,78 <sup>Aa</sup> ±4,76
	E	85,55 <sup>Aa</sup> ±2,83	88,97 <sup>Aa</sup> ±0,46	89,90 <sup>Aa</sup> ±2,53	82,72 <sup>Aa</sup> ±2,56	86,51 <sup>Aa</sup> ±0,20	80,37 <sup>ABa</sup> ±2,59
	F	83,53 <sup>Aa</sup> ±2,14	84,15 <sup>Aa</sup> ±0,42	85,99 <sup>ABa</sup> ±4,48	83,38 <sup>Aa</sup> ±0,66	75,01 <sup>Bb</sup> ±4,07	83,71 <sup>ABa</sup> ±2,72

\* A, B e C – amostras de feiras livres e C, D e E – amostras de supermercados; Média ± desvio padrão; Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre os lotes de uma mesma amostra ( $p \leq 0,05$ ), para cada região muscular; Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre as amostras de um mesmo lote ( $p \leq 0,05$ ).

Mudanças na coloração podem ser correlacionadas com alterações químicas e bioquímicas, que podem ocorrer durante o armazenamento e a comercialização de produtos alimentícios (PATHARE et al., 2013). Assim, a cor instrumental também pode ser utilizada como um indicador de qualidade tanto para produtos *in natura*, quanto para produtos processados (RIBEIRO et al., 2007; YAGIZ et al., 2009).

De acordo com os valores dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , o pirarucu salgado-seco é um produto escuro ( $L^* > 36$ ), com coloração vermelho/amarelada (valores positivos para  $a^*$  e  $b^*$ ). A região ventral, que apresentou os maiores valores de TBARS (Tabela 2), atribuídos aos maiores índices de oxidação lipídica (HUAMÁN et al., 2019), também apresentou os maiores valores para os parâmetros  $b^*$  e  $C^*$ , indicando a intensificação da cor amarela nesta porção do produto. Assim, os parâmetros de cor  $b^*$  e  $C^*$  figuram como potenciais indicadores para avaliar a qualidade do pirarucu salgado-seco, no que se refere ao avanço de processos oxidativos. Os valores do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) observados para todas as amostras analisadas indicam que o pirarucu salgado-seco é um produto com tendência a cor amarela ( $72^\circ - 90^\circ$ ). O parâmetro  $h^\circ$  assume valor  $0^\circ$  para a cor vermelha,  $90^\circ$  para o amarelo,  $180^\circ$  para o verde e  $270^\circ$  para o azul (LEÓN et al., 2006).

#### 3.4 PERFIL DE AMINAS BIOATIVAS

Dentre as nove aminas bioativas investigadas, apenas quatro foram identificadas nas amostras de pirarucu salgado-seco, sendo que todas elas eram aminas biogênicas: a putrescina (PUT), a cadaverina (CAD), a histamina (HIS) e a agmatina (AGM) (Tabela 4). A PUT e a CAD foram detectadas em todas as amostras analisadas; exceto na região dorsal da amostra E. PUT (1,79–186,92 mg/kg) e CAD (5,16–1869,36 mg/kg) também foram as principais aminas encontradas em amostras comerciais de pescado salgado-seco e pescado salgado nos estudos de Wu et al. (2016) e Koral et al. (2013), respectivamente. Segundo Park et al. (2010), aminas biogênicas como a PUT, a CAD, a HIS e a AGM são termorresistentes e, portanto, não são destruídas por tratamento térmico; sendo assim, é necessário atender os requisitos de temperatura ao longo de todas as etapas do processo produtivo para evitar que esses compostos sejam formados.

Entre os lotes e entre as amostras é possível observar uma grande variação dos resultados, o que pode ser atribuído à falta de padronização na produção e armazenamento do produto e às diferentes condições a que foram submetidos. No geral, os resultados não apresentaram uma tendência, o que também foi observado em outros estudos envolvendo aminas biogênicas (TSAI et al., 2006; SILVA et al., 2011; LIN et al., 2012). Em função desse

comportamento, o uso de um teste paramétrico poderia gerar resultados duvidosos, portanto, optou-se apenas pela apresentação das médias.

No caso do pirarucu salgado-seco uma atenção adicional em relação às boas práticas de fabricação se faz necessária, uma vez que o produto não passa por uma etapa de tratamento térmico. Segundo Glória (2005), as aminas biogênicas são formadas por aminação de aldeídos e transaminação de aldeídos ou cetonas, hidrólise de compostos nitrogenados, decomposição térmica e, principalmente, pela descarboxilação de aminoácidos, como resultado do metabolismo normal em animais, vegetais e micro-organismos.

Para pescado salgado-seco, a legislação brasileira estabelece limite apenas para histamina, cujos nível não deve ser superior a 200 mg/kg (BRASIL, 2019); limite este atendido por todas as amostras analisadas. Espécies dulcícolas, como o pirarucu, não são contempladas nesta legislação, apesar de terem grande relevância comercial e de apresentarem os aminoácidos precursores da histamina. Dessa forma, o aprofundamento dos estudos voltados para as aminas biogênicas, nesta espécie de peixe, pode oferecer subsídios à indústria pesqueira, bem como fornecer parâmetros que possam ser usados como marcadores de qualidade para o pirarucu *in natura* e para os produtos derivados.

**Tabela 4.** Aminas bioativas detectadas nas amostras da região dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco.

Amostra	Lote 1				Lote 2				
	PUT (mg/kg)	CAD (mg/kg)	HIS (mg/kg)	AGM (mg/kg)	PUT (mg/kg)	CAD (mg/kg)	HIS (mg/kg)	AGM (mg/kg)	
Região dorsal	A	63,92±2,23	43,49±0,41	3,97±0,28	ND	13,57±0,06	52,53±0,48	0,59±0,60	ND
	B	18,02±0,22	65,71±1,02	2,98±1,13	10,65±0,80	24,65±2,33	77,49±1,00	19,31±1,05	8,93±1,20
	C	14,28±0,16	54,27±0,62	6,64±0,08	ND	19,69±4,29	58,09±1,90	12,87±1,77	ND
	D	1,52±0,02	5,47±0,17	ND	ND	7,20±0,99	18,27±2,41	ND	ND
	E	ND	ND	ND	ND	4,12±0,52	21,41±1,78	2,00±0,14	ND
	F	7,11±0,47	43,32±4,03	1,85±1,01	ND	9,78±0,88	91,19±5,59	17,82±2,27	ND
Região ventral	A	58,13±7,87	84,56±6,47	3,29±0,53	ND	22,99±1,93	85,75±1,95	ND	ND
	B	18,75±2,55	83,93±6,28	13,55±0,71	9,40±0,72	26,19±1,68	80,21±6,33	22,99±1,22	10,46±2,10
	C	17,53±1,74	66,16±0,22	10,01±1,38	ND	12,52±1,90	62,32±1,90	19,08±2,88	ND
	D	5,71±1,12	22,61±3,01	4,05±1,17	1,08±0,50	2,90±1,16	8,69±2,81	ND	3,22±0,95
	E	9,55±3,57	24,57±3,92	ND	ND	5,70±0,67	43,51±3,06	ND	ND
	F	18,68±4,5	25,69±4,79	8,99±0,94	7,80±1,38	11,29±1,87	16,43±6,82	13,52±7,15	5,55±0,61

\* A, B e C – amostras de feiras livres e C, D e E – amostras de supermercados; PUT: putrescina; CAD: cadaverina; HIS: histamina; AGM: agmatina; ND: não detectado (<0,4 mg/kg).

Apesar do destaque dado à HIS, na legislação e em trabalhos com pescado (SHAKILA; VIJAYALAKSHMI; JEYASEKARAN, 2003; OLIVEIRA et al., 2014; CHEN et al., 2010; AMANI et al., 2018), o perfil de amins deve ser considerado, uma vez que a presença da CAD e da PUT pode potencializar a toxicidade da HIS (GLÓRIA et al., 1999; MAH et al., 2002). No geral, a CAD foi a amina majoritária no pirarucu salgado-seco, independe da região (dorso ou ventre) e do lote analisados. Esta amina está relacionada com a formação de compostos carcinogênicos (nitrosaminas), na presença de nitrito (MAH et al., 2002), que muitas vezes é adicionado a produtos salgado-secos. No caso do peixe salgado-seco a adição do nitrito ou do nitrato não é permitida, uma vez que estes conservantes não figuram entre os aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em pescado e produtos de pescado (BRASIL, 2019). No entanto, é comum encontrar peixes salgados-secos preparados com os denominados sais de cura (nitrito de sódio e/ou nitrato de sódio) que muitas vezes são adicionados indiscriminadamente sobre o peixe, o que pode representar um risco pra qualidade do produto e para o consumidor (GONÇALVES, 2011).

Kung et al. (2015) observaram grandes variações nos teores de amins biogênicas em peixe voador, as quais atingiram valores de 100,50 mg/kg para a PUT e 641,90 mg/kg para a CAD. Mah et al. (2002) observaram valores de 241 mg/kg e 665 mg/kg para PUT e CAD, respectivamente, em produtos de pescado seco e fermentado. Lin et al. (2012) avaliaram os níveis de amins biogênicas em produtos salgados de peixe e detectaram 9 amins, onde a majoritária foi a CAD (227,80 mg/kg), mas a PUT também foi encontrada (69,1 mg/kg).

Apesar dos teores de amins encontrados no pirarucu salgado-seco comercial não representarem riscos de intoxicação quando analisados isoladamente, o fato do produto permanecer armazenado por um longo tempo, em condições de temperatura e umidade favoráveis ao crescimento de micro-organismos produtores de descarboxilases, pode favorecer a produção de amins.

De maneira geral, as amostras A, B e C, comercializadas em feiras livre, à temperatura ambiente ( $\approx 30^{\circ}\text{C}$ ), apresentaram maiores quantidade de amins biogênicas, quando comparadas com as amostras comercializadas em supermercados, em ambiente climatizado (D), sob refrigeração (E) e sob congelamento (F). Além da disponibilidade de precursores (aminoácidos), a produção de amins biogênicas depende de fatores extrínsecos e intrínsecos, como a temperatura, o pH do meio, a aerobiose ou anaerobiose, a disponibilidade de fontes de carbono, a presença de fatores de crescimento e de micro-organismos que produzem enzimas descarboxilase e da fase de crescimento celular; entre outros (CHANG et al., 2008). O controle de apenas um desses fatores pode não ser suficiente para prevenir a formação de

aminas, sendo altamente recomendável o uso de tecnologias que promovam um controle de maneira bem eficiente (BUNKOVÁ et al., 2010).

#### 4. CONCLUSÃO

Neste estudo, amostras de pirarucu salgado-seco comercializados na região Norte do Brasil foram analisadas, visando identificar marcadores de qualidade que possam ser usados durante o processamento e a comercialização do produto. Os resultados da pesquisa indicam que, de maneira geral, o pirarucu salgado-seco não atende ao padrão de identidade e qualidade estabelecido pela legislação; o que indica deficiência nos controles durante o processamento e a comercialização do produto. Os diferentes níveis de N-BVT e de TBARS observados para as regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco indicam que estes parâmetros podendo ser utilizados como marcadores de qualidade para o produto; bem como os parâmetros de cor b\* e C\*, cujos valores indicaram maiores níveis de oxidação lipídica, na região ventral do produto. A presença das aminas biogênicas putrescina e cadaverina, em todas as amostras do produto indica de que estas aminas podem também ser utilizadas como marcadores de qualidade para o produto. Os resultados do estudo apontam para a necessidade da padronização do processo de salga do pirarucu, bem como para a necessidade de melhorar as boas práticas durante o processamento e as condições de armazenamento do pirarucu salgado-seco.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHINEWHU, S. C.; OBOH, C. A. (2002). Chemical, microbiological, and sensory properties of fermented fish products from *Sardinella* sp. in Nigeria. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 11, p. 53-59.
- AMANI, H.; KAMANI, M. H.; SAFARI, O.; VAKILCHAP, F.; ATASH, M. M. (2018). A comparative study on histamine levels of refrigerated trout fillets using competitive ELISA and HPLC methods. **Journal of Food Chemistry and Nanotechnology**, v. 4, p. 33-37.
- ANTONACOPOULOS, N.; VYNCKE, W. Z. (1989). Determination of volatile basic nitrogen in fish: A third collaborative study by the West European Fish Technologists' Association (WEFTA). **European Food Research and Technology**, v. 189, p. 309-316.
- AOAC. (2016). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 20 ed. Gaithersburg: AOAC INTERNATIONAL. 3100 p.
- ASHIE, I. N. A.; SMITH, J. P.; SIMPSON, B. K. (1996). Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 36, p. 87-121.
- BASTOS, J. R. Processamento e conservação do pescado. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, FAO. **Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes**. Brasília: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1988. cap. 7.

- BELLAGHA, S.; SAHLI, A.; FARHAT, A.; KECHAOU, N.; GLENZA, A. (2007). Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): experimental kinetics and modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 947-952.
- BINICI, A.; KAYA, G. K. (2017). Effect of brine and dry salting methods on the physicochemical and microbial quality of chub (*Squalius cephalus* Linnaeus, 1758). **Food Science Technology**, v. 38, p. 66-70.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº185, de 13 de maio de 1997. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe fresco (inteiro e eviscerado). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 19 de maio de 1997. Seção 1, p. 10.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 1, de 15 de janeiro de 2019. Aprova o Regulamento Técnico que fixa a identidade e as características de qualidade que deve apresentar o peixe salgado e o peixe salgado seco. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 18 de janeiro de 2019, Edição 13, Seção 1, p. 2. (a).
- BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução da Diretoria Colegiada nº 329, de 19 de dezembro de 2019. Estabelece os aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em pescado e produtos de pescado. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 26 de dezembro de 2019, Edição 249, Seção 1, p. 283. (b).
- BUNKOVÁ, L.; BUNKA, F.; KLCOVSKÁ, P.; MRKVICKA, V.; DOLEZAOLVÁ, M.; KRÁCMAR, S. (2010). Formation of biogenic amines by Gram-negative bacteria isolated from poultry skin. **Food Chemistry**, v. 121, p. 203-206.
- CHANG, S. C., KUNG, H. F., CHEN, H. C., LIN, C. S., TSAI, Y. H. (2008). Determination of histamine and bacterial isolation in swordfish fillets (*Xiphias gladius*) implicated in a food borne poisoning. **Food Control**, v. 19, p. 16-21.
- CHEN, H.-C.; HUANG, Y.-R.; HSU, H.-H.; LIN, C.-S.; CHEN, W.-C.; LIN, C.-M.; TSAI, Y.-H. (2010). Determination of histamine and biogenic amines in fish cubes (*Tetrapturus angustirostris*) implicated in a food-borne poisoning. **Food control**, v. 21, p. 13-18.
- CHIRIFE, J.; RESNIK, S. (2006). Unsaturated Solutions of Sodium Chloride as Reference Sources of Water Activity at Various Temperatures. **Journal of Food Science**, v. 49, p. 1486-1488.
- CHORILLI, M.; LEONARDI, G. R.; SALGADO, H. R. N. (2007). Radicais livres e antioxidantes: conceitos fundamentais para aplicação em formulações farmacêuticas e cosméticas. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 88, p. 113-118.
- CICERO, L. H.; FURLAN, E. F.; PRISCO, R. C. B.; NEIVA, C. R. P. (2014). Estudo das metodologias de destilação na quantificação do Nitrogênio das Bases Voláteis Totais em pescada, tilápia e camarão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 192-197.
- CONNELL, J. J. **Control of Fish Quality**. 4 ed. Nova Jersey: Wiley-Blackwell, 1995. 256 p.
- ESLICK, G. D.; HOWE, P. R. C.; SMITH, C.; PRIEST, R.; BENSOUSSAN, A. (2009). Benefits of fish oil supplementation in hyperlipidemia: a systematic review and meta-analysis. **International of Journal Cardiology**, v. 136, p. 4-16.
- FERRARI, C. K. B. (1998). Lipid oxidation in food and biological systems: general mechanisms and nutritional and pathological implications. **Revista Nutrição**, v. 11, p. 3-14.
- FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2009. 182 p.

- GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines. In: HUI, Y. H. **Handbook of Food Science, Technology and Engineering**. New York: CRC Press, 2005. v. 4, cap. 13, p. 1-38.
- GLÓRIA, M. B. A.; DAESCHEL, M. A.; CRAVEN, C.; HILDERBRAND JR., K. S. (1999). Histamine and other biogenic amines in albacore tuna. **Journal of Aquatic Food Products and Technology**, v. 8, p. 55-69.
- GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**. 1. ed. São Paulo: Atheneu, 2011. 624 p.
- HALÁSZ, A.; BARÁTH, A.; SIMON-SARKADI, L.; HOLZAPFEL, W. (1994). Biogenic amines and their production by microorganisms in food. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, p. 42-49.
- HUAMÁN, R.; ROSA, G. F.; PRENTICE, C. (2019). Avaliação e estabilidade da cor em filés de burriquete (*Pogonias cromis*) utilizando um sistema de visão computacional. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2015088.
- INHAMUNS, A. J.; FRANCO, M. R. B. (2001). Composition of total, neutral, and phospholipids in mapará (*Hypophthalmus* sp) from the Brazilian Amazonian area. **Journal Agriculture food chemistry**, v. 49, p. 4859-4863.
- KITIC, D.; JARDIM, D. C. P.; FAVETTO, G.J.; RESNIK, S. L.; CHIRIFE, J. (1986). Previsão teórica da atividade de água de soluço es salinas saturadas padrão a várias temperaturas. **Journal of Food Science**, v. 51, p. 1037-1041.
- KORAL, S.; TUFAN, B.; ŠČAVNIČAR, A.; KOČAR, D.; POMPE, M.; KÖSE, S. 2013. Investigation of the contents of biogenic amines and some food safety parameters of various commercially salted fish products. **Food Control**, v. 32, p. 597-606.
- KUNG, H. F.; HUANG, C.Y.; LIN, C. M.; LIAW, L. H.; LEE, Y. C.; TSAI, Y. H. (2015). The histamine content of dried flying fish products in Taiwan and the isolation of halotolerant histamine-forming bacteria. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, p. 335-342.
- LATIFA, G. A.; CHAKRABORTY, S. C.; BEGÜM, M.; NAHID, M. N.; FARID, F. B. (2014). Nutritional quality analysis of bangladeshi fish species, M. Tengra (Hamilton-Buchanan, 1822) preserved with different salt curing methods in laboratory condition. **American Journal of Food and Nutrition**, v. 2, p. 100-107.
- LAURITZSEN, K.; AKSE, L.; JOHANSEN, A.; JOENSEN, S.; SØRENSEN, N. K.; OLSEN, R. L. (2004). Physical and quality attributes of salted cod (*Gadus morhua* L.) as affected by the state of rigor and freezing prior to salting. **Food Research International**, v. 37, p. 677-688.
- LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEÓN, J. (2006). Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. **Food Research International**, v. 39, p. 1084-1091.
- LIN, C. S.; LIU, F. L.; LEE, Y. C.; HWANG, C. C.; TSAI, Y. H. (2012). Histamine contents of salted seafood products in Taiwan and isolation of halotolerant histamine-forming bacteria. **Food Chemistry**, v. 131, p. 574-579.
- LOURENÇO, L. F. H.; SOUSA, C. L.; SILVA, I. Q. (2008). Análises microbiológicas da carne de pirarucu (*Arapaima gigas*) seco/salgado comercializado em feiras e supermercados de Belém e elaboração de produto similar em laboratório visando estabelecer a vida de prateleira. **Revista Higiene Alimentar**, v. 22, p. 15-23.
- MAH, J. H.; HANA, H. K.; OHB, Y. J.; KIMC, M. G.; HWANG, H. J. (2002). Biogenic amines in Jeotkals, Korean salted and fermented fish products. **Food Chemistry**, v. 79, p. 239-243.

- MANFROI, L.; SILVA, P. H. A.; RIZZON, L. A.; SABAINI, P. S.; GLÓRIA, M. B. A. (2009). Influence of alcoholic and malolactic starter cultures on bioactive amines in Merlot wines. **Food Chemistry**, v. 116, p. 208-213.
- MÁRSICO, E. T.; SILVA, C.; BARREIRA, V. B.; MANTILLA, S. P. S.; MORAES, I. A. (2009). Physical-chemical quality parameters of salted and dried fish (codfish) traded by retail markets. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 68, p. 406-410.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **Food Science and Technology**, v. 62, p. 144-151.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2017). Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). **Food Science and Technology**, v. 37, p. 651-656.
- NGUYEN, M. V.; THORARINSDOTTIR, K. A.; GUDMUNSDOTTIR, A.; THORKELSSON, G.; ARASON, S. (2011). The effects of salt concentration on conformational changes in cod (*Gadus morhua*) proteins during brine salting. **Food Chemistry**, v. 125, p. 1013-1019.
- NUNES, E. S. C. L. N.; FRANCO, R. M.; MARSICO, E. T.; NEVES, M. S. (2012). Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas*) salgado seco comercializado em mercados varejistas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, p. 520-529.
- OLIVEIRA, P. R.; JESUS, R. S.; BATISTA, G. M.; LESSI, E. (2014). Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 67-74.
- OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E.; GONÇALVES, L. A. G. (2005). Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28, p. 655-663.
- PARK, J. S.; LEE, C. H.; KWON, E. Y.; LEE, H. J.; KIM, J. Y.; KIM, S. H. (2010). Monitoring the contents of biogenic amines in fish and fish products consumed in Korea. **Food Control**, v. 21, p. 1219-1226.
- PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60.
- PATIR, B.; INANLI, A. G.; OKSUZTEPE, G.; ILHAK, O. I. (2006). Microbiological and chemical qualities of salted Grey Mullet (*Chalcalburnus tarichii* Pallas, 1811). **International Journal of Science & Technology**, v. 1, p. 91-98.
- RIBEIRO, S. C. A.; RIBEIRO, C. F. A.; PARK, K. J.; ARAUJO, E. A. F.; TOBINAGA, S. (2007). Alteração da cor da carne de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) desidratada osmoticamente e seca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, p.125-135.
- RODRIGUES, M. J.; HO, P.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; VAZ-PIRES, P.; NUNES, M. L. (2003). Characterization and identification of microflora from soaked cod and respective salted raw materials. **Food Microbiology**, v. 20, p. 471-481.
- SABADINI, M. D. E.; HUBINGER, P. L. A.; CARVALHO Jr, B. C. (2001). Alterações da atividade de água e da cor da carne no processo de elaboração da carne salgada desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, p. 14-19.
- SHAKILA, R. J.; VIJAYALAKSHMI, K.; JEYASEKARAN, G. (2003). Changes in histamine and volatile amines in six commercially important species of fish of the

- Thoothukkudi coast of Tamil Nadu, India stored at ambient temperature. **Food Chemistry**, v. 82, p. 347-352.
- SILVA, T. M.; SABAINI, P. S.; EVANGELISTA, W. P.; GLORIA, M. B. A. (2011). Occurrence of histamine in Brazilian fresh and canned tuna. **Food Control**, v. 22, p. 323-327.
- TSAI, Y. H.; LIN, C. Y.; CHANG, S. C.; CHIEN, L. T.; LEE, T. M.; WEI, C. I. (2006). Histamine contents of fermented fish products in Taiwan and isolation of histamine-forming bacteria. **Food Chemistry**, v. 98, p. 64-70.
- TSAI, Y.-H.; LIN, C.-Y.; CHANG, S.-C.; CHEN, H.-C., KUNG, H.-F., WEI, C.-I. (2005) Occurrence of histamine and histamine-forming bacteria in salted mackerel in Taiwan. **Food Microbiology**, v. 22, p. 461-467.
- VISENTAINER, J. V.; SALDANHA, T.; BRAGAGNOLO, N.; FRANCO, M. R. B. (2005). Relação entre teores de colesterol em filés de tilápias e níveis de óleo de linhaça na ração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, p. 310-314.
- VYNCKE, W. (1970). Direct determination of the TBA value in trichloroacetic acid extract of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette, Seifen, Anstrichmittel, Malden**, v. 72, p. 1084-1087.
- WU, Y.; CHEN, Y.; LI, L.; YANG, X.; YANG, S.; LIN, W.; ZHAO, Y.; DENG, J. (2016). Study on biogenic amines in various dry salted fish consumed in China. **Journal of Ocean University of China**, v. 15, p. 681-689.
- YAGIZ, Y.; BALABAN, M.; KRISTINSSON, H. G.; WELT, B. A.; MARSHALL, M. R. (2009). Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 728-730.

# CAPÍTULO III

## Manuscrito 2: Caracterização e estabilidade físico-química e microbiológica do pirarucu salgado-seco

---

### 1 INTRODUÇÃO

O pirarucu é tradicionalmente comercializado na forma de ‘mantas’ salgadas-secas, em mercados e feiras livres; muitas vezes sem embalagem ou em embalagens inadequadas, e exposto a temperaturas e umidades relativas elevadas, que são típicas das regiões onde o produto é encontrado (NUNES et al., 2012). O processo de salga é uma das técnicas mais antigas de conservação de alimentos e baseia-se na difusão do sal para o interior dos tecidos, acompanhada da perda de água livre. Em geral, o pirarucu é submetido a salga logo após a captura, sem critérios higiênico-sanitários e tecnológicos definidos. Adicionalmente, é comum o pescado passar por processos de ressalga, até a comercialização final (LOURENÇO; SOUSA; SILVA, 2008; MARTINS; MARTINS; PENA, 2015).

Por ser a salga um método de remoção parcial da água, após este processo é realizado um processo de secagem complementar, onde o peixe salgado é exposto ao calor solar e ao movimento do ar, o que promove um fluxo simultâneo de calor e de massa e, conseqüente, a remoção da água da superfície do produto (BASTOS, 1988; MARTINS; MARTINS; PENA, 2015). Embora a salga e a secagem reduzam os riscos de contaminação e promovam um aumento na vida útil do pescado, o produto obtido tem uma umidade média da ordem de 50% (BASTOS, 1988; LIMA; SANT’ANA, 2011; BRASIL, 2019), o que pode ser um fator limitante para a conservação do pirarucu salgado-seco.

A redução do conteúdo de água e da atividade de água ( $a_w$ ), provocada pelos processos de salga e secagem complementar, inibe o desenvolvimento da maioria das bactérias patogênicas e deterioradoras, e bolores e leveduras; inativa muitas enzimas e diminui a velocidade de várias reações químicas, prolongando a vida útil do pescado (OGAWA; MAIA, 1999). Embora o sal previna o desenvolvimento microbiano no produto, inúmeros micro-organismos podem não ser inibidos e, assim promover a deterioração e a perda de qualidade do produto, e assim oferecer risco à saúde (PATIR et al., 2006; RODRIGUES et al., 2003).

A qualidade do peixe salgado-seco não está apenas relacionada a fatores inerentes ao pescado, mas também à manipulação e às etapas pós-captura e de processamento, como: a

concentração e a qualidade do sal e as condições de higiene do processo; o transporte e o armazenamento; bem como a qualidade da matéria-prima e os aspectos morfológicos de cada espécie (BELLAGHA et al., 2007; NGUYEN et al., 2011). No caso do pirarucu, o conhecimento dos aspectos morfológicos do peixe é de extrema importância para aplicação de processos, uma vez que a região dorsal é proteica e a região ventral é lipídica (MARTINS; MARTINS; PENA, 2017).

O pescado é um alimento altamente perecível, por apresentar uma microbiota natural potencialmente deterioradora, grande quantidade de água e importantes substratos para micro-organismos (OGAWA; MAIA, 1999; INHAMUNS; FRANCO, 2001; ESLICK et al., 2009). A deterioração do pescado pode ser ocasionada por alterações bioquímicas (oxidação lipídica e hidrólise de proteínas) ou pela atividade metabólica de micro-organismos (ASHIE et al., 1996), que podem promover a formação de compostos não voláteis, como as aminas bioativas, que em concentrações elevadas podem causar efeitos adversos a saúde humana (HALÁSZ et al., 1994; HUI, 2005).

Os metabólitos formados constituem ferramentas analíticas importantes para avaliar o frescor e, conseqüentemente, a qualidade do peixe salgado-seco. Considerando o fato de não haver padrões de qualidade específicos para peixes dulcícolas, como o pirarucu, o conhecimento da composição e dos mecanismos de transformação envolvidos no processamento e na estocagem do pirarucu salgado-seco são de fundamental importância para estimar a validade comercial do produto.

As considerações feitas sobre o processo de salga e secagem artesanal do pirarucu e sobre as condições de armazenamento e comercialização, associadas à escassez de estudos relacionados a qualidade do pirarucu salgado-seco e à importância econômica dessa espécie motivaram o desenvolvimento desta pesquisa. Neste sentido, o objetivo da pesquisa foi avaliar o impacto do processo de salga seca das regiões dorsal e ventral do pirarucu, empregando diferentes proporções de sal refinado e sal grosso; e, adicionalmente, estudar o processo de secagem complementar do produto salgado, bem como as possíveis alterações no pirarucu salgado-seco; durante o período de estocagem, em atmosfera padrão.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 MATÉRIA-PRIMA**

O pirarucu utilizado na pesquisa foi adquirido em um reservatório de piscicultura localizado em Benevides (Pará, Brasil) (01°21'41"S e 48°14'41"W) e transportado para a

Universidade Federal do Pará (Belém, Pará, Brasil) (01°27'21"S e 48°30'16"W), em recipiente isotérmico contendo gelo em escamas.

## 2.2 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA

As regiões dorsal (fração magra) e ventral (fração gorda) do pirarucu (MARTINS; MARTINS; PENA, 2017), usadas posteriormente nos processos de salga e secagem, foram previamente caracterizadas, segundo as metodologias analíticas da AOAC (2016), para: *umidade, cinzas, lipídios, proteína bruta* (fator de conversão nitrogênio-proteína de 6,25) e *cloretos*. Foram ainda determinados os indicadores de qualidade: *pH, acidez total titulável, atividade de água ( $a_w$ ), bases voláteis totais (N-BVT) e teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)*.

## 2.3 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DA MATÉRIA-PRIMA

Para contagem microbiana, 10 g da amostra foram homogeneizadas manualmente e de forma asséptica, em 90 mL de água peptonada salina 0,1% (Kasvi®, São José dos Pinhais, PR, Brasil) por 2 minutos, para obter uma diluição de  $10^{-1}$ , a partir da qual foram obtidas diluições seriadas até  $10^{-8}$  (VANDERZANT; SPLITTSTOESSER, 1992).

Para contagem de bactérias halofílicas (BH), 0,1 mL de cada diluição foi inoculado em placas de Petri estéreis contendo PCA Agar (Difco®, EUA), enriquecido com 10% de NaCl (Dinâmica®, Indaiatuba, SP, Brasil) e suplementado com 0,2% de nistatina (Prati-Donaduzzi®, Toledo, PR, Brasil), para inibir o crescimento de fungos. As placas foram incubadas invertidas a 30°C por 5 dias. Os resultados foram expressos em log UFC/g de amostra.

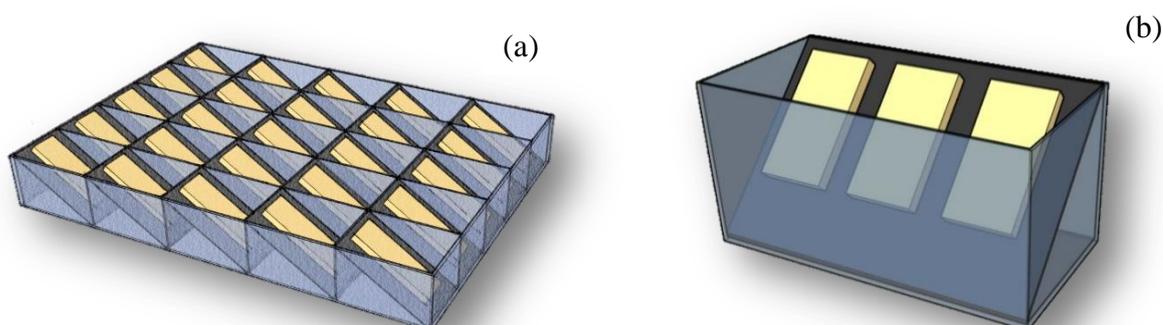
Para a contagem de fungos halofílicos totais (FHT), 0,1 mL de cada diluição foi inoculada em placas de Petri estéreis contendo Ágar PDA (Neogen®, Indaiatuba, SP, Brasil), enriquecido com 10% de NaCl (Dinâmica®, Indaiatuba, SP, Brasil) e suplementado com 100 mg/L de cloranfenicol (Sigma-Aldrich®, St. Louis, MI, EUA), para a inibição do crescimento bacteriano. As placas foram incubadas invertidas a 10°C por 5 dias. Os resultados foram expressos em log UFC/g de amostra.

## 2.4 PROCESSO DE SALGA

Nesta etapa da pesquisa, primeiramente foi avaliada a influência da granulometria do sal sobre o processo de salga do pirarucu. Para isso, filés das regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu, com dimensões de 60 mm de comprimento, 20 mm de largura e 5 mm de espessura, foram submetidos individualmente à salga seca. Cinco proporções sal

refinado/sal grosso (1:0 – 1ª condição, 3:1 – 2ª condição, 1:1 – 3ª condição, 1:3 – 4ª condição e 0:1 – 5ª condição) foram utilizadas e previamente definidas por teste preliminares. Uma massa de sal (NaCl) correspondente a 30% da matéria seca foi disposta uniformemente sobre a superfície dos pedaços (MARTINS; MARTINS; PENA, 2015). Após a aplicação do sal, os pedaços do peixe foram mantidos sobre uma superfície inclinada, conforme esquema da Figura 1-a, para favorecer a drenagem do exsudado formado. O conjunto foi mantido a 5°C, em um uma DBO, durante todo o processo de salga. Para avaliar a evolução da salga e a qualidade microbiológica do produto, amostras do produto foram coletadas com 2, 4, 5, 6 e 10 dias de contato. Foram avaliados a umidade,  $a_w$ , o teor de cloretos e a contagem de microorganismos halofílicos (bactérias e fungos halofílicos totais), pelas metodologias descritas nos itens 2.2 e 2.3.

Na segunda etapa desta pesquisa, filés da região dorsal (porção magra) e da região ventral (porção gorda) do músculo do pirarucu, com dimensões de 100 mm de comprimento, 60 mm de largura e 10 mm de espessura, foram submetidos à salga. A proporção de sal fino e são grosso utilizada foi definida a partir dos resultados obtidos anteriormente. Os filés salgados foram mantidos sobre superfície inclinada (Figura 1-b) a 5 °C.



**Figura 1.** Representação esquemática dos sistemas de salga utilizados na primeira (a) e na segunda (b) etapa da pesquisa.

## 2.5 PROCESSO DE SECAGEM

Os filés da região dorsal e ventral do pirarucu, salgados na etapa anterior, foram submetidos à secagem complementar, em secador convectivo de bandeja com circulação de ar a 50°C. Para avaliar o comportamento da secagem do produto, amostras foram pesadas a cada 5 min, nos 30 primeiros minutos; a cada 10 min nos próximos 60 min de secagem; e a cada 20 min, a partir desse tempo. O processo foi interrompido quando a variação de massa atingiu níveis de 1% (equilíbrio). A umidade da amostra foi determinada antes e após a secagem. As

curvas de secagem foram construídas a partir da correlação entre a relação de umidade (MR) (Equação 1) e o tempo de secagem.

$$MR = \frac{m - m_e}{m_i - m_e} \quad (1)$$

onde, MR é a relação de umidade (adimensional); m,  $m_i$  e  $m_e$  são as umidade em um tempo t, inicial e no equilíbrio (g/100 g bs), respectivamente.

Para realizar a modelagem das curvas de secagem durante o período de taxa decrescente é assumido que o mecanismo principal seja a difusão de umidade. Quando a difusão de umidade controla a taxa de secagem, durante o período de taxa decrescente, a equação para difusão, representadas pela segunda lei de Fick para difusão, em estado não estacionário, pode ser utilizada (Equação 2), considerando a umidade inicial uniforme, a difusividade efetiva constante e a amostra com geometria de placa plana (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2002).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(\frac{-(2i+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

onde, MR é relação de umidade (adimensional);  $D_{\text{eff}}$  é coeficiente de difusividade efetiva ( $\text{m}^2/\text{s}$ ); L é a espessura da placa (m); e t é tempo de processo (s).

Para um tempo de secagem suficientemente longo, a segunda Lei de Fick da difusão, truncada no primeiro termo (Equação 3), fornece uma boa estimativa da solução. Assim, o valor de  $D_{\text{eff}}$  foi calculado a partir da declividade da curva  $\ln(MR)$  versus tempo de secagem (t), por regressão linear (MUJUMDAR, 2014).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (3)$$

## 2.6 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO PRODUTO

Para avaliar o comportamento higroscópico do produto, isotermas de adsorção de umidade foram obtidas para as regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco. Os dados de adsorção de umidade foram obtidos em equipamento analisador de sorção de vapor (Aqualab VSA, Decagon, Puma, WA, USA), pelo método DVS (*Dynamic Vapor Sorption*), a 25°C. Inicialmente, uma amostra do produto triturado foi submetida à desidratação complementar, em dessecador com sílica gel, sob vácuo, a 25°C por 24 h. As isotermas foram obtidas em um

intervalo de  $a_w$  de 0,10 a 0,75, com aproximadamente 1 g de amostra, pesado diretamente na microbalança do equipamento, em cápsula de aço.

A umidade equivalente à monocamada ( $m_o$ ), para os processos de adsorção de umidade, foi determinada por regressão linear, a partir da forma linearizada da equação de BET (Equação 4) (BRUNAUER; EMMET; TELLER, 1938).

$$\frac{a_w}{(1-a_w) \cdot m} = \frac{1}{m_o \cdot C} + \frac{(C-1)}{m_o \cdot C} \cdot a_w \quad (4)$$

onde,  $m$ : umidade (g H<sub>2</sub>O/100 g b.s);  $a_w$ : atividade de água (adimensional);  $m_o$ : umidade da monocamada (g H<sub>2</sub>O/100 g bs); e  $C$ : constante relacionada ao calor de sorção.

Foi avaliado o ajuste modelo de GAB (Equação 5) (ANDERSON, 1946), aos dados de adsorção de umidade das regiões dorsal e ventral do filé de pirarucu salgado-seco. Para avaliar a qualidade do ajuste foram utilizados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro médio relativo quadrático (RMSE) (Equação 6).

$$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (c - 1) \cdot k \cdot a_w)]} \quad (5)$$

onde,  $m$ : umidade (g H<sub>2</sub>O/100 g bs),  $a_w$ : atividade de água (adimensional),  $m_o$ : umidade da monocamada (g H<sub>2</sub>O/100 g bs), e  $C$ : constante relacionada ao calor de sorção.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{\text{exp},i} - Y_{\text{pre},i})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

onde,  $Y_{\text{exp},i}$  e  $Y_{\text{pre},i}$ : são os dados experimentais e os preditos pelo modelo testado, respectivamente;  $N$ : número medidas experimentais; e  $n$ : número de parâmetros do modelo.

## 2.7 ESTABILIDADE DO PIRARUCU SALGADO-SECO

Os produtos obtidos após o processo de salga e secagem complementar foram embalados em sacos de polietileno e as amostras foram mantidas nas temperaturas de 10°C e 25°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ), por um período de 60 dias. Os parâmetros de qualidade ( $pH$ , *acidez total titulável* e *TBARS*) e a contagem de micro-organismos halofílicos foram determinados a 5, 15, 30, 40, 50, 60 dias de estocagem.

## 2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das análises de composição foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste complementar de Tukey, para comparação de médias. Os valores da difusividade efetiva da umidade, para a secagem, e o valor de  $m_o$  foram estimados por

regressão linear, utilizando o *software* Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, 2012, California, USA). Para as demais análises estatísticas foi utilizado o *software* STATISTICA Kernel versão 7.1 (StatSoft Inc., 2006, Tulsa, OK, EUA). Os parâmetros avaliados ao longo do período de armazenamento (60 dias) também foram submetidos a ANOVA.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PIRARUCU

A composição das regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu utilizado na pesquisa é apresentada na Tabela 1. De acordo com os resultados, a proteína é o constituinte majoritário das regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu. Teores de proteína da mesma ordem de grandeza foram observados para outras espécies de peixes de água doce, típicos da região Amazônica, como: o pacu (16,8%) (GUINAZI et al., 2006), a caranha (17,0%) (LIMA; MUJICA; LIMA, 2012) e o curimatã (18,7%) (MACHADO; FORESTI, 2009).

Oliveira et al. (2014) avaliaram a composição do músculo do pirarucu e encontraram valores de umidade de 79,51 e 77,88%; 17,56 e 16,10% de proteínas; 0,62 e 2,49% de lipídios; e 0,87 e 0,84% de cinzas, para as regiões dorsal e ventral do peixe, respectivamente. Maciel et al. (2012) e Martins, Martins e Pena (2015) observaram 79,58 e 75,53% de umidade; 17,01 e 21,36% de proteínas; 0,86 e 2,60% de lipídios e 0,65 e 0,86% de cinzas, respectivamente, para a região dorsal do pirarucu. As variações observadas na composição do pirarucu podem ser atribuídas a fatores como: idade do animal, sexo, dieta, fonte de captura (pesca artesanal/piscicultura) e sazonalidade (MOREIRA et al., 2001; VISENTAINER et al., 2005), bem como a região do músculo do peixe analisada.

**Tabela 1.** Composição centesimal das regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu.

Parâmetros (g/100g)*	Região dorsal	Região ventral
Umidade	77,95 <sup>a</sup> ± 0,56	62,98 <sup>b</sup> ± 1,97
Cinzas	1,05 <sup>a</sup> ± 0,20	0,88 <sup>a</sup> ± 0,05
Lipídios	2,25 <sup>b</sup> ± 0,03	16,20 <sup>a</sup> ± 0,20
Proteína Bruta	18,96 <sup>a</sup> ± 0,37	14,75 <sup>b</sup> ± 0,91
Cloretos	0,56 <sup>a</sup> ± 0,03	0,57 <sup>a</sup> ± 0,02

\* Média ± desvio padrão; letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ).

Não foi observada diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre as regiões dorsal e ventral, para os teores de cinzas e de cloretos, porém umidade, lipídios e proteínas apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), para as duas regiões. Merece destaque o teor de lipídios, que foi sete

vezes maior na região ventral, o que é atribuído ao fato do pirarucu apresentar um depósito de gordura nessa região. Comportamento semelhante foi observado por Martins, Martins e Pena (2017), que analisaram as diferentes partes do músculo do pirarucu e observaram que apenas a região do ventre; mais especificamente a porção denominada de ventrecha; apresentou teor expressivo de gordura.

A região dorsal do pirarucu apresentou um teor de bases voláteis totais (N-BVT) de  $8,23 \pm 0,72$  mg N/100 g, TBARS de  $0,10 \pm 0,97$  mg de malonaldeído - MDA/kg do peixe fresco, pH de  $6,45 \pm 0,15$  e  $a_w$  de  $0,99 \pm <0,01$ . A região ventral, por sua vez, apresentou um teor de N-BVT de  $7,94 \pm 0,23$  mg N/100 g, TBARS de  $0,14 \pm 1,02$  mg MDA/kg do peixe fresco, pH de  $6,36 \pm 0,42$  e  $a_w$  de  $0,93 \pm <0,01$ . Os valores de N-BVT ( $< 30$  mg N/100 g) e de pH ( $< 6,8$ ) atenderam os padrões exigidos pela legislação brasileira (BRASIL, 1997) e confirmaram o grau de frescor do peixe utilizado.

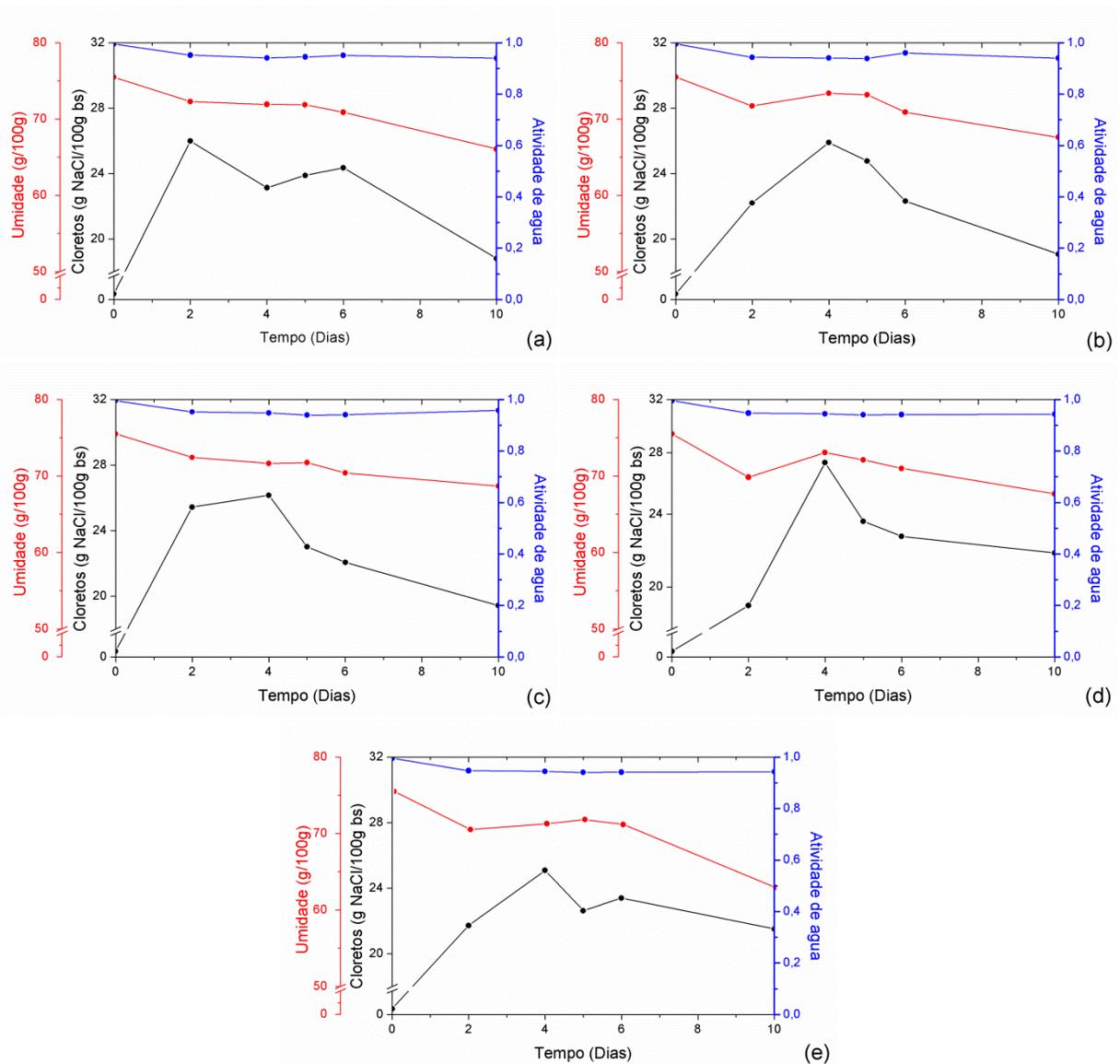
O TBARS não tem um limite estabelecido pela legislação, acima do qual o músculo do pescado possa ser considerado oxidado, sob o ponto de vista lipídico, ou impróprio para o consumo. Porém, valores de TBARS da ordem de grandeza observada nas regiões dorsal e ventral indicam baixas quantidades de MDA no músculo do peixe. O MDA é um dos principais produtos da decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poli-insaturados (OSAWA et al., 2005).

Os valores de pH  $> 6$  e de  $a_w > 0,90$  classificam o pirarucu como produto altamente perecível e que necessita ser submetido a um processo de conservação, como a salga e a secagem, para aumentar a sua vida útil. Neste contexto, o conhecimento da composição e das características físico-químicas do pirarucu, bem como de aspectos nutricionais, é importante para que se possa definir condições adequadas para os processos.

### 3.2 PROCESSO DE SALGA

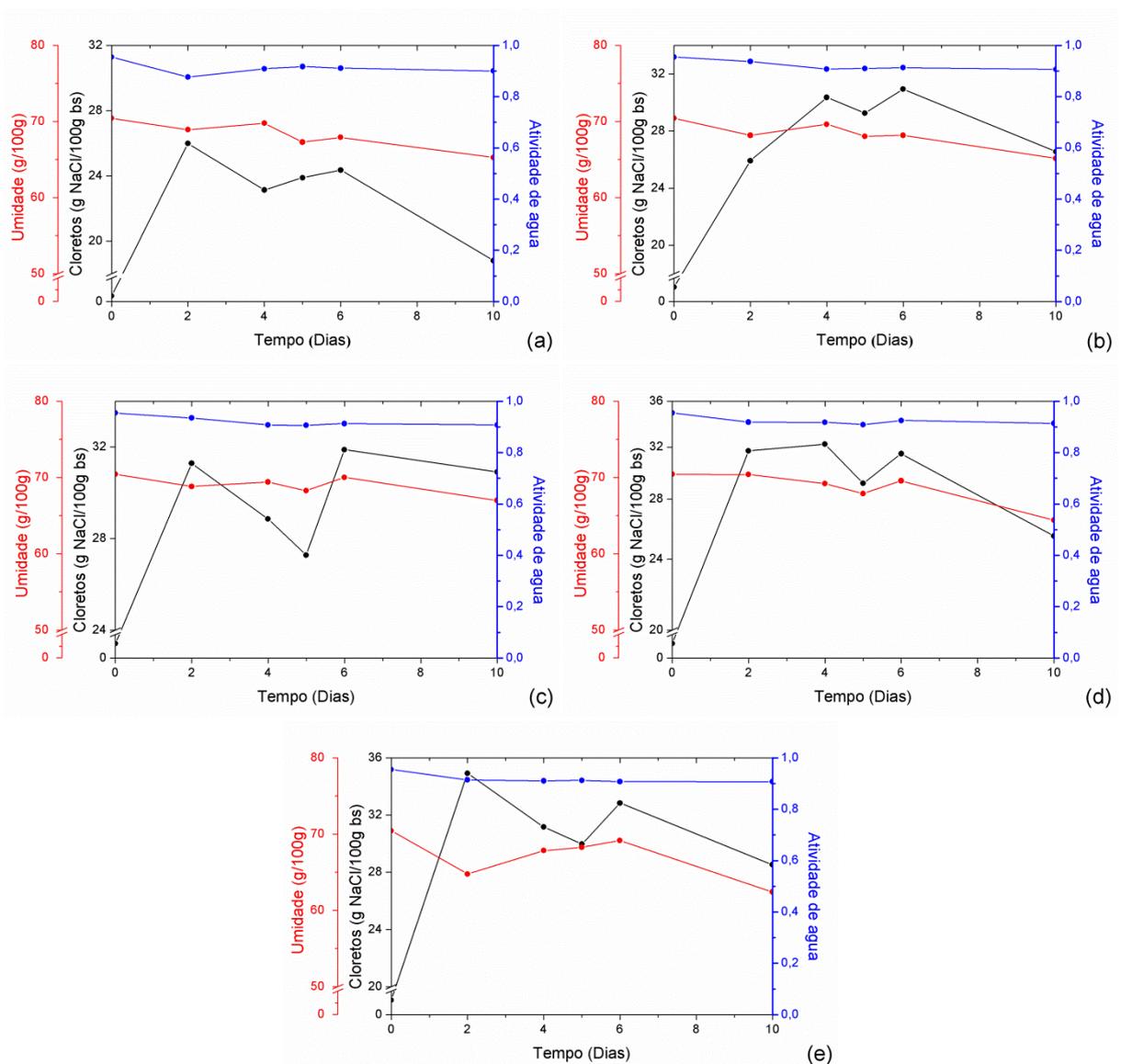
As cinéticas dos processos de salga das regiões dorsal e ventral do filé do pirarucu, para as propriedades umidade, cloretos e  $a_w$ , são apresentadas nas Figuras 2 e 3. De maneira geral, foi observado um aumento no teor de cloretos, com consequente redução da umidade, o qual foi mais acentuado até o quarto dia e é atribuído a força motriz responsável pela difusão da água e dos sólidos, entre o produto e o sal adicionado (gradientes de pressão osmótica e de concentração). Com o avanço do processo esses gradientes vão diminuindo gradativamente (RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002) e um decréscimo no teor de cloretos pode ser observado, o que está associado formação do exsudado.

Na salga da região dorsal, é possível observar que a umidade e a  $a_w$  apresentaram comportamento semelhante ao longo do processo, em todas as condições estudadas, com uma redução acentuada no início do processo. Em seguida, a  $a_w$  se manteve praticamente constante até o final do processo, e a umidade permaneceu constante até o sexto dia, a partir do qual foi observado um declínio, principalmente para a 5ª condição de salga (somente sal grosso) (Figura 2-e). O teor de sal, por sua vez, aumentou gradualmente, até atingir o equilíbrio, o que aconteceu aos dois dias de processo, para a 1ª condição (somente sal fino) (Figura 2-a) e para a 3ª condição (proporção sal fino:sal grosso de 1:1) (Figura 2-c), e aos quatro dias, para as demais condições.



**Figura 2.** Cinética de salga da região dorsal do filé do pirarucu. (a) 1ª condição, (b) 2ª condição, (c) 3ª condição, (d) 4ª condição, (e) 5ª condição.

Na salga da região ventral (Figura 3), a umidade reduziu gradualmente até o final do processo, enquanto a  $a_w$  diminuiu nos dois primeiros dias e se manteve praticamente constante até o final do processo. O teor de sal aumentou acentuadamente, até atingir um valor máximo aos dois dias de processo; exceto para a 2ª condição (proporção sal fino:sal grosso de 3:1) (Figura 3-b), na qual o máximo foi observado aos quatro dias de processo. Os níveis de umidade atingidos pela região dorsal do músculo do peixe foram inferiores aos observados para a região ventral. Comportamento semelhante foi observado para o teor de cloretos, sendo observada uma maior impregnação na região ventral. A  $a_w$ , por sua vez, atingiu praticamente os mesmos níveis nas duas regiões; independente da condição de salga utilizada.



**Figura 3.** Cinética de salga da região ventral do filé de pirarucu. (a) 1ª condição, (b) 2ª condição, (c) 3ª condição, (d) 4ª condição, (e) 5ª condição.

### 3.3 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO PRODUTO

No processo de salga, o sal penetra na estrutura do alimento, enquanto a água é eliminada do produto, o que promove a redução da água disponível para a ocorrência das reações químicas, bioquímicas e microbianas, proporcionando assim uma maior estabilidade ao produto (ANDRÉS et al., 2005). As características do sal utilizado (pureza, concentração, granulometria e microflora) influenciam diretamente no processo de salga. A microflora acompanhante do sal pode favorecer o aparecimento da coloração vermelha indesejável nos produtos proteicos salgados (OGAWA; MAIA, 1999; GONÇALVES, 2011).

O desenvolvimento de fungos (FHT) e bactérias halofílicas (BH) foi acompanhado durante os 10 dias de salga dos filés, para as porções dorsal e ventral do pirarucu. Considerando que a legislação exige uma concentração mínima de 12 g/100 g de sal no pescado salgado seco, as bactérias e fungos moderadamente halofílicas foram os micro-organismos de interesse para esse estudo. Não há limite estabelecido na legislação para FHT e BH, entretanto a presença e os níveis detectados desses micro-organismos podem ser utilizados como indicadores higiênico-sanitários fundamentais para o acompanhamento da qualidade do pirarucu salgada-seco, nas etapas de processamento, armazenamento e distribuição.

Os resultados da pesquisa para FHT indicaram valores inferiores ao nível de detecção da técnica; assim foram negativos para todas as condições de salga, ao longo dos 10 dias; independente da região do músculo analisada. Todo micro-organismo tem um nível de  $a_w$  limitante para sua proliferação e embora tenha ocorrido a redução da  $a_w$  do produto em função do processo de salga, os níveis obtidos ao final do processo ainda foram elevados (dorso:  $a_w = 0,94 \pm 0,01$  e ventre:  $a_w = 0,91 \pm 0,01$ ), e favoráveis para desenvolvimento de bactérias. A maioria das bactérias se desenvolve em  $a_w$  mínima de 0,91 - 0,88; as leveduras em 0,88 e os bolores em 0,80 - 0,70; bactérias halofílicas em 0,75; e bolores xerofílicos em 0,65 (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2020; RAHMAN, 2007).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da pesquisa de BH durante os 10 dias de salga, onde é possível observar que menores taxas de crescimento de BH foram observadas quando maiores concentrações de sal fino ou iguais quantidades de sal fino e grosso foram utilizadas. Na região ventral foi observado o crescimento de BH a partir do quarto dia de salga para a 1ª, 4ª e 5ª condição de salga, e a partir do quinto dia de salga para 2ª e 3ª condição.

A partir do quinto dia de salga foi possível detectar manchas laranjas em todas as amostras. Segundo Franco e Landgraf (2008), as bactérias halofílicas não são consideradas patogênicas, mas são comumente encontradas em produtos salgados, onde são responsáveis

pela produção de liminosidade, odor desagradável e da coloração avermelhada, atribuída ao pigmento bactorrubeína, que é produzido.

**Tabela 2.** Contagem de bactérias halofílicas (log UFC/g) ao longo de 10 dias de salga das regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu.

Tempo de salga (dias)	Condição da salga				
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
Região dorsal					
<i>In natura</i>			4,54		
2	4,53	4,31	4,01	4,52	5,09
4	4,75	4,21	5,70	5,73	5,79
5	4,60	6,57	5,79	6,18	5,88
6	5,65	5,51	6,10	7,00	5,98
10	7,97	7,83	7,25	7,35	7,29
Região ventral					
<i>In natura</i>			<1		
2	<1	<1	<1	<1	<1
4	3,59	<1	<1	3,41	4,93
5	4,93	4,89	5,08	5,70	4,97
6	5,01	4,73	4,76	5,40	6,70
10	7,72	6,72	6,58	5,79	7,40

\* Condições de salga baseada nas proporções sal refinado/sal grosso: 1<sup>a</sup> condição–1:0, 2<sup>a</sup> condição–3:1, 3<sup>a</sup> condição–1:1, 4<sup>a</sup> condição–1:3 e 5<sup>a</sup> condição–0:1.

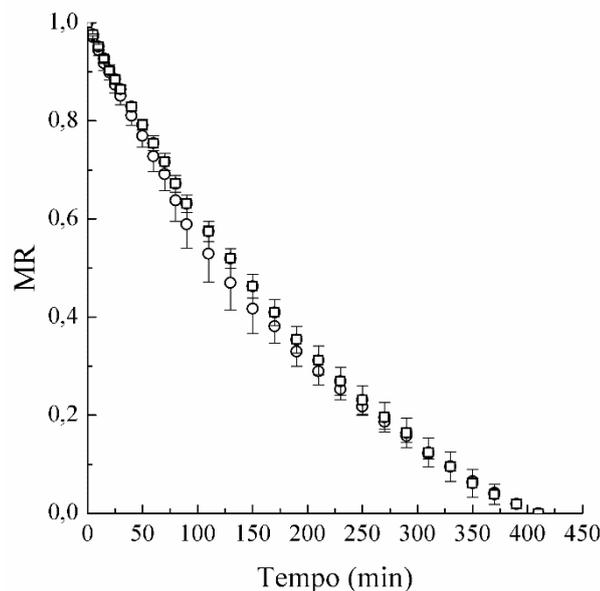
Os níveis de redução da umidade e da  $a_w$ , associados aos níveis de acréscimo de NaCl e das taxas de crescimento de BH até o segundo dia de salga (quando em geral foram atingidos os maiores níveis de NaCl), das regiões dorsal e ventral do pirarucu (Figuras 2 e 3 e Tabela 2), indicam a 3<sup>a</sup> condição de salga (proporção de sal fino:sal grosso de 1:1) como a mais adequada e, portanto, esta foi utilizada para a salga dos filés, que posteriormente foram secos e armazenados para a avaliação da estabilidade.

Além disso, o sal grosso penetra mais lentamente no tecido, o que promove uma salga mais uniforme. No entanto, devido menor velocidade de penetração, o processo pode promover alterações indesejáveis, como a oxidação das gorduras e a ação de micro-organismos (OGAWA; MAIA, 1999). Por sua vez, o sal fino tem alto poder de penetração, em função da granulometria, mas a coagulação superficial de proteínas pode impedir o acesso do sal para o interior do músculo (GONÇALVES, 2011). Isso ratifica a indicação do uso de partes iguais de sal fino e sal grosso, na salga seca do músculo do pirarucu.

### 3.4 PROCESSO DE SECAGEM

As curvas de secagem das regiões dorsal e ventral do filé de pirarucu salgado, obtidas a 50°C, são apresentadas na Figura 4. O comportamento das curvas de secagem foi

semelhante, independente da região do músculo e os valores da difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) para o processo de secagem, que foram de  $1,06 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $R^2 = 0,992$ ), para a região dorsal, e de  $1,01 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $R^2 = 0,986$ ), para a região ventral, confirmam que a mesma resistência foi oferecida para a saída da água de ambas as regiões do músculo do peixe. Tanto a região dorsal quanto a ventral apresentam elevado teor proteico e a redução das forças de ligação proteína-água, causada pelo aquecimento, favorece a perda de água do produto (GALART et al., 2007).



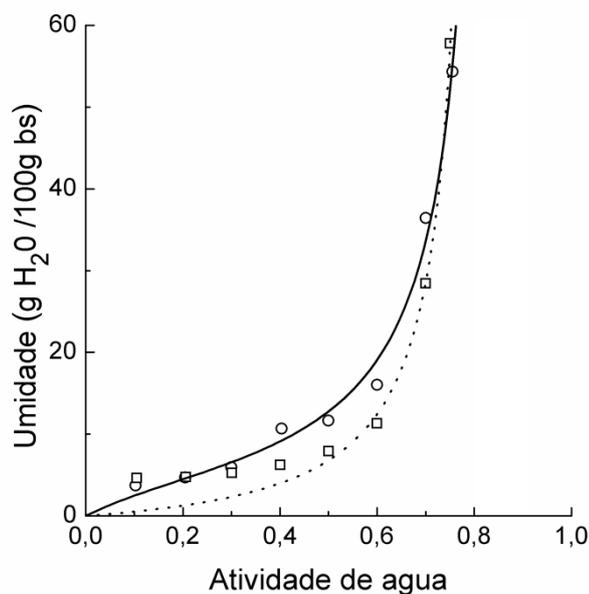
**Figura 4.** Curvas de secagem das regiões dorsal (○) e ventral (□) do pirarucu salgado.

Além da composição, que tem influência diretamente sobre os mecanismos de remoção da água, há também a influência da presença do sal sobre a capacidade de redução da umidade de músculos de peixes salgados, o que pode ser atribuído aos efeitos da desnaturação das proteínas, pela ação do sal (SHENOUDA, 1980). A adição de sal em níveis de aproximadamente 10%, já provoca a desnaturação das proteínas do pescado, o que promove a diminuição da solubilidade das proteínas, fazendo com que as mesmas percam a capacidade de retenção de água (KREUZER, 1965; SANCHEZ; LAM, 1965; JONSSON et al., 2001).

### 3.5 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO PRODUTO

As isotermas de adsorção de umidade para as regiões dorsal e ventral do músculo do pirarucu salgado-seco, obtidas a  $25^\circ\text{C}$ , são apresentadas na Figura 5. De acordo com a classificação proposta por Blahovec e Yanniotis (2009), as isotermas das duas regiões apresentaram comportamento tipo II, característica de produtos proteicos; com tendência ao

tipo III, característica de produtos que contém sólidos solúveis, como o cloreto de sódio (RAO et al., 1995; MEDEIROS et al., 2006).



**Figura 5.** Isotermas de adsorção de umidade das regiões dorsal (○, —) e ventral (□, ----) do filé de pirarucu salgado-seco e as curvas previstas pelos modelos de GAB.

A monocamada ( $m_0$ ) é o nível de umidade no qual um produto alimentício apresenta a maior estabilidade aos processos degradativos, em geral. Os valores de  $m_0$  para o pirarucu salgado-seco foram de 4,56 g H<sub>2</sub>O/100 g bs ( $R^2 = 0,993$ ), para a região dorsal, e de 3,58 g H<sub>2</sub>O/100 g bs ( $R^2 = 0,999$ ), para a região ventral. Estes valores indicam também, que não é recomendado secar às regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado a níveis de umidade inferiores a 4,6 g H<sub>2</sub>O/100g bs e 3,6 g H<sub>2</sub>O/100g bs, respectivamente, para evitar gastos desnecessários de energia. Em níveis de umidade abaixo da  $m_0$  há um aumento exponencial na quantidade de energia envolvida no processo de secagem (ROCKLAND, 1969). As isotermas de adsorção permitem afirmar ainda, que os produtos já terão a estabilidade microbiológica asseguradas ( $a_w < 0,6$ ), até níveis de umidade de 16 g H<sub>2</sub>O/100 g bs, para o dorso, e de 11 g H<sub>2</sub>O/100g bs para o ventre (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980).

Com base nos elevados valores de  $R^2$  ( $\cong 0,98$ ) e baixos valores de RMSE (dorso = 0,34; ventre = 0,84), verificou-se que o modelo de GAB se ajustou com boa precisão aos dados de adsorção de umidade das regiões dorsal e ventral do filé de pirarucu salgado-seco e pode ser utilizado na predição das isotermas de adsorção de umidade do produto. Os ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais de adsorção e dessorção de umidade do produto podem ser observados na Figura 6. Esse modelo também foi o mais aceitável para modelar os dados de isoterma de bagre-africano salgado-seco (SOBUKOLA; POPOOLA; MUNOZ,

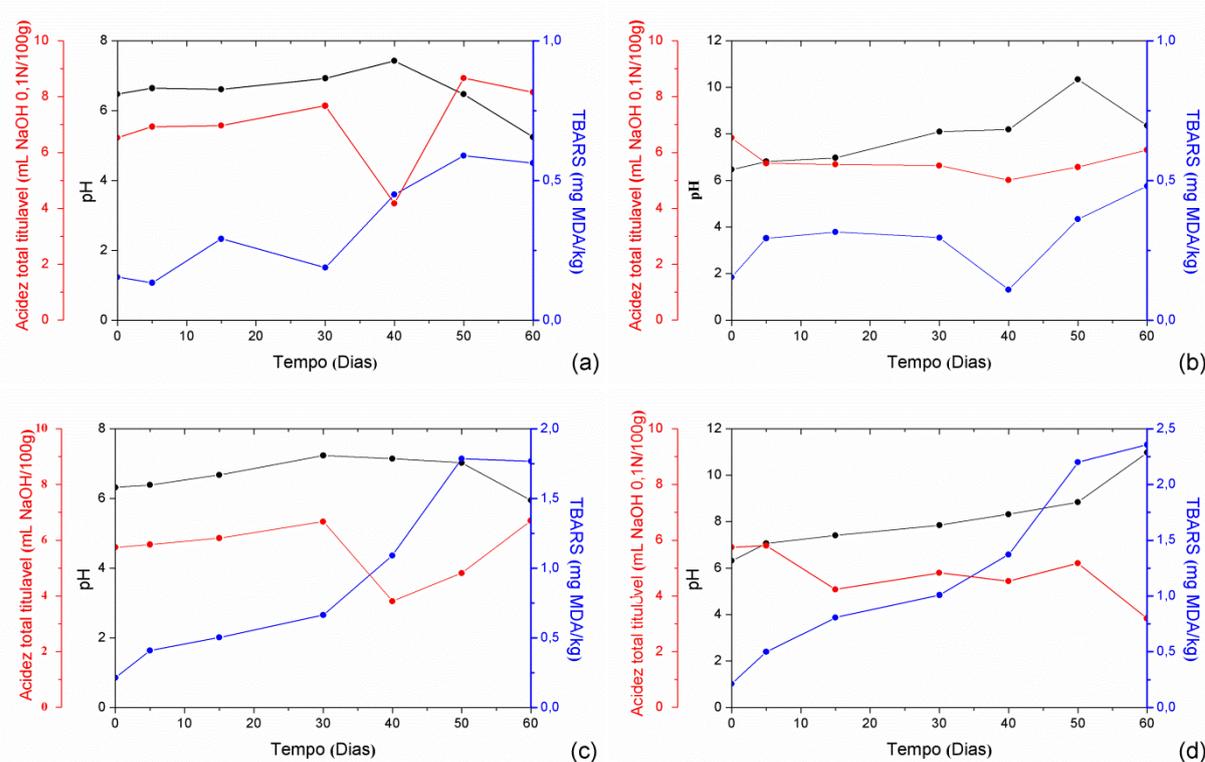
2012), de bacalhau salgado (BOERI et al., 2013) e de pirarucu salgado-seco (MARTINS; MARTINS; PENA, 2015).

### 3.6 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PRODUTO

Amostras do pirarucu salgado-seco, obtido com as regiões dorsal e ventral do músculo do peixe foram embaladas em sacos de polietileno, em atmosfera padrão, e foram armazenadas a 10 e 25°C, por um período de 60 dias. Os comportamentos da acidez total titulável, do pH e do TBARS, durante o armazenamento, são apresentados na Figura 6, e os valores da contagem de micro-organismos halofílicos (BH e FHT) são apresentados na Tabela 3. Como pode ser observado, a acidez total titulável, o pH e o TBARS apresentaram variações significativas ( $p < 0,05$ ) durante o tempo de armazenamento.

Menores valores de pH foram observados para o armazenamento realizado a 10°C (dorso: 6,47 – 5,25; ventre: 6,32 – 5,95), quando comparado com o produto armazenado a 25°C (dorso: 6,47 – 8,36; ventre: 6,32 – 10,98). No geral, houve pouca variações no pH do produto até o 30º dia de armazenamento, o que pode ser atribuído à presença de proteínas solúveis, peptídeos, aminoácidos, amônia, trimetilamina e substâncias solúveis de baixo peso molecular, que podem mascarar mudanças no pH. Por sua vez, o aumento do pH do produto, a partir deste tempo de armazenamento, pode ser atribuído presença de bactérias e fungos halofílicos, que potencializam atividades proteolíticas e lipolíticas, com o acúmulo de produtos de natureza básica, como trimetilamina (TMA), dimetilamina (DMA), indol, escatol e algumas bases orgânicas, como putrescina e cadaverina (THAWORNCHINSOMBUT; PARK, 2006).

Em relação a acidez verificou-se um comportamento semelhante para as duas regiões, considerando a mesma temperatura. Para o armazenamento a 10°C, a acidez se manteve estável até o 30º dia. Para as amostras mantidas a 25°C houve um decréscimo da acidez, seguido por um período de pouca variação. A avaliação da evolução da acidez ao longo do período de armazenamento é uma ferramenta importante para indicação atividade dos micro-organismos, principalmente bactérias, pois o aumento deste parâmetro é indicativo da produção de ácido por micro-organismos deteriorantes e a redução pode indicar o estabelecimento de uma condição desfavorável ao desenvolvimento dos micro-organismos, com a produção de alguns metabólitos relacionados a essa condição (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994; VIEIRA, 2004).



**Figura 6.** Variação da acidez total titulável (●), do pH (●) e do TBARS (●) para o pirarucu salgado-seco, durante 60 dias de armazenamento. Região dorsal a (a) 10°C e (b) 25°C e região ventral a (c) 10°C e (d) 25°C.

O comportamento do pH e da acidez ao longo do período de estocagem corrobora com o desenvolvimento dos micro-organismos halofílicos analisados, uma vez que o aumento seguido da diminuição das colônias de fungos e bactérias halofílicos (Tabela 3) pode estar relacionado com a menor disponibilidade de nutrientes e a competição entre os micro-organismos halofílicos (LAKSHMANAN; JEYASHAKILA; JEYASEKARAN, 2002)

O aumento observado para os valores de TBARS durante o armazenamento pode estar relacionado com o aumento nas taxas de oxidação de lipídeos, o que foi observado tanto para a região dorsal quanto para a região ventral. Porém, para a região ventral, com o teor bem mais elevado de lipídios (Tabela 1), o aumento do TBARS foi mais representativo; principalmente quando o produto foi armazenado a 25°C. A peroxidação lipídica manifesta-se de forma mais acentuada no pescado gordo e depende do perfil de ácidos graxos, uma vez que quanto maior a quantidade de ácidos graxos insaturados, mais susceptível o produto é a peroxidação lipídica (GONÇALVES, 2011).

Apesar de o MDA ser um produto secundário da oxidação de lipídios, não significa que o número de TBARS continue a aumentar durante a estocagem, uma vez que a pequena variação, a diminuição ou a estabilização desse índice pode ocorrer devido às reações do MDA com as proteínas (MÁRSICO et al., 2009; BERTOLIN et al., 2011). Kelleher et al.

(1994) relataram que valores de TBARS entre 0,9 e 1,5 mg MDA/kg podem ser correlacionados com o surgimento de odor desagradável no produto, o que foi observado para as amostras da região ventral do pirarucu salgado-seco, a partir do 40° dia de armazenamento.

A contagem de microrganismos halofílicos (Tabela 3) indica um maior crescimento na região ventral e nas amostras armazenadas a 25°C. Diferente do que foi observado para o pirarucu salgado, onde não houve crescimento de fungos halofílicos, no pirarucu salgado-seco a contagem foi bem elevada, o que pode ter sido favorecido pelo meio propício ao desenvolvimento; principalmente na região ventral, em função da umidade mais baixa (dorso: 49,18±1,06 g/100 g e ventre: 46,79±3,47 g/100 g), da  $a_w$  (dorso: 0,84±0,02 e ventre: 0,85±0,02) e do maior teor de cloretos (dorso: 26,15±0,49 g NaCl/100 g bs e ventre: 28,85±2,44 g NaCl/100 g bs). Karaçam et al. (2002) observaram contagens de 4,47 a 6,50 log UFC/g para bactérias halofílicas, em anchovas salgadas (com 14% de sal), armazenadas em temperatura ambiente (22 °C).

**Tabela 3.** Microbiota das regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco durante o armazenamento.

Temperatura de Estocagem (°C)	Micro-organismos (log FC/g)*	Tempo de estocagem (dias)						
		0	5	15	30	40	50	60
Dorso								
10	FHT	ND	ND	6,59	6,72	9,66	9,32	8,85
	BH	ND	6,32	6,51	6,82	10,29	9,87	8,73
25	FHT	ND	11,45	8,41	10,66	8,18	9,16	9,73
	BH	ND	9,75	8,09	10,64	7,81	7,48	10,23
Ventre								
10	FHT	ND	5,30	6,45	5,60	9,40	9,01	7,80
	BH	ND	6,60	6,30	9,58	11,37	9,69	7,87
25	FHT	ND	8,41	9,03	7,40	8,26	9,26	12,40
	BH	ND	8,33	8,94	9,40	8,67	7,90	11,84

\*FHT: fungos halofílicos totais; BH: bactérias halofílicas; ND: não detectado.

Os diferentes comportamentos observados para o crescimento das BH e dos FHT, nas regiões dorsal e ventral, tanto na amostra salgada (Tabela 2), quanto durante o armazenamento (10°C e 25°C) da amostra salgada-seca podem ser atribuídos a interações que podem ocorrer entre os micro-organismos e substâncias presentes na amostra (gordura, metabólitos, proteínas); uma vez que o desenvolvimento desses micro-organismos foi estimulado de maneiras distintas nas diferentes temperaturas e regiões do músculo do peixe.

A proliferação de bactérias halofílicas pode promover o surgimento de manchas avermelhadas/alaranjadas na superfície do pescado salgado-seco, comumente denominada de vermelhão. Além das bactérias, existem espécies de bolores e leveduras halofílicas/halotolerantes que também podem atuar na deterioração do pescado salgado-seco, produzindo zonas esbranquiçadas e pontos pretos (OREN, 2002), o que foi observado ao 50º dia de armazenamento a 25°C, para as regiões dorsal (Figura 7a) e ventral (Figura 7b), do pirarucu salgado-seco.



**Figura 7.** Filé de pirarucu salgado-seco no 50º dia de armazenamento a 25°C. (a) Região dorsal e (b) Região ventral.

#### 4 CONCLUSÃO

Parâmetros físico-químicos e microbiológicos indicaram que a aplicação de uma camada de sal na superfície do músculo do pirarucu; na proporção de 1:1 sal refinado/sal grosso e equivalente a 30% da matéria seca; e a manutenção do produto por dois dias a 10°C é uma alternativa para o processo de salga do filé do peixe. Por sua vez, a avaliação higroscópica do pirarucu salgado-seco indicou que 4,8% e 3,7% são as umidades de maior estabilidade degradativa para as regiões dorsal e ventral do peixe, embora os produtos apresentem estabilidade microbiológica até níveis de umidade de 19,0% e 12,3%, respectivamente. Para atingir os níveis de umidade de maior estabilidade degradativa, o processo de secagem a 50°C das regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado apresentaram  $D_{\text{eff}}$  de  $1,01 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s e  $1,06 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, respectivamente. O estudo da estabilidade degradativa indicou que as regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado-seco, com 26,78 g NaCl/100 g e 31,23 g NaCl/100 g de sal e 70,98 g/100 g e 70,22 g/100 g de umidade, respectivamente, devem ser armazenado sob refrigeração para uma melhor conservação e, podem ser mantidas a 10°C por até 30 dias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, R. B. (1946). Modifications of the Brunauer, Emmett and Teller Equation. **Journal of the American Chemical Society**, v. 68, p. 686-691.
- ANDRÉS, A.; RODRÍGUEZ-BARONA, S.; BARAT, J. M.; FITO, P. (2002). Mass transfer kinetics during cod salting operation. **Food Science and Technology International**, v. 8, p. 309-314.
- AOAC. (2016). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 20 ed. Gaithersburg: AOAC INTERNATIONAL. 3100 p.
- ASHIE, I. N. A.; SMITH, J. P.; SIMPSON, B. K. (1996). Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 36, p. 87-121.
- BASTOS, J. R. Processamento e conservação do pescado. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, FAO. **Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes**. Brasília: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1988. cap. 7.
- BELLAGHA, S.; SAHLI, A.; FARHAT, A.; KECHAOU, N.; GLENZA, A. (2007). Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): experimental kinetics and modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 947-952.
- BERTOLIN, T. E.; GUARIENTI, C.; FARIAS, D.; SOUZA, F. T.; GUTKOSKI, L. C.; COLLA, L. M. (2011). Efeito antioxidante da ficocianina em pescado salgado-seco. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 751-757.
- BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. (2009). Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 72-77.
- BOERI, C. N.; SILVA, F. J. N.; FERREIRA, J. A. F.; SARAIVA, J. M. A.; MOREIRA, R. S. (2013). Equilibrium Moisture Content Isotherms of Codfish (*Gadus morhua*). **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 22, p. 551-563.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº185, de 13 de maio de 1997. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe fresco (inteiro e eviscerado). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 19 de maio de 1997. Seção 1, p. 10.
- BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; TELLER, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, p. 309-319.
- CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: Funep, 1994. 409 p.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA JÚNIOR, A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water activity in foods – Fundamentals and Applications**. Nova York: John Wiley & Sons, 2020. 640 p.
- ESLICK, G. D.; HOWE, P. R. C.; SMITH, C.; PRIEST, R.; BENSOUSSAN, A. (2009). Benefits of fish oil supplementation in hyperlipidemia: a systematic review and meta-analysis. **International of Journal Cardiology**, v. 136, p. 4-16.
- FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008. 182 p.
- GALLART-JORNET, L.; BARAT, J. M.; RUSTAD, T.; ERIKSON, U.; ESCRICHE, I.; FITO, P. (2007). A comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 261-270.

- GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**. 1. ed. São Paulo: Atheneu, 2011. 624 p.
- GUINAZI, M.; MOREIRA, A. P. B.; SALARO, A. L.; CASTRO, F. A. F.; DADALTO, M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. (2006). Composição química de peixes de água doce frescos e estocados sob congelamento. **Acta Scientiarum Technology**, v. 28, p. 119-124.
- HALÁSZ, A.; BARÁTH, A.; SIMON-SARKADI, L.; HOLZAPFEL, W. (1994). Biogenic amines and their production by microorganisms in food. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, p. 42-49.
- HUI, Y. H. (2005). **Handbook of Food Science, Technology and Engineering**. Boca Raton: CRC Press. 3632 p.
- IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2002. 889 p.
- INHAMUNS, A. J.; FRANCO, M. R. B. (2001). Composition of Total, Neutral, and Phospholipids in Mapará (*Hypophthalmus sp.*) from the Brazilian Amazonian Area. **Journal Agriculture food chemistry**, v. 49, p. 4859-4863.
- JONSSON, A.; SIGURGISLADOTTIR, S.; HAFSTEINSSON, H.; KRISTBERGSSON, K. (2001). Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets measured by different methods in comparison to expressible moisture. **Aquaculture Nutrition**, v. 7, p. 81-89.
- KARAÇAM, H.; KUTLU, S.; KÖSE, S. (2002). Effect of salt concentration and temperature on the quality and shelf life of brined anchovies. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 37, p. 19 – 28.
- KELLEHER, S. D.; HULTIN, H.; WILHEM, K. A. S. (1994). Stability of macherel surimi prepared under lipid stabilizing processing conditions. **Journal of Food Science**, v. 59, p. 269-271.
- KREUZER, R. (1965). **The Technology of Fish Utilization**. London: Fishing News. 280 p.
- LAKSHMANAN, R.; JEYASHAKILA, R.; JEYASEKARAN, G. (2002). Changes in the halophilic amine forming bacterial flora during salt-drying of sardines (*Sardinella gibbosa*). **Food Research International**, v. 35, p. 541-546.
- LIMA, M. M.; MUJICA, P. I. C.; LIMA, A. M. (2012). Chemical characterization and evaluation of yield in caranha fillets (*Piaractus mesopotamicus*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, p. 41-46.
- LOURENÇO, L. F. H.; SOUSA, C. L.; SILVA, I. Q. (2008). Análises microbiológicas da carne de pirarucu (*Arapaima gigas*) seco/salgado comercializado em feiras e supermercados de Belém e elaboração de produto similar em laboratório visando estabelecer a vida de prateleira. **Revista Higiene Alimentar**, v. 22, p. 15-23.
- MACHADO, M. R. F.; FORESTI, F. (2009). Rendimento e composição química do filé de *Prochilodus lineatus* do rio Mogi Guaçu, Brasil. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, p. 663-670.
- MACIEL, R. A.; VIANA, C. M. C.; SIMÕES, M. G.; FONTELLES, M. J. P. (2012). Desidratação osmótica de filé de pirarucu (*Arapaima gigas*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 6, p. 618-629.
- MÁRSICO, E. T.; SILVA, C.; BARREIRA, V. B.; MANTILLA, S. P. S.; MORAES, I. A. (2009). Parâmetros físico-químicos de qualidade de peixe salgado e seco (bacalhau) comercializado em mercados varejistas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 68, p. 406-410.

- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **Food Science and Technology**, v. 62, p. 144-151.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2017). Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). **Food Science and Technology**, v. 37, p. 651-656.
- MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M.; LANNES, S. C. S. (2006). Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 402-406.
- MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. (2002). Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, p. 199-205.
- MOREIRA, A. B.; VISENTAINER, J. V.; SOUZA, N. E.; MATSUSHITA, M. (2001). Fatty acids profile and cholesterol contents of three Brazilian Brycon freshwater fishes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, p. 565-574.
- NGUYEN, M. V.; THORARINSDOTTIR, K. A.; GUDMUNDSDOTTIR, A.; THORKESSON, G.; ARASON, S. (2011). The effects of salt concentration on conformational changes in cod (*Gadus morhua*) proteins during brine salting. **Food Chemistry**, v. 125, p. 1013-1019.
- NUNES, E. S. C. L. N.; FRANCO, R. M.; MARSICO, E. T.; NEVES, M. S. (2012). Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas*) salgado seco comercializado em mercados varejistas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, P. 520-529.
- OGAWA, M.; MAIA, E. L. (1999). **Manual de Pesca: Ciência e Tecnologia do Pescado**. São Paulo: Livraria Varela. 430 p.
- OLIVEIRA, P. R.; JESUS, R. S.; BATISTA, G. M.; LESSI, E. (2014). Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 67-74.
- OREN, A. (2002). Diversity of halophilic microorganisms: Environments, phylogeny, physiology, and applications. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 28, p. 56-63.
- OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E.; GONÇALVES, L. A. G. (2005). Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28, p. 655-663.
- PATIR, B.; INANLI, A. G.; OKSUZTEPE, G.; ILHAK, O. I. (2006). Microbiological and chemical qualities of salted Grey Mullet (*Chalcalburnus tarichii* Pallas, 1811). **International Journal of Science & Technology**, v. 1, p. 91-98.
- RAHMAN, S. (2007). **Handbook of Food Preservation**. Nova York: CRC Press.
- RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; DATTA, A. K. (1995). **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **LWT- Food Science and Technology**, v. 37, p. 43-47.
- ROCKLAND, L. B. (1969). Water activity and storage stability. **Food Technology**, v. 23, p. 1241-1251.

- ROCKLAND, L. B.; NISHI, S. K. (1980). Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, v. 34, p. 42-59.
- RODRIGUES, M. J.; HO, P.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; VAZ-PIRES, P.; NUNES, M. L. (2003). Characterization and identification of microflora from soaked cod and respective salted raw materials. **Food Microbiology**, v. 20, p. 471-481.
- SALWIN, H. (1963). Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v. 17, p. 1114-1121.
- SANCHEZ, J. T.; LAM, R. C. (1965). **Principios técnicos de salado y secado del pescado: estudio químico de la sal en el litoral**. La Punta: Instituto del Mar del Peru. 37 p.
- SHENOUDA, S. Y. K. (1980). Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. **Advances in Food Research**, v. 26, p. 275-311.
- SOBOKOLA, O.; POPOOLA, I.; MUNOZ, L. (2012). Experimental and Mathematical Description of Sorption Isotherms and Thermodynamic Properties of Salted and Dried African Catfish (*Clarias gariepinus*). **International Journal of Food Engineering**, v. 8.
- THAWORNCHINSOMBUT, S.; PARK, J. W. (2006). Frozen stability of fish protein isolate under various storage conditions. **Journal of Food Science**, v. 71, p. 227-232.
- VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D. (1992). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3. ed. Washington: American Public Health Association. 1219 p.
- VIEIRA, R. H. S. F. **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado: teoria e prática**. São Paulo: Varela, 2004. 380p
- VISENTAINER, J. V.; SALDANHA, T.; BRAGAGNOLO, N.; FRANCO, M. R. B. (2005). Relação entre teores de colesterol em filés de tilápias e níveis de óleo de linhaça na ração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, p. 310-314.

# CAPÍTULO IV

## MANUSCRITO 3: APLICAÇÃO DE PULSO DE VÁCUO NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL DO FILÉ DE PIRARUCU

---

### 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é reconhecida mundialmente por ter uma grande diversidade de espécies de peixes, que apresentam relevância social, cultural, ambiental e econômica (JUNK; SOARES; BAYLEY, 2007). Neste contexto, o pirarucu (*Arapaima gigas*) é um dos maiores peixes da ictiofauna amazônica, se destaca pelo grande potencial para a exploração sustentável, por apresentar aspectos nutricionais relevantes, alto valor agregado e características que favorecem o cultivo e a industrialização (CASTELLO; STEWART; ARANTES, 2011; NÚÑEZ et al., 2011; MARTINS; PENA; 2017; MARTINS; MARTINS; PENA, 2017).

Tradicionalmente, o pirarucu é comercializado na forma de mantas salgadas-secas, cujo processo de salga é semelhante ao utilizado para o bacalhau, no qual as mantas são empilhadas e intercaladas com diferentes camadas de cristais de sal (BARAT et al., 2003). Porém no caso do pirarucu ainda não existem parâmetros bem definidos para o processo de salga, bem como para a secagem. A salga é uma das técnicas mais antigas de preservação de alimentos, a qual é baseada no princípio da desidratação osmótica, onde ocorre à difusão do sal para o interior dos tecidos, acompanhada de perda da água livre, por osmose (GALLART-JORNET et al., 2007; SOBUKOLA; OLATUNDE, 2011; MARTINS; MARTINS; PENA, 2015).

O processo de impregnação por cloreto de sódio ou salga por via úmida pode ser realizado à pressão atmosférica ou com a aplicação de vácuo contínuo (IV), pulso de vácuo (IPV) ou pulsos periódicos de vácuo (IPPV). O IPV consiste na imersão do produto em uma solução hipertônica e na aplicação de pressão sub-atmosférica no início do processo, por um curto intervalo de tempo, com posterior restabelecimento da pressão atmosférica. Por sua vez, a IPPV é caracterizada por períodos intercalados de pressão reduzida e de pressão atmosférica, de forma intermitente (CHIRALT et al., 2001; COLLIGNAN et al., 2001).

No IPV e no IPPV, quando o vácuo é aplicado ocorre a expansão das fibras musculares, acompanhada pela eliminação dos gases ocluídos nos poros e, quando à pressão

atmosférica é restabelecida, a solução osmótica é introduzida nos poros do produto, devido aos gradientes macroscópicos de pressão e ao efeito de capilaridade (CHIRALT et al., 2001; DEUMIER, 2004). A transferência de massa é favorecida pelo aumento da superfície de contato, devido a eliminação do ar do interior dos poros (MAROUZÉ et al., 2001; DEUMIER, 2004). O uso de vácuo em processos de salga tem sido reportado como alternativa para reduzir o tempo de processo, bem como para promover uma distribuição mais homogênea do sal no produto (CHIRALT et al., 2001; HOFMEISTER; SOUZA; LAURINDO, 2005; SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2008).

Existem poucos relatos na literatura científica envolvendo a aplicação de vácuo em processos de salga de pescado (CORZO; BRACHO, 2007; CORZO et al., 2007; MACIEL; RODRIGUES; PENA, 2016; MARTINS; PENA, 2017; RASTOGI; RAGHAVARAO, 1996), bem como estudos sobre o processamento do pirarucu (HERNÁNDEZ et al., 2017; MARTINS; MARTINS; PENA, 2015; MARTINS; PENA, 2017; OLIVEIRA et al., 2014). Tais fatos motivaram esta pesquisa, que tem como objetivo estudar a influência da aplicação de pulso de vácuo e de pulsos periódicos de vácuo, bem como da temperatura, no processo de salga no músculo do pirarucu, por impregnação do cloreto de sódio.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

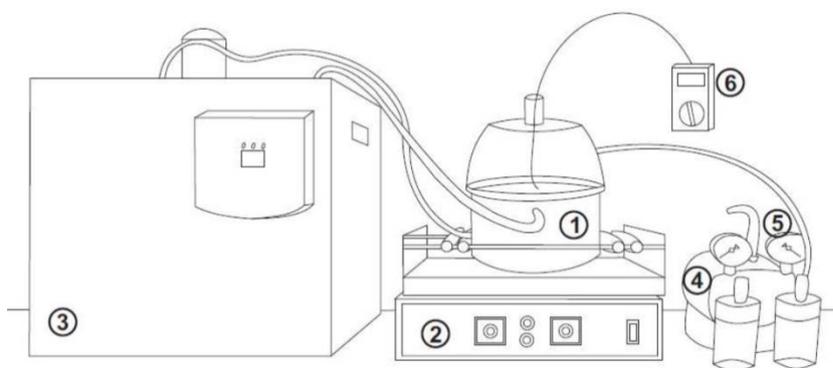
### 2.1 MATÉRIA-PRIMA E PREPARO DA AMOSTRA

O pirarucu utilizado na pesquisa foi adquirido em uma fazenda de aquicultura localizada em Breu Branco (Pará, Brazil) (04°04'04"S and 49°38'13"W) e transportado para a Universidade Federal do Pará (Belém, Pará, Brazil) (01°27'21"S and 48°30'16"W), em recipiente isotérmico contendo gelo. No laboratório, o peixe foi sanitizado, escamas e pele foram removidas, e então a filetagem do músculo foi realizada, com lâminas de aço inoxidável. A fração mais representativa do músculo do pirarucu, a região dorsal (MARTINS; MARTINS; PENA, 2017) foi utilizada na pesquisa, em formato de placa plana (60 mm de comprimento, 20 mm de largura e 5 mm de espessura).

Para garantir a qualidade microbiológica da matéria-prima, análises microbiológicas foram realizadas para investigar a ausência ou presença de *Salmonella* sp., os grupos *Staphylococcus* coagulase positivo, expresso em unidades formadoras de colônias por grama de peixe (UFC/g) e coliformes termotolerantes a 45 ° C, expressos como número mais provável por grama de peixe fresco (NMP/g) (APHA, 2015).

## 2.2 PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL

O processo de impregnação com solução de cloreto de sódio (NaCl) foi conduzido com a aplicação de pulso de vácuo (PVI) e de pulsos periódicos de vácuo (PPVI). Todos os experimentos foram realizados em um sistema encamisado, para possibilitar a recirculação do fluido térmico (água), ao qual foram acoplados a uma bomba de vácuo e um banho ultra termostático (Q214M2, Quimis, Brasil), para garantir controle de pressão e temperatura no interior do sistema. O sistema encamisado foi mantido sobre uma mesa agitadora, para garantir uma agitação constante de 60 rpm, suficiente para promover a circulação da solução e remover a camada superficial em torno da amostra (MACIEL; RODRIGUES; PENA, 2016; MARTINS; PENA, 2017). A representação esquemática do sistema usado para o processo de impregnação é apresentada na Figura 1 e é constituído por um sistema encamisado (1), uma mesa agitadora (2), um banho ultratermostático (3), uma bomba de vácuo (4) provida de um manômetro (5), e um termopar (6).

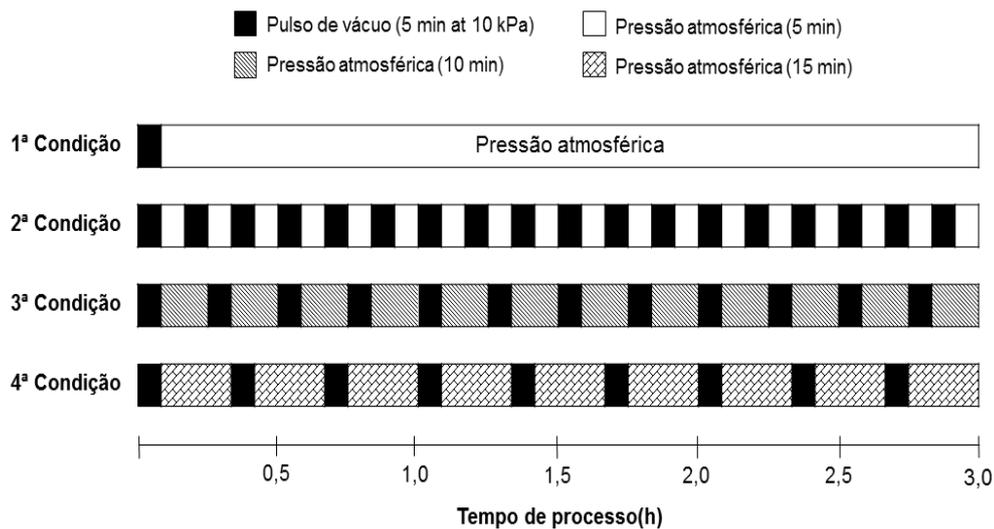


**Figura 1.** Dispositivo utilizado para a realização dos ensaios de desidratação osmótica

Nos experimentos de impregnação foi utilizada uma solução osmótica com 30% NaCl (m/v), preparada pela dissolução de cloreto de sódio grau analítico em água destilada. Uma proporção massa de amostra:volume da solução osmótica de 1:20 (m/v) foi utilizada, para assegurar a manutenção da concentração da solução osmótica constante durante todo o processo.

Os filés ( $\approx 7$  g) foram pesadas em um balança analítica (AY220, Shimadzu, Brasil) e imersas na solução osmótica. O sistema foi imediatamente fechado e submetido as diferentes condições de temperatura (10, 20, 30 ou 40°C) e de vácuo (10 kPa pressão absoluta), em função das diferentes condições de processo. Após os tempos de processo (30, 60, 90, 120 e 180 min), as amostras foram removidas da solução osmótica, lavadas superficialmente com 20 mL de água e secas em papel absorvente, para remover o excesso de sal e de água da superfície. Finalmente, as amostras foram novamente pesadas na balança analítica.

No PVI, durante os primeiros 5 min o sistema foi mantido a uma pressão de 10 kPa, sendo em seguida a pressão aliviada e o sistema mantido à pressão atmosférica (101 kPa – Belém, PA, Brasil), até o final do processo (1ª Condição). No PPVI foram utilizados períodos alternados de pulso de vácuo (5 min a 10 kPa) e de pressão atmosférica (101 kPa), até o final do processo. Neste caso, o sistema foi mantido à pressão atmosférica por 5 min (2ª Condição), 10 min (3ª Condição) e 15 min (4ª Condição). Um esquema gráfico das condições usadas no processo é mostrado na Figura 2. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.



**Figura 2.** Esquema gráfico dos processos de pulso de vácuo.

### 2.3 CINÉTICA DO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL

O efeito do tempo de contato (30, 60, 90, 120 e 180 min) sobre o ganho de sólidos (GS) foi utilizado para acompanhar a evolução do processo de salga, a partir das cinéticas de salga, obtidas para as diferentes condições de processo. Os valores de GS foram calculados de acordo com a Equação 1.

$$GS = \frac{MS_t - MS_o}{M_o} \quad (1)$$

onde, GS: ganho de sólidos (g/g base seca – bs),  $M_o$ : massa inicial do file de peixe (g),  $MS_o$ : massa seca inicial do file de peixe (g),  $MS_t$ : massa seca do filé de peixe (g) depois do tempo de impregnação (t).

Os perfis de umidade e de atividade de água ( $a_w$ ), e a evolução do conteúdo de sal também foram determinados. A umidade foi medida por gravimetria, a  $a_w$  foi determinada em um termo-higrômetro (Aqualab 3TE, Decagon, EUA) e o conteúdo de sal foi determinado pelo método *Mohr* (AOAC, 2016).

## 2.4 MODELAGEM DO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE SAL

Peleg (1988) propôs um modelo de dois parâmetros (Equação 2), que pode ser usado para descrever a cinética de um processo de salga. Assim, os parâmetros do modelo de Peleg para GS foram estimados por regressão linear, usando os coeficientes linear ( $k_1$ ) e angular ( $k_2$ ) da curva  $t/GS$  versus  $t$ . O qualidade do ajuste do modelo aos dados experimentais foi avaliada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

$$X_S - X_{S_0} = \frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \quad (2)$$

onde,  $X_S$ : conteúdo de sólidos do filé de peixe em um tempo  $t$  (h) de impregnação (g/100 g bs),  $X_{S_0}$ : conteúdo de sólidos inicial do filé de peixe (g/g bs),  $X_S - X_{S_0} = GS$ : ganho de sólidos (g/g bs),  $k_1$ : constante de taxa de Peleg (h/(g/g bs)),  $k_2$ : constante de capacidade de Peleg (1/(g/g bs)).

## 2.5 PREDIÇÃO DA DIFUSIVIDADE APARENTE

Baseada na segunda lei de Fick, Crank (1975) propôs uma equação para difusão unidirecional em uma amostra com geometria de placa plana, em contato com uma quantidade infinita de solução, usada para descrever a cinética de desidratação osmótica. A forma simplificada deste modelo (Eq. (3)) para pequenos tempos de contato ( $t$ ) é aplicada à fase inicial do processo, quando se assume que a difusão ocorra em um meio semi-infinito.

$$\frac{GS_t}{GS_\infty} = 2 \cdot \left( \frac{D_{\text{eff}} \cdot t}{\pi \cdot L^2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

onde,  $GS_t$ : quantidade de GS do produto em um determinado momento ( $t$ );  $GS_\infty$ : quantidade de GS do produto após um tempo infinito (equilíbrio);  $D_{\text{eff}}$ : difusividade aparente ( $m^2/s$ ),  $t$ : tempo de contato (s),  $L$ : meia espessura da amostra (m).

Considerando a Eq. (3), a difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) foi calculada para cada condição do processo e intervalo de tempo ( $t$ ) da cinética (Eq. (4)), como uma função dos coeficientes angulares e lineares das curvas  $t/GS$  versus  $t$  (Eq. (5)).

$$D_{\text{eff}} = \frac{\pi \cdot t}{4} \left[ \left( \frac{S_i \cdot L}{1 + S_i \cdot t} \right) \cdot \left( \frac{GS_{\text{pred}}^\infty}{GS_{\text{exp}}^\infty} \right) \right] \quad (4)$$

$$\frac{1}{GS} = \frac{1}{S_i \cdot (GS^\infty)} + \frac{t}{GS^\infty} \quad (5)$$

onde,  $D_{\text{eff}}$ : difusividade aparente ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $t$ : tempo de contato (s),  $L$ : meia espessura da amostra (m),  $GS$ : ganho de sólidos (g/g bs),  $GS_{\text{pred}}^{\infty}$ : ganho de sólidos preditos para o produto depois de um tempo infinito (equilíbrio) ( $1/\text{coef. angular}$ );  $GS_{\text{exp}}^{\infty}$ : ganho de sólidos experimental para o produto depois de um tempo infinito (equilíbrio),  $S_i$ : ( $1/(\text{coeficiente linear} \times GS_{\text{pred}}^{\infty})$ ).

## 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar os efeitos isolados de temperatura e das condições de pulso de vácuo e o efeito combinado dessas variáveis sobre resultados experimentais foi utilizado o Statistica 7.0. Para isso, os dados experimentais foram submetidos à análise de variância usando ANOVA fatorial, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com 95% de significância. Os parâmetros do modelo Peleg e os valores efetivos da difusividade foram previsto por regressão linear.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises microbiológicas indicaram que os procedimentos higiênico-sanitários utilizados durante a captura, abate e evisceração, bem como na manipulação do músculo do peixe utilizado foram adequados. Valores de  $2,3 \times 10^1$  MPN/g foram observados para coliformes termotolerantes a  $45^\circ\text{C}$ ,  $1 \times 10^1$  UFC/g para *Staphylococcus* coagulase positiva e a ausência de *Salmonella* sp., no músculo do peixe.

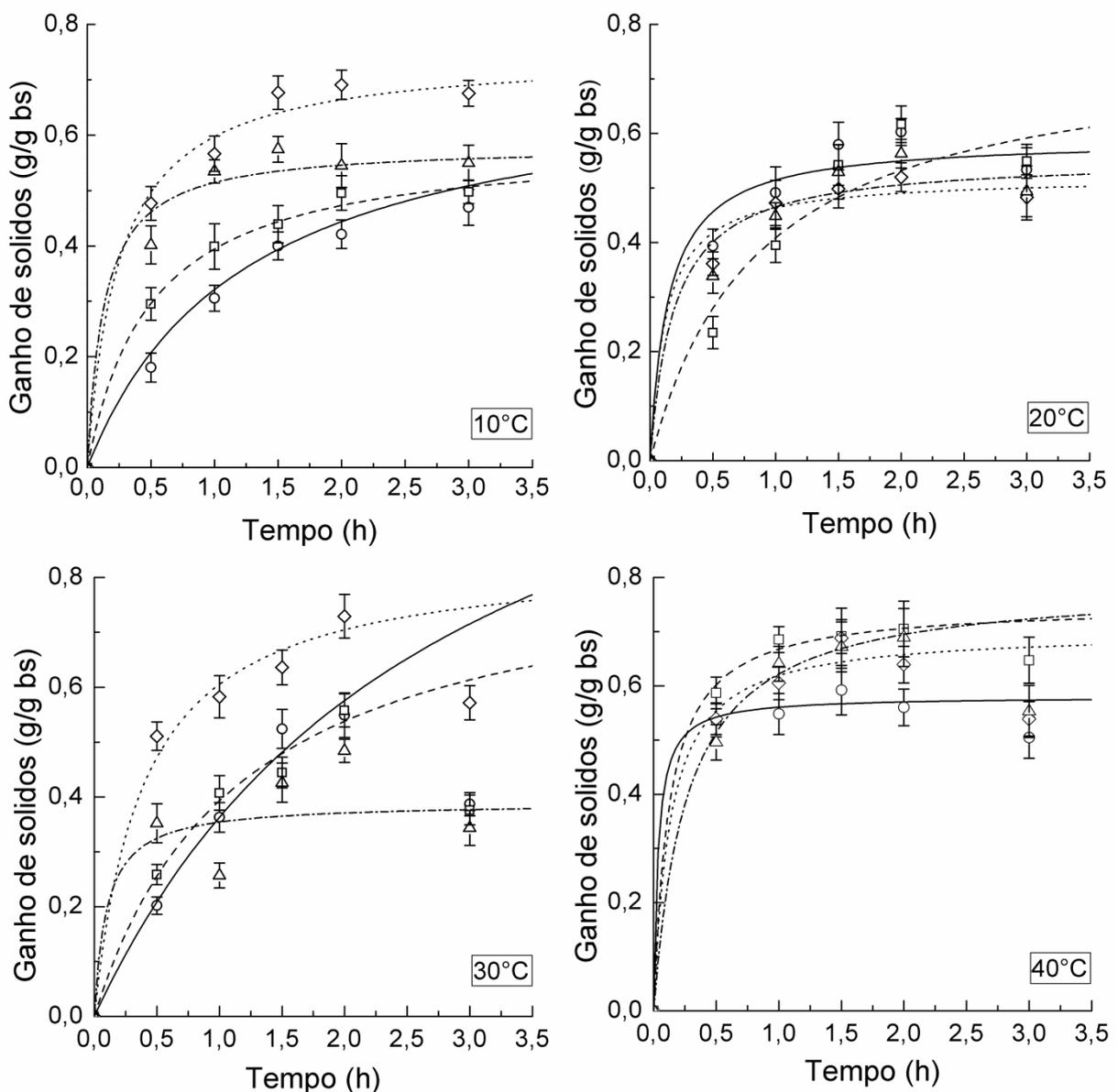
As cinéticas do ganho de sólidos (GS) durante processo de impregnação de sal do filé do pirarucu, nas diferentes condições de temperatura e pulso de vácuo avaliadas, são apresentadas na Figura 3. Independente da condição experimental foi observado um aumento gradativo do GS, o qual foi mais pronunciado nas duas primeiras horas, para os processos realizados a  $10^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  e  $30^\circ\text{C}$ , e na primeira hora para os processos realizados a  $40^\circ\text{C}$ .

O aumento do GS mais acentuado no início do processo de salga é atribuído à força motriz, que é responsável pela difusão de sólidos entre a solução hipertônica e o produto. No início do processo os gradientes de pressão osmótica e de concentração, entre a solução osmótica e o produto são maiores, favorecendo maiores taxas de GS. Com o avanço do processo esses gradientes diminuem gradativamente, até que a condição de equilíbrio seja atingida (RASTOGI; RAGHAVARAO, 1996; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

O processo de salga é caracterizado por um período dinâmico e pelo equilíbrio. No período dinâmico, as taxas de transferência de massa aumentam ou diminuem, até que o equilíbrio seja atingido; quando a taxa líquida de transporte de massa passa a ser

insignificante (RAHMAN, 2007). Após as duas primeiras horas de processo, os níveis de GS praticamente estabilizaram independente das condições de temperatura e de pulso de vácuo utilizadas; indicando não mais haver gradiente de concentração de sal e de pressão osmótica, entre a solução e o produto (equilíbrio). Passa então a ocorrer concomitantemente a migração do sal da solução para o produto e do produto para a solução (ERIKSON et al., 2004).

O efeito das condições de pulso de vácuo aplicadas à salga foi mais evidente nos processos conduzidos em temperaturas de até 30°C (Figura 3a-c); condições nas quais a influência do pulso de vácuo sobre os mecanismos de transferência de massa, que favorecem o processo de salga, foram mais representativos.



**Figura 3.** Cinética de ganho sólido durante o processo de salga do filé de pirarucu a 10°C, 20°C, 30°C e 40°C, usando impregnação com pulso de vácuo (PVI) e com pulsos periódicos de vácuo (PPVI) (marcadores) e o ajuste do modelo proposto por Peleg (linhas): 1ª condição (○, —), 2ª condição (□, ----), 3ª condição (◇, ····) e 4ª condição (△, -·-·-).

Durante a aplicação de pulsos de vácuo, as taxas iniciais de GS são afetadas por gradientes de pressão denominados de mecanismos hidrodinâmicos (HDM) (ANDRÉS et al., 2002). Em função das mudanças de pressão a qual o sistema é submetido, o HDM favorece o aumento das forças motrizes responsáveis pela transferência de massa, promovendo a troca de gás ou líquido oclusos nos poros do produto, por uma fase líquida externa. Adicionalmente, ocorre o relaxamento da rede celular, ligeiramente deformada devido ao nível de pressão reduzida (FITO et al., 1996).

O HDM pode ocorrer concomitantemente com o fenômeno de deformação-relaxamento (DRP), que afeta não apenas a cinética e a condição de equilíbrio do sistema, mas também as propriedades físicas, mecânicas e microestruturais dos sólidos porosos (FITO et al., 1996). De acordo com estes autores, em tecidos vegetais, a DRP promovida pelo pulso de vácuo é mais afetada quando temperaturas mais altas são empregadas. Para a salga do filé de pirarucu (tecido animal), também foi observado o aumento das taxas de impregnação de sal à medida em que a temperatura aumentou. Isso é evidenciado pelo aumento da tangente da curva (Figura 3); especialmente na primeira hora do processo, e pode ser atribuída ao DRP.

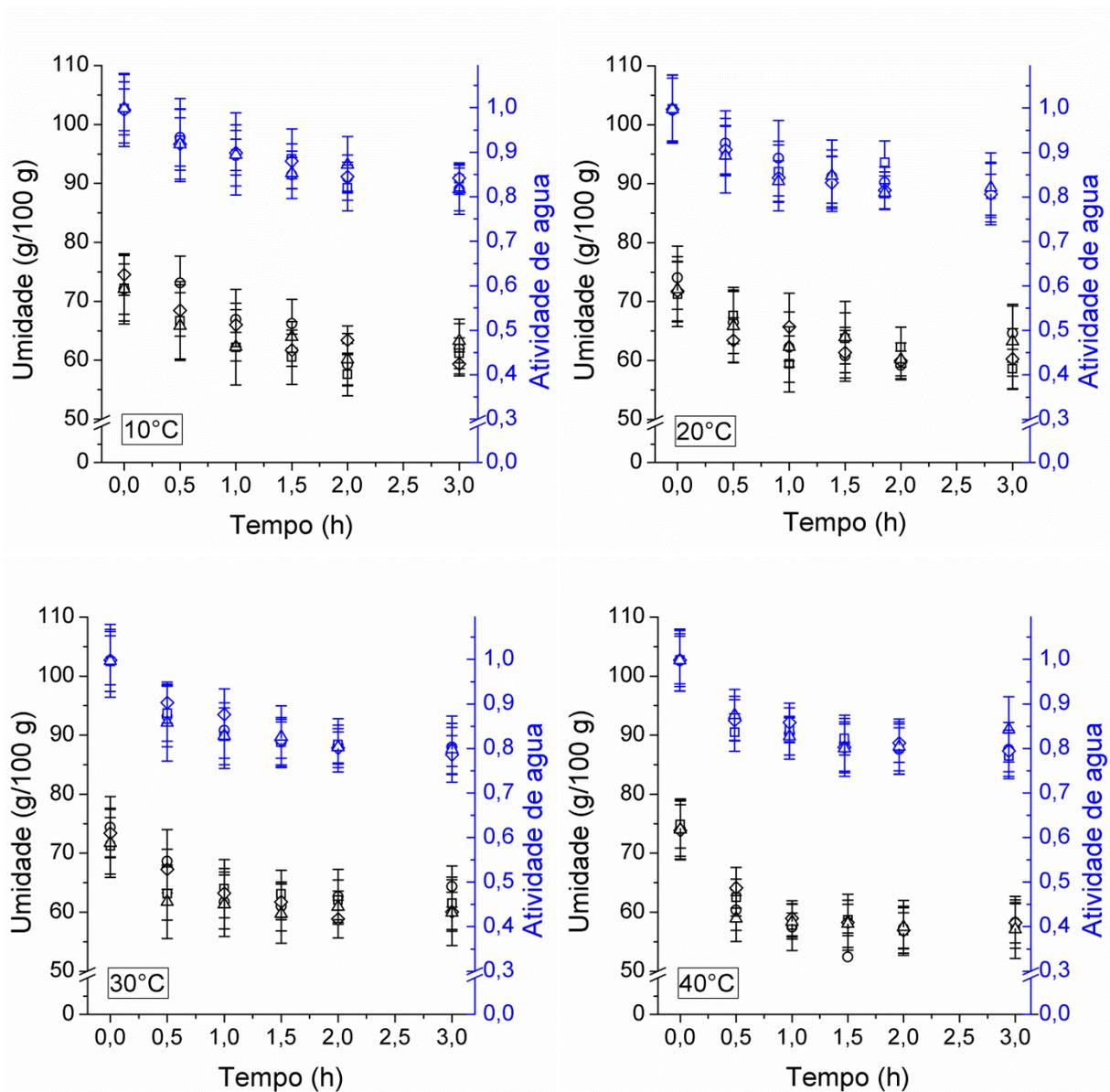
De maneira geral, os resultados da pesquisa indicam que, no domínio experimental, o processo de salga do pirarucu não precisa exceder duas horas. Adicionalmente, quando PVI ou PPVI são usados, o processo de salga pode ser conduzido com eficiência à temperatura ambiente ou sob refrigeração (<30°C). Estas condições são favoráveis do ponto de vista de qualidade do produto, porque minimizam os efeitos negativos dos processos de oxidação, o desenvolvimento de bactérias halofílicas e outros processos de degradação aos quais o músculo do pirarucu é suscetível.

Por outro lado, quando são usadas temperaturas mais altas (> 30°C), os processos de PVI e PPVI não são recomendados, uma vez que prevalece o efeito da temperatura sobre o DRP, favorecendo as taxas de transferência de massa; independentemente do vácuo ser ou não usado.

O ganho de sal durante o processo de impregnação dos filés de pirarucu seguiu o mesmo comportamento observado para o GS, e os níveis de sal máximo observados no produto, no final do processo de salga, variaram de  $0,33 \pm 0,02$  a  $0,43 \pm 0,04$  g/g bs. Esses níveis de sal estão de acordo com os valores observados, em outras pesquisas, que envolveram o processo de salga de peixes (CORZO; BRACHO; RODRÍGUEZ, 2015; GALLART-JORNET et al., 2007; NGUYEN et al., 2010). Além de alterar as características sensoriais do produto, a concentração de sal, no processo de salga, tem influência direta sobre

as propriedades funcionais das proteínas, a textura do produto e a viscosidade da solução osmótica (COSTA-CORREDOR et al., 2010; FITO et al., 2001; NGUYEN et al., 2010).

O aumento do teor de sal, durante o processo de salga, promoveu uma redução gradual da umidade e, conseqüentemente, da  $a_w$  do produto, como pode ser visto na Figura 4. Na primeira hora de processo, houve uma redução acentuada na  $a_w$ , que permaneceu praticamente constante a partir desse momento, atingindo valores que variaram de  $0,78 \pm 0,05$  a  $0,84 \pm 0,07$  ao final do processo.



**Figura 4.** Perfis de umidade e de atividade da água durante o processo de salga do filé de pirarucu a 10°C, 20°C, 30°C e 40°C, na impregnação com pulso de vácuo (PVI) e na impregnação com pulsos periódicos de vácuo (PPVI): 1ª condição (○), 2ª condição (□), 3ª condição (◇) e 4ª condição (Δ).

A substituição de gases ou líquidos ocluídos nos poros do produto, pela solução salina, devido à aplicação do pulso de vácuo, aumenta as vias de transferência de massa, especialmente aquelas relacionadas com a absorção do soluto, devido à ausência de membranas celulares nesses espaços (FITO et al., 2001). A influência do sal sobre a perda de água (redução da umidade) também pode ser atribuída à desnaturação proteica durante o processo de salga do peixe (SANNAVEERAPPA; AMMU; JOSEPH, 2004). Juntamente com a desnaturação ocorre a redução da solubilidade das proteínas, causando a perda da sua capacidade de retenção de água, devido ao enfraquecimento das forças de ligação proteína-água (THORARINSDOTTIR et al., 2004; THORARINSDOTTIR et al., 2002).

As curvas estimadas pelo modelo de Peleg são apresentadas na Figura 3 e os parâmetros estatísticos da modelagem matemática, bem como a constante do modelo ajustado aos dados experimentais, são apresentados na Tabela 1. Os valores do coeficiente de determinação ( $0,85 < R^2 < 0,99$ ) indicam que o modelo de Peleg é capaz de explicar satisfatoriamente a cinética do processo de salga do filé de pirarucu, no domínio experimental. Corzo et al. (2015) observaram que o modelo de Peleg descreveu com precisão a cinética de GS do filé de catfish, em soluções osmóticas com diferentes misturas de cloretos. Bons ajustes para o modelo de Peleg também foram observados por Corzo et al. (2007), para a cinética GS do filé de sardinha, usando pulso de vácuo.

**Tabela 1.** Parâmetros do modelo Peleg para o ajuste os dados experimentais da cinética de ganho sólido, durante o processo de salga do filé de pirarucu, em diferentes temperaturas e com a aplicação de pulso de vácuo (PVI) e de pulsos periódicos de vácuo (PPVI).

Temperatura	Condição	$k_1$	$k_2$	$GS_\infty$	$R^2$
10°C	1 <sup>a</sup>	$1,72 \pm 0,14^b$	$1,39 \pm 0,11^{cd}$	$0,72 \pm 0,06^{bcd}$	0,886
	2 <sup>a</sup>	$0,84 \pm 0,06^e$	$1,69 \pm 0,13^{bc}$	$0,59 \pm 0,05^{def}$	0,994
	3 <sup>a</sup>	$0,34 \pm 0,02^{fg}$	$1,34 \pm 0,06^d$	$0,75 \pm 0,04^{bc}$	0,993
	4 <sup>a</sup>	$0,22 \pm 0,01^{gh}$	$1,72 \pm 0,10^{bc}$	$0,58 \pm 0,03^{def}$	0,993
20°C	1 <sup>a</sup>	$0,25 \pm 0,02^{gh}$	$1,70 \pm 0,12^{bc}$	$0,59 \pm 0,04^{def}$	0,977
	2 <sup>a</sup>	$1,13 \pm 0,09^d$	$1,31 \pm 0,10^d$	$0,76 \pm 0,06^{bc}$	0,903
	3 <sup>a</sup>	$0,24 \pm 0,02^{gh}$	$1,92 \pm 0,14^b$	$0,52 \pm 0,04^{fg}$	0,990
	4 <sup>a</sup>	$0,35 \pm 0,03^{fg}$	$1,81 \pm 0,14^b$	$0,55 \pm 0,04^{ef}$	0,970
30°C	1 <sup>a</sup>	$2,04 \pm 0,14^a$	$0,72 \pm 0,05^e$	$1,39 \pm 0,10^a$	0,865
	2 <sup>a</sup>	$1,37 \pm 0,09^c$	$1,17 \pm 0,08^d$	$0,85 \pm 0,06^b$	0,953
	3 <sup>a</sup>	$0,47 \pm 0,03^f$	$1,19 \pm 0,07^d$	$0,84 \pm 0,05^{bc}$	0,982
	4 <sup>a</sup>	$0,26 \pm 0,02^g$	$2,57 \pm 0,21^a$	$0,39 \pm 0,03^g$	0,852
40°C	1 <sup>a</sup>	$0,06 \pm 0,01^h$	$1,72 \pm 0,12^{bc}$	$0,58 \pm 0,04^{def}$	0,995
	2 <sup>a</sup>	$0,16 \pm 0,01^{gh}$	$1,34 \pm 0,07^d$	$0,75 \pm 0,04^{bc}$	0,999
	3 <sup>a</sup>	$0,19 \pm 0,01^{gh}$	$1,43 \pm 0,08^{cd}$	$0,70 \pm 0,04^{cde}$	0,988
	4 <sup>a</sup>	$0,34 \pm 0,02^{fg}$	$1,27 \pm 0,09^d$	$0,79 \pm 0,06^{bc}$	0,998

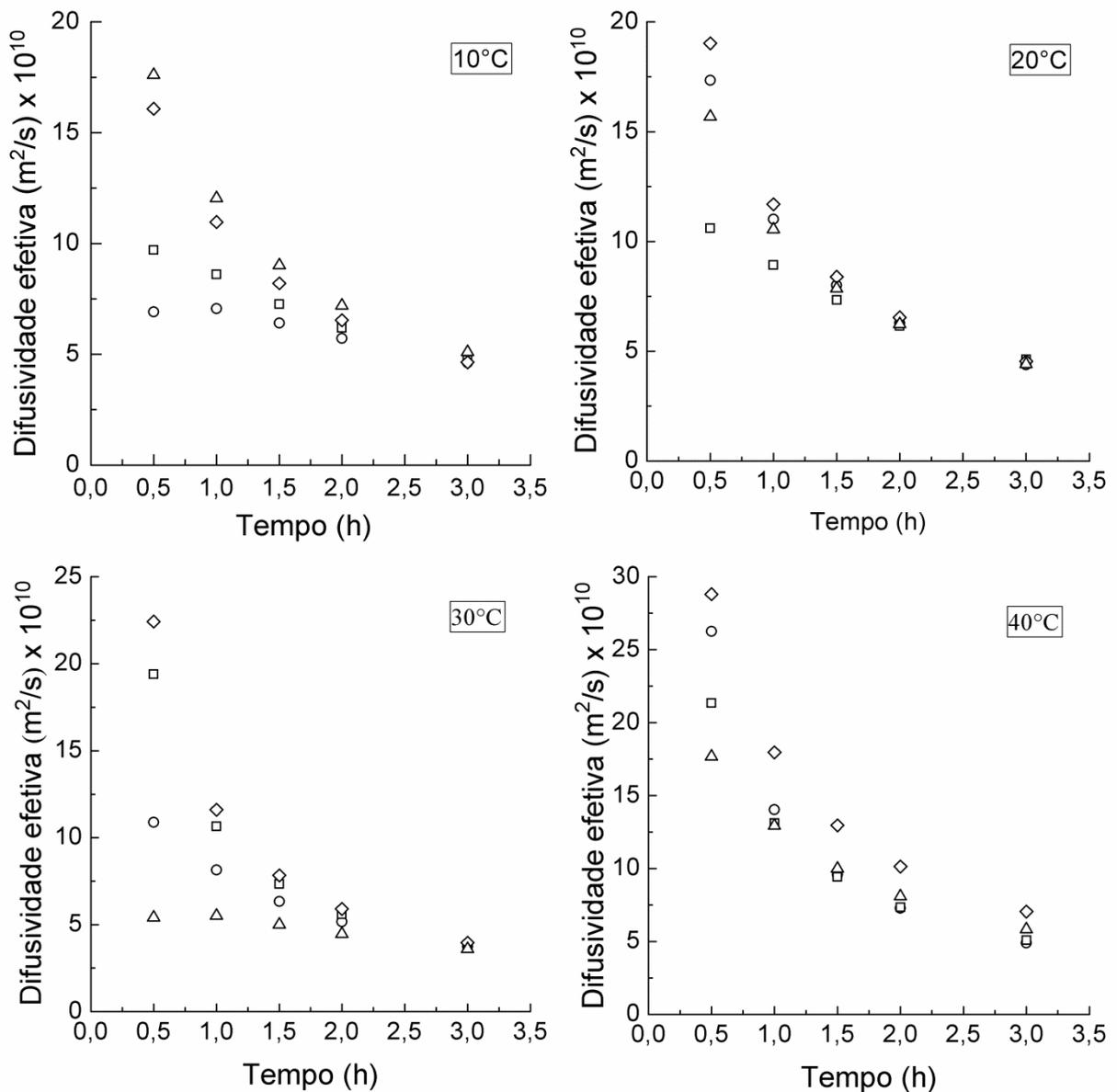
$k_1$  = Constante de taxa de Peleg (h/(g/g bs));  $k_2$  = Constante de capacidade de Peleg (1/(g/g bs));  $GS_\infty$  = GS do produto depois de um tempo infinito (equilíbrio) (g/g bs);  $R^2$  = Coeficiente de determinação. Médias ( $\pm$  desvios padrão) com diferentes letras sobrescritas na mesma coluna são estatisticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ , Teste de Tukey).

O valor da constante de taxa de Peleg ( $k_1$ ) está relacionado com a taxa de transferência de massa inicial  $e$ , quanto menor o valor de  $k_1$ , maior a taxa de ganho de sólidos inicial (Peleg, 1988). Com base nos valores de  $k_1$  (Tabela 1), é possível afirmar que até 30°C as taxas de transferência de massa, no período inicial do processo de salga de pirarucu, aumentaram com o aumento do tempo de manutenção do sistema à pressão atmosférica, entre pulsos de vácuo ( $p \leq 0,05$ ). Por sua vez, quando o processo foi realizado a 40°C foi observada uma inversão nesse comportamento, confirmando que nessa condição o efeito da temperatura na transferência de massa é preponderante.

A constante de capacidade de Peleg ( $k_2$ ) está relacionada com o valor de GS no equilíbrio ( $GS_\infty = 1/k_2$ ) (PELEG, 1988). Embora os valores de  $k_2$  tenham variado de  $0,72 \pm 0,05$  a  $2,57 \pm 0,21$  g/g bs, um comportamento padrão desse parâmetro não foi observado em função das condições de temperatura e vácuo. Os menores e maiores valores de  $k_2$  foram observados para os processos realizados a 30°C, na primeira e quarta condição de vácuo, respectivamente. Por outro lado, em geral, os valores máximos de GS observados experimentalmente ( $0,47 \pm 0,03 - 0,73 \pm 0,04$  g/g bs) estão de acordo com os valores de  $GS_\infty$  estimados ( $0,52 \pm 0,04 - 1,39 \pm 0,10$  g/g bs). Como mencionado, os níveis mais altos de impregnação de sal são esperados para as condições com os valores mais baixos de  $k_1$  e valores mais altos de  $GS_\infty$ . Com base na análise estatística, a melhor combinação desses valores foi observada na terceira condição de pulso de vácuo, para a faixa de temperatura estudada (10°C a 40°C) (Tabela 1). Dessa forma, os resultados permitem afirmar que os maiores níveis de impregnação de sal no músculo pirarucu foram observados nesta condição.

O comportamento da difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ) durante o processo de salga do filé de pirarucu é apresentado na Figura 5. Os valores de  $D_{eff}$  confirmam que, após duas horas de contato do filé de peixe com a solução osmótica, o pulso de vácuo e as condições de temperatura não interferem mais nas taxas de GS.

Os maiores valores de  $D_{eff}$  no início da salga são atribuídos ao baixo peso molecular do NaCl, à alta pressão osmótica e aos gradientes de concentração entre o produto e a solução osmótica. Com a evolução do processo, os valores de  $D_{eff}$  diminuem gradualmente, devido à diminuição desses gradientes, até que eles atingem um valor constante, quando o sistema atinge a condição de equilíbrio. Alterações estruturais nos tecidos devido à ação do sal também podem promover a redução da  $D_{eff}$  (TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004). Adicionalmente, a heterogeneidade da composição dos alimentos, uma rede compactada de fibras e proteínas, alto teor lipídico e baixo teor de água são outros fatores que podem reduzir o valor de  $D_{eff}$  (GALLART-JORNET et al., 2007).



**Figura 5.** Difusividade efetiva para o processo de salga do filé de pirarucu a 10°C, 20°C, 30°C e 40°C, para a impregnação com pulso de vácuo (PVI) e a impregnação com pulsos periódicos de vácuo (PPVI). 1ª condição (○), 2ª condição (□), 3ª condição (◇) e 4ª condição (△).

#### 4 CONCLUSÃO

O estudo do processo de salga dos filés de pirarucu, utilizando a impregnação com pulso de vácuo (PVI) e a impregnação com pulsos periódicos de vácuo (PPVI), com pulso de vácuo de 5 min a 10 kPa e diferentes temperaturas (10°C – 40°C), mostrou que os processos PVI e PPVI favorecem o ganho sólidos (salga), quando temperaturas baixas ou moderadas são usadas (10°C a 30°C). As menores médias de umidade (58,8 g/100 g) e atividade de água (0,80) foram observadas quando o processo de salga foi realizado usando o PPVI para 5 min a 10 kPa (pulso de vácuo) e 10 min à pressão atmosférica, intermitentemente;

independentemente da temperatura. Nesta condição, o produto apresentou teor de sal de  $0,43 \pm 0,04$  g/g bs. Por outro lado, se a salga do pirarucu for realizada em temperaturas superiores a  $30^{\circ}\text{C}$ , os processos PVI e PPVI não são recomendados, pois nesta condição, o efeito da temperatura sob o GS prevalece, independente da aplicação do vácuo. Além disso, a salga do filé de pirarucu usando a PVI e a PPVI podem ser considerados processos rápidos, pois demandaram apenas duas horas, no domínio experimental. Como é um processo rápido e pode ser realizada em temperatura ambiente ou inferior, o que favorece a manutenção da qualidade do produto, os processos de PVI e PPVI são considerados alternativas promissoras para a salga do músculo pirarucu. Finalmente, o modelo Peleg explicou satisfatoriamente a cinética de salga do filé de pirarucu no domínio experimental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉS, A.; RODRÍGUEZ-BARONA, S.; BARAT, J. M.; FITO, P. (2002). Mass transfer kinetics during cod salting operation. **Food Science and Technology International**, v. 8, p. 309-314.
- AOAC. (2016). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 20 ed. Gaithersburg: AOAC INTERNATIONAL. 3100 p.
- APHA (2015). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods** (5th ed.). Washington: American Public Health Association.
- BARAT, J. M.; RODRÍGUEZ-BARONA, S.; ANDRÉS, A.; FITO, P. (2003). Cod salting manufacturing analysis. **Food Research International**, v. 36, p. 447-453.
- CASTELLO, L.; STEWART, D. J.; ARANTES, C. C. (2011). Modeling population dynamics and conservation of arapaima in the Amazon. **Reviews in Fish Biology & Fisheries**, v. 21, p. 621-640.
- CHIRALT, A.; FITO, P.; BARAT, J. M.; ANDRÉS, A.; GONZÁLEZ-MARTINEZ, C.; ESCRICHE, I.; CAMACHO, M. M. (2001). Use of vacuum impregnation in food salting process. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 141-151.
- COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNE, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 153-162.
- CORZO, O.; BRACHO, N. (2007). Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 1452-1458.
- CORZO, O.; BRACHO, N.; RODRÍGUEZ, J. (2015). Modeling mass transfer during salting of catfish sheets. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 24, p. 120-130.
- CORZO, O.; BRACHO, N.; RODRÍGUEZ, J.; GONZÁLEZ, M. (2007). Predicting the moisture and salt contents the sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 781-790.
- COSTA-CORREDOR, A.; MUÑOZ, I.; ARNAU, J.; GOU, P. (2010). Ion uptakes and diffusivities in pork meat brine-salted with NaCl and K-lactate. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 1226-1233.

- CRANK, J. (1975). **The mathematics of diffusion**. 2ed. Oxford: Clarendon Press. 414 p.
- DEUMIER, F. (2004). Pulsed-vacuum immersion of chicken meat and skin in acid solutions. Effects on mass transfers, colour and microbial quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, p. 277-286.
- ERIKSON, U.; VELIYULIN, E.; SINGSTAD, T. E.; AURSAND, M. (2004). Salting and desalting of fresh and frozen-thawed cod (*Gadus morhua*) fillets: A comparative study using <sup>23</sup>Na NMR, <sup>23</sup>Na MRI, low-field <sup>1</sup>H NMR, and physicochemical analytical methods. **Journal of Food Science**, v. 69, p. 107-114.
- FABBRI, A.; CEVOLI, C.; TRONCOSO, R. (2014). Moisture diffusivity coefficient estimation in solid food by inversion of a numerical model. **Food Research International**, v. 56, p. 63-67.
- FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. **Journal of Food Engineering**, v. 27, p. 229-240.
- FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J. M.; ANDRÉS, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 297-302.
- GALLART-JORNET, L.; BARAT, J. M.; RUSTAD, T.; ERIKSON, U.; ESCRICHE, I.; FITO, P. (2007). A comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 261-270.
- HERNÁNDEZ, E. J. G. P.; CARVALHO, R. N. JR.; JOELE, M. R. S. P.; ARAÚJO, C. S.; LOURENÇO, L. F. H. (2017). Effects of modified atmosphere packing over the shelf life of sous vide from captive pirarucu (*Arapaima gigas*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p. 94-100.
- HOFMEISTER, L. C.; SOUZA, J. A. R.; LAURINDO, L. B. (2005). Use of dyed solutions to visualize different aspects of vacuum impregnation of Minas cheese. **Food Science Technology**, v. 38, p. 379-386.
- JUNK, W. J.; SOARES, M. G. M.; BAYLEY, P. B. (2007). Freshwater fishes of the Amazon River basin: Their biodiversity, fisheries, and habitats. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 10, p. 153-173.
- MACIEL, R. A.; RODRIGUES, A. M. C.; PENA, R. S. (2016). Influence of the process parameters on osmotic dehydration of mapará (*Hypophthalmus edentatus*) fillet. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 676-684.
- MAROUZÉ, C.; GIROX, F.; COLLIGNAN, A.; RIVIER, M. (2001). Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 207-221.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **Food Science and Technology**, v. 62, p. 144-151.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2017). Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). **Food Science and Technology**, v. 37, p. 651-656.
- MARTINS, M. G.; PENA, R. S. (2017). Combined osmotic dehydration and drying process of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillets. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 3170-3179.

- MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. (2002). Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, p. 199-205.
- NGUYEN, M. V.; ARASON, S.; THORARINSDOTTIR, K. A.; THORKESSON, G.; GUDMUNDSDÓTTIR, A. (2010). The effects of salt concentration on conformational changes in cod (*Gadus morhua*) proteins during brine salting. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 225-231.
- NÚÑEZ, J.; CHU-KOO, F.; BERLAND, M.; AREVALO, L.; RIBEYRO, O.; DUPONCHELLE, F.; RENNO, J. F. (2011). Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Peru. **Aquaculture Research**, v. 42, p. 815-822.
- OLIVEIRA, P. R.; JESUS, R. S.; BATISTA, G. M.; LESSI, E. (2014). Sensorial, physicochemical and microbiological assessment of pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) during ice storage. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 67-74.
- PELEG, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 1216-1217.
- RAHMAN, M. S. (2007). **Handbook of food preservation**. United States of America: Taylor & Francis 850.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. (1996). Kinetics of osmotic dehydration under vacuum. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 669-672.
- SANNAVEERAPPA, T.; AMMU, K.; JOSEPH, J. (2004). Protein-related changes during salting of milkfish (*Chanos chanos*). **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 84, p. 863-869.
- SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. (2008). Salting operational diagrams for chicken breast cuts: Hydration–dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 36-44.
- SINGH, B.; KUMAR, A.; GUPTA, A. K. (2007). Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 471-480.
- SOBUKOLA, O. P.; OLATUNDE, S. O. (2011). Effect of salting techniques on salt uptake and drying kinetics of African catfish (*Claris gariepinus*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, p. 170-177.
- TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. (2004). Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 253-259.
- THORARINSDOTTIR, K. A.; ARASON, S.; BOGASON, S.; KRISTBERGSSON, K. (2004). The effects of various salt concentrations during brine curing of cod. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, p. 79-89.
- THORARINSDOTTIR, K. A.; ARASON, S.; GEIRSDOTTIR, M.; BOGASON, S.; KRISTBERGSSON, K. (2002). Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry. **Food Chemistry**, v. 77, p. 377-385.
- VATANKHAH, H.; RAMASWAMY, H. S. (2019). High pressure impregnation (HPI) of apple cubes: Effect of pressure variables and carrier medium. **Food Research International**, v. 116, p. 320-328.

# CAPÍTULO V

## Manuscrito 4: Secagem do filé de pirarucu salgado por circulação de ar a quente e a frio

---

### 1 INTRODUÇÃO

A utilização racional da grande variedade de espécies de pescados encontrados na região amazônica é um fator que confere a esta região uma importância estratégica. A diversidade de espécies, associada ao dinamismo das atividades vinculadas a exploração sustentável dos recursos pesqueiros, favorece a incorporação de tecnologias que agregam valor a várias espécies nativas, como é o caso do pirarucu (*Arapaima gigas*) (FERREIRA et al., 2002; JUNK; SOARES; BAYLEY, 2007; OLIVEIRA et al., 2014).

O pirarucu é tradicionalmente comercializado na forma de mantas salgadas-secas, nos grandes centros de comercialização de pescado na Amazônia; forma na qual ele é conhecido como o “bacalhau da Amazônia”. Apesar do alto valor nutritivo e comercial do pirarucu salgado-seco, o processo produtivo desse tipo de produto envolve métodos de salga e secagem artesanais, sem padrão e controle tecnológico, o que pode comprometer a qualidade e a estabilidade, bem como o valor agregado do produto (LOURENÇO, FERNANDES; CINTRA, 2001; LOURENÇO; SOUSA; SILVA, 2008; BEZERRA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2014).

O método tradicionalmente utilizado na salga do pirarucu é a salga seca, na qual o sal é disposto sobre a superfície do músculo pescado, sem critérios de quantidade e qualidade. A secagem, por sua vez, é comumente conduzida de forma natural, sendo efetiva apenas em condições de umidades relativas baixas, presença do calor solar e movimento do ar (vento). Este processo depende de condições climáticas favoráveis e impossibilita a previsão das características do produto final (BASTOS, 1988). Em regiões de clima quente-úmido, com elevados níveis de umidade relativa, como é o caso da região Amazônica, a secagem do produto pode ser bastante comprometida.

A secagem por ar aquecido é um método de conservação de alimentos, no qual o sólido a ser seco é exposto a uma corrente de ar quente que flui continuamente através do produto, promovendo a remoção da umidade (RATTI, 2019; KROKIDA; MAROULIS, 2002). A secagem é um processo que normalmente envolve o uso de temperaturas elevadas, que podem provocar a degradação e a oxidação de alguns nutrientes (TONON; BARONI;

HUBINGER, 2006). O processo pode causar modificações, tanto no valor nutricional quanto nas características sensorial do alimento. O projeto de equipamentos e a operação de secagem objetivam minimizar essas alterações, por meio da seleção de condições apropriadas de desidratação para cada alimento em particular (FELLOWS, 2009). A taxa de secagem, a estabilidade no armazenamento, as características de reidratação e as mudanças de qualidade dependem do tipo de secador, de parâmetros do processo e também do pré-tratamento (YUCEL et al., 2010).

O processo de secagem a frio, por sua vez, não é comumente utilizado e é assim denominado por limitar a temperatura de secagem em um valor inferior à temperatura ambiente. A remoção da água é conduzida em baixas temperaturas, assim a água é mantida no estado líquido durante toda a operação, o que permite a obtenção de produtos com umidade intermediária e que são caracterizados por sua alta estabilidade e plasticidade.

Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi estudar o processo de secagem com circulação de ar, a quente e a frio, do filé do pirarucu submetido ao processo de impregnação de cloreto de sódio com pulso periódico de vácuo (PPVI), bem como avaliar o comportamento higroscópico e as características nutricionais e sensoriais dos produtos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 MATÉRIA-PRIMA**

O pirarucu (*Arapaima gigas*) utilizado no desenvolvimento da pesquisa foi adquirido em reservatório de piscicultura, localizado na cidade de Santarém (Pará, Brasil) (02° 26' 35" S e 54° 42' 30" W). Para facilitar o transporte, o animal foi submetido as etapas de toaleta e separação do músculo, o qual foi congelado a -18°C, forma da qual foi transportado para a Universidade Federal do Pará (Belém, Pará, Brasil) (01°27'21"S e 48°30'16"W), devidamente acondicionado em recipiente termicamente isolado. O músculo do peixe foi descongelado a 5°C e filetado (≈25 g), no formato de placa plana (100 mm de comprimento, 60 mm de largura e 10 mm de espessura). Apenas a região dorsal foi utilizada por ser a fração muscular mais representativa (MARTINS; CHADA; PENA, 2019). Os pedaços foram embalados em sacos de polietileno e congelados a -18°C, condição na qual foram mantidos até o momento da realização nos experimentos de salga e secagem; quando foram descongeladas a 5°C.

### **2.2 PROCESSOS DE SALGA**

O processo de salga por impregnação de cloreto de sódio (NaCl), baseada no princípio da desidratação osmótica, foi conduzido por duas horas com aplicação de pulso de vácuo de 5

min a 10 kPa e 10 min à pressão atmosférica, intermitentemente. O processo foi conduzido a 10°C, utilizando concentração da solução osmótica de 30 g/100g de NaCl e uma proporção massa de amostra:volume de solução de 1:20. Estas condições de processo foram estabelecidas em pesquisa prévia de nosso grupo de pesquisa (MARTINS; CHADA; PENA, 2019). Foram utilizados os filés com geometria de placa plana (100 mm x 50 mm x 10mm).

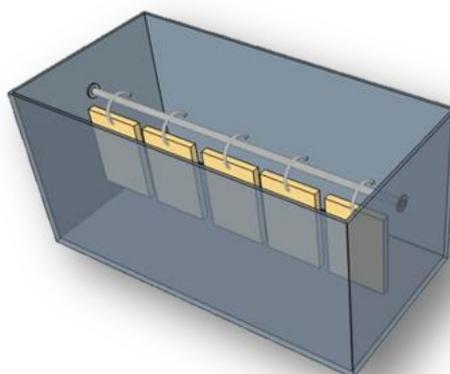
Ao final do processo, as amostras foram removidas da solução osmótica, enxaguadas superficialmente com 20 mL de água e secas com papel absorvente, para retirar o excesso de água e sal da superfície, e finalmente foram pesadas em balança analítica. O ganho de sólidos (GS) foi determinado de acordo com as Equação 1.

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_0}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

onde,  $M_0$ : massa inicial do filé de pirarucu (g);  $MS_0$ : massa seca inicial do filés de pirarucu (g);  $MS_t$ : massa seca do filé de pirarucu (g) depois do tempo (t) de salga.

### 2.3 PROCESSOS DE SECAGEM A QUENTE E A FRIO

Amostras das regiões dorsal e ventral do pirarucu salgado na etapa anterior foram submetidas aos processos de secagem a quente, em secador convectivo de bandeja com circulação de ar quente (TE-394/3, Tecnal, Brasil) a 50°C e a secagem a frio, em estufa incubadora microprocessada (SL-200/364, SOLAB, Brasil) a 10°C, com o monitoramento da temperatura e da umidade relativa. Em ambos os processos de secagem, as amostras foram suspensas em um sistema de secagem, conforme é representado esquematicamente da Figura 1.



**Figura 1.** Representação esquemática do sistema utilizado nos processos de secagem a frio e a quente.

Para a obtenção das cinéticas de secagem a quente, as amostras foram pesadas a cada 5 min, nos 30 primeiros minutos; a cada 10 min nos próximos 60 minutos de secagem; e a cada 20 min, a partir desse tempo, até que a variação de massa da amostra fosse inferior a 1% (condição de equilíbrio). Já na secagem a frio, por ser um processo mais lento, as amostras foram pesadas em 90 min e 180 min de secagem; a cada 3 h nas próximas 12 horas; a cada 6 h nas próximas 36 h; e a cada 12 h, a partir desse tempo de secagem, até que a variação de massa da amostra fosse inferior a 1% (condição de equilíbrio). As curvas de secagem foram construídas baseadas na correlação entre relação de umidade (MR) (Equação 2) e o tempo de processo.

$$MR = \frac{m - m_e}{m_i - m_e} \quad (2)$$

onde, MR: relação de umidade (adimensional); m,  $m_i$  e  $m_e$  são as umidade em um tempo t, inicial e no equilíbrio (g/100 g bs), respectivamente.

Para realizar a modelagem das curvas de secagem durante o período de taxa decrescente assume-se que o principal mecanismo envolvido seja a difusão de umidade. Neste caso, a equação para difusão, representadas pela segunda lei de Fick para a difusão, em estado não estacionário, pode ser utilizada (Equação 3), considerando a umidade inicial uniforme, a difusividade efetiva constante e a amostra com geometria de placa plana (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2002).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(\frac{-(2i+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{\text{eff}} \cdot t}{4 \cdot L^2}\right) \quad (3)$$

onde, MR: relação de umidade (adimensional);  $D_{\text{eff}}$ : coeficiente de difusividade efetiva ( $\text{m}^2/\text{s}$ ); L: meia espessura da placa (m); e t: tempo de processo (s).

Para um tempo de secagem suficientemente longo, a segunda Lei de Fick da difusão, truncada no primeiro termo (Equação 4), fornece uma boa estimativa da solução para a Equação 3. Sendo assim, o valor de  $D_{\text{eff}}$  foi calculado a partir da declividade da curva  $\ln(MR)$  versus tempo de secagem (t), por regressão linear.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{\text{eff}} \cdot t}{4L^2}\right) \quad (4)$$

Na predição das curvas de secagem foram avaliados os ajustes matemáticos de cinco modelos (Tabela 1), classicamente utilizados para descrever a cinética de processos de secagem em camada delgada.

**Tabela 1.** Modelos matemáticos usados no ajuste da cinética de secagem do filé da região dorsal do pirarucu salgado-seco.

Modelo	Equação <sup>a</sup>	Nº de parâmetros
Newton	$MR = e^{-k \cdot t}$	1
Page	$MR = e^{-k \cdot t^n}$	2
Henderson e Pabis	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t}$	2
Dois Termos Exponencial	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-k \cdot a \cdot t}$	2
Logarítmico	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + c$	3
Aproximação da difusão	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-k \cdot b \cdot t}$	3
Verma	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-g \cdot t}$	3
Midilli	$MR = b \cdot t + a \cdot e^{-k \cdot t^n}$	4
Dois Termos	$MR = a \cdot e^{-k_0 \cdot t} + b \cdot e^{-k_1 \cdot t}$	4

<sup>a</sup>Akpinar, Bicer e Yildiz (2003).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o valor do qui-quadrado reduzido ( $\chi^2$ ) (Equação 5) e do erro médio relativo quadrático (RMSE) (Equação 6) foram as estatísticas utilizadas para avaliar a qualidade dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{N - n} \quad (5)$$

$$\text{RMSE} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

onde,  $MR_{\text{exp},i}$  e  $MR_{\text{pre},i}$ : relação de umidade determinada a partir dos dados experimentais e a relação de umidade predita pelos modelos ajustados, respectivamente; N: número de medidas experimentais; e n: número de parâmetros do modelo.

#### 2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS

As amostras *in natura*, salgada e salgadas e secas a quente e a frio foram caracterizadas de acordo com os métodos oficiais da AOAC (2016), sendo: *umidade*, por gravimetria, em estufa a 105°C, até peso constante; *cinzas*, por gravimetria, por calcinação da amostra a 550°C, em forno mufla; *lipídios*, por extração intermitente da fração lipídica (éter de petróleo como solvente), pelo método Soxhlet; *proteína bruta*, estimada mediante o conteúdo de nitrogênio total presente na amostra, pelo método de *Kjeldahl* (fator de conversão nitrogênio-proteína de 6,25); e *cloretos*, pelo método de *Mohr*, baseado na precipitação dos cloretos na forma de cloreto de prata, utilizando cromato de potássio como indicador. Além

da composição, a *atividade de água* ( $a_w$ ) foi também avaliada, por medida direta em termohigrômetro digital (Aqualab 4TE, Decagon, USA), com controle interno de temperatura, a 25°C.

## 2.5 AVALIAÇÃO HIGRÓSCOPICA

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade da região dorsal do pirarucu salgado e seco a quente e a frio foram obtidas em equipamento analisador de sorção de vapor (Aqualab VSA, Decagon, USA), pelo método DVS (Dynamic Vapor Sorption), a 25°C. Inicialmente, a amostra foi triturada e submetida à desidratação complementar, em dessecador com sílica gel, sob vácuo, a 25°C por 24 h. As isotermas foram obtidas em um intervalo de  $a_w$  de 0,10 a 0,75, com aproximadamente 1 g de amostra, pesada diretamente na microbalança do equipamento, em cápsula de aço.

A umidade da monocamada ( $m_o$ ) foi determinada para os processos de adsorção e de dessorção, a partir da forma linearizada da equação de BET (Equação 7) (BRUNAUER; EMMET; TELLER, 1938), por regressão linear.

$$\frac{a_w}{(1-a_w) \cdot m} = \frac{1}{m_o \cdot C} + \frac{(C-1)}{m_o \cdot C} \cdot a_w \quad (7)$$

onde,  $m$ : umidade (g/100 g bs);  $a_w$ : atividade de água;  $m_o$ : umidade da monocamada (g/100g bs); e  $C$ : constante relacionada com o calor de adsorção.

Aos dados de adsorção de umidade da região dorsal do filé de pirarucu salgado-seco foi ajustado o modelo de GAB (Equação 8) (ANDERSON, 1946).

$$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1-k \cdot a_w) \cdot (1+(c-1) \cdot k \cdot a_w)]} \quad (8)$$

onde,  $m$ : umidade (g H<sub>2</sub>O/100 g bs),  $a_w$ : atividade de água (adimensional),  $m_o$ : umidade da monocamada (g H<sub>2</sub>O/100 g bs), e  $C$ : constante relacionada ao calor de sorção.

Para avaliar o ajuste do modelo foram utilizados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro médio relativo quadrático (RMSE) (Equação 9).

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{\text{exp},i} - Y_{\text{pre},i})^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

onde,  $Y_{\text{exp},i}$  e  $Y_{\text{pre},i}$ : são os dados experimentais e os preditos pelo modelo testado, respectivamente;  $N$ : número medidas experimentais; e  $n$ : número de parâmetros do modelo.

## 2.6 AVALIAÇÃO SENSORIAL

### 2.6.1 Recrutamento e pré-seleção do painel de julgadores

Um questionário para a pré-seleção do painel de julgadores, com 14 questões, foi distribuído a 60 candidatos entre alunos e funcionários da Universidade Federal do Pará. O questionário foi aplicado para verificar o interesse e a disponibilidade e para coletar algumas informações importantes sobre o estado de saúde e hábitos alimentares dos candidatos (APÊNDICE I).

Os julgadores selecionados passaram para a fase das provas de seleção, onde foram avaliados a aptidão dos potenciais julgadores em relação ao gosto, cheiro e cor. Foi testada a capacidade de reconhecimento e discriminação de estímulos, de memorização dos estímulos percebidos e de diferenciar as várias intensidades dos atributos. Essa etapa foi realizada em sala ventilada, livre de odores e provida de iluminação artificial uniforme.

A prova de identificação de gostos teve por objetivo identificar os julgadores que se destacam quanto a capacidade de memorização e reconhecimento dos estímulos provocados pelos diferentes gostos. Nessa prova foram fornecidos água e as cinco soluções aquosas de gostos básicos ácido (0,43 g/L de ácido cítrico), amargo (0,43 g/L de cafeína), salgado (0,20 g/L de cloreto de sódio), doce (1,20 g/L de sacarose) e umami (5,76 g/L de glutamato monossódico) em recipientes plásticos de 50 mL, previamente codificados e dispostos aleatoriamente (APÊNDICE II).

A prova de identificação de odor baseia-se na apresentação de diversos estímulos olfativos e teve por objetivo selecionar os julgadores que apresentaram a capacidade de identificar e excluir os que não apresentem capacidade de detectá-los (anosmia). Para tal, onze substâncias foram colocadas em recipientes plásticos de 50 mL, cobertos com papel alumínio e oferecidas para que por aspiração do ar pelas narinas fossem identificadas, mantendo a boca fechada, com intervalo de 10 segundos entre uma substância e outra. As substâncias utilizadas foram: acetona, água mineral, álcool, alho, café, canela, cebola, hortelã, limão, pimenta e vinagre (APÊNDICE III).

A prova de identificação de cor teve por objetivo detectar os julgadores com a capacidade de identificar e diferenciar corretamente as cores. O protocolo seguido foi o proposto por Chaves e Sproesser (1993), que utiliza o teste triangular. Três tubos de ensaio contendo vinho, sendo dois iguais (com 10 mL de vinho) e um diferente (com 8 mL de vinho e 2 mL de água) foram apresentados e foi solicitado que a amostra diferentes, em termos de cor, fosse identificada (APÊNDICE IV).

### 2.6.2 Seleção do painel de julgadores

Nesta etapa, alimentos de referência foram apresentados aos potenciais julgadores, para familiarização com os gostos salgado e amargo, permitindo destacar os que apresentaram maior acuidade sensorial. Em todas as provas, água e bolacha de água/sal foram fornecidas para a limpeza do palato, facilitando assim a degustação das amostras.

O primeiro teste realizado com os julgadores foi o teste de ordenação, com o objetivo de comparar diferenças entre diversas amostras, com relação à intensidade de um atributo específico. Segundo Dutcosky (2019), este teste é um método recomendado para a avaliação do desempenho dos julgadores, utilizado para verificar se as amostras diferem entre si, sem determinar o grau de diferença que existe entre elas. Dois testes de ordenação foram realizados, um deles pretendia avaliar a acuidade quanto ao gosto salgado (APÊNDICE V-I) e o outro, quanto ao gosto amargo (APÊNDICE V-II), e para isso foi utilizada uma série de diluições para cada gosto.

O segundo teste foi o teste triangular, usado com o objetivo de identificar os julgadores com capacidade para detectar diferenças entre amostras (APÊNDICE VI). Três amostras de hambúrguer grelhado e defumado, sendo duas delas iguais (hambúrguer 62% de bovino) e uma diferente (hambúrguer 80% de bovino) foram apresentadas, para que indicassem a amostra diferente.

Para compor o painel de julgadores foram selecionados os vinte candidatos que obtiveram percentual mínimo de acertos de 50% nos testes sensoriais aplicados, dispunham de tempo, gozavam de boa saúde, consumiam peixe salgado-seco, tinham conhecimento sobre termos descritivos.

### 2.6.3 Desenvolvimento da terminologia descritiva e treinamento do painel de julgadores

O levantamento inicial dos termos descritivos para os atributos: aparência, cor, aroma, gosto e textura foram realizados pelo método de rede (*Kelly's Repertory Grid Method*). Em sessões de análise sensorial, o julgador previamente selecionado recebeu, individualmente, um par de amostras, para que similaridades e diferenças fossem destacadas existentes entre elas, com o objetivo de definir e agrupar termos descritivos das amostras e referências de intensidade de cada atributo (APÊNDICE VII).

Durante o treinamento, foi solicitado aos julgadores que avaliassem a intensidade de cada descritor sensorial previamente gerado, em cinco sessões de testes descritivos. De acordo com a metodologia proposta por Dutcosky (2015) foram aplicados os testes de textura

(APÊNDICE VIII) e de escala (para determinar a intensidade de cada atributo), além da avaliação dos atributos em escala hedônica não estruturada (APÊNDICE IX).

#### 2.6.4 Análise sensorial

A análise sensorial foi desenvolvida com a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pará (CEP/ICS/UFPA), com parecer de aprovação n° 12629119.7.0000. A avaliação sensorial foi realizada por 20 julgadores treinados, de 18 a 30 anos, de ambos os sexos. O teste foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial, da Universidade Federal do Pará e todos os julgadores assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE X).

Amostras do pirarucu salgado-seco foram previamente dessalgadas em água a 10°C, em uma proporção de 1:3. Para tal, sete ciclos de troca de água foram realizados, a cada 30 minutos de contato. Após a drenagem da água superficial, as amostras (≈10 g) foram preparadas em chapa aquecedora (PR-650 G, Progás, Brasil), a 120°C, na qual as amostras foram mantidas por 1,5 min de cada lado. Os tempos e temperaturas estabelecidos para os processos de dessalga e cozimento foram definidos a partir de testes preliminares (não apresentados).

As amostras do pirarucu salgado-seco a frio e do pirarucu salgado-seco a quente foram apresentadas separadamente aos julgadores, em pratos brancos numerados aleatoriamente com três dígitos, a uma temperatura média de 40°C, para a avaliação dos atributos: aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global. Os provadores avaliaram as amostras utilizando uma escala não estruturada de 9 cm, com os termos “desgosto totalmente” e “gosto totalmente” ancorados nos pontos extremos (APÊNDICE XI). A intenção de compra dos produtos também foi avaliada. Os índices de aceitabilidade (IA) do filé de pirarucu salgado-seco foram calculados segundo a Equação 10.

$$IA = \frac{A \times 100}{B} \quad (10)$$

onde A: média das notas atribuídas a cada atributo; B: nota máxima do atributo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 PROCESSO DE SALGA

Os filés de pirarucu submetidos ao processo de salga por impregnação de cloreto de sódio, utilizando pulso de vácuo (5 min a 10 kPa a cada 10 min) a 10°C, apresentaram valor médio de 24,34 % (±0,95) para ganho de sólidos (GS) e sofreram uma redução na atividade

de água ( $a_w$ ) de 0,99 ( $\pm 0,23$ ) para 0,84 ( $\pm 0,15$ ). Estas amostras foram, logo após a salga, submetidas ao processo de secagem a quente e a frio. Na secagem a frio a  $a_w$  do produto atingiu um valor médio de 0,81 ( $\pm 0,22$ ); valor este superior ao observado para o produto submetido à secagem a quente ( $a_w = 0,75 \pm 0,11$ ).

A composição centesimal do pirarucu *in natura* e do pirarucu salgado foi determinada e os resultados são apresentados na Tabela 2 (colunas dois e três). Na Tabela 2 (colunas quatro e cinco) são também apresentados os dados da composição centesimal do pirarucu salgado, após secagem a frio e a quente, respectivamente. O processo de salga promoveu uma redução na umidade do peixe, em 16% e, após a secagem complementar, a redução da umidade foi de 22%, para o processo a frio, e de 35%, para o processo a quente. O teor de proteínas também sofreu uma redução ( $p \leq 0,05$ ) no produto salgado e nos produtos salgados-secos, em função do aumento na concentração de cloretos e, conseqüentemente das cinzas.

**Tabela 2.** Composição centesimal do pirarucu *in natura*, do pirarucu salgado e do pirarucu salgado-seco a frio e a quente.

Parâmetros (g/100g)*	Pirarucu <i>in natura</i>	Pirarucu salgado	Pirarucu salgado-seco a frio	Pirarucu salgado-seco a quente
Umidade	77,50 <sup>a</sup> $\pm$ 1,05	64,79 <sup>b</sup> $\pm$ 2,23	60,23 <sup>c</sup> $\pm$ 0,64	49,97 <sup>d</sup> $\pm$ 1,61
Cinzas	1,52 <sup>b</sup> $\pm$ 0,27	19,90 <sup>a</sup> $\pm$ 1,22	21,62 <sup>a</sup> $\pm$ 3,18	23,94 <sup>a</sup> $\pm$ 1,60
Lipídeos	0,86 <sup>a</sup> $\pm$ 0,19	0,62 <sup>b</sup> $\pm$ 0,07	0,61 <sup>b</sup> $\pm$ 0,09	0,64 <sup>b</sup> $\pm$ 0,05
Proteína bruta	22,02 <sup>a</sup> $\pm$ 0,28	17,76 <sup>b</sup> $\pm$ 0,33	17,60 <sup>b</sup> $\pm$ 1,13	14,90 <sup>c</sup> $\pm$ 0,80
Cloretos	0,64 <sup>b</sup> $\pm$ 0,08	18,47 <sup>a</sup> $\pm$ 1,94	20,31 <sup>a</sup> $\pm$ 2,69	22,11 <sup>a</sup> $\pm$ 2,28

\* Média  $\pm$  desvio padrão; Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ).

A análise de variância (ANOVA) indicou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as médias de umidade, para os diferentes produtos. A umidade está relacionada com a estabilidade e a vida útil de um alimento, e para o presente estudo, tanto a umidade do peixe *in natura*, quanto dos produtos salgado e salgado-seco sugerem alterações nas características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais dos mesmos. O maior valor de umidade foi observado no peixe *in natura* e, conforme já mencionado, uma redução gradativa da umidade foi promovida ao longo das etapas de beneficiamento, uma vez que a salga se baseia no princípio da desidratação osmótica, que reduz parcialmente o teor de água do produto. Em relação aos efeitos da secagem sobre a umidade do produto salgado, a redução promovida pela secagem a quente foi maior que a promovida pela secagem a frio.

O aumento substancial no teor de cinzas dos produtos salgado e salgado-seco é justificado pelo aumento do teor de cloretos, devido a impregnação do sal. A mesma condição de impregnação foi utilizada no pirarucu salgado e nos produtos salgados-secos, portanto não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os produtos, para esta propriedade.

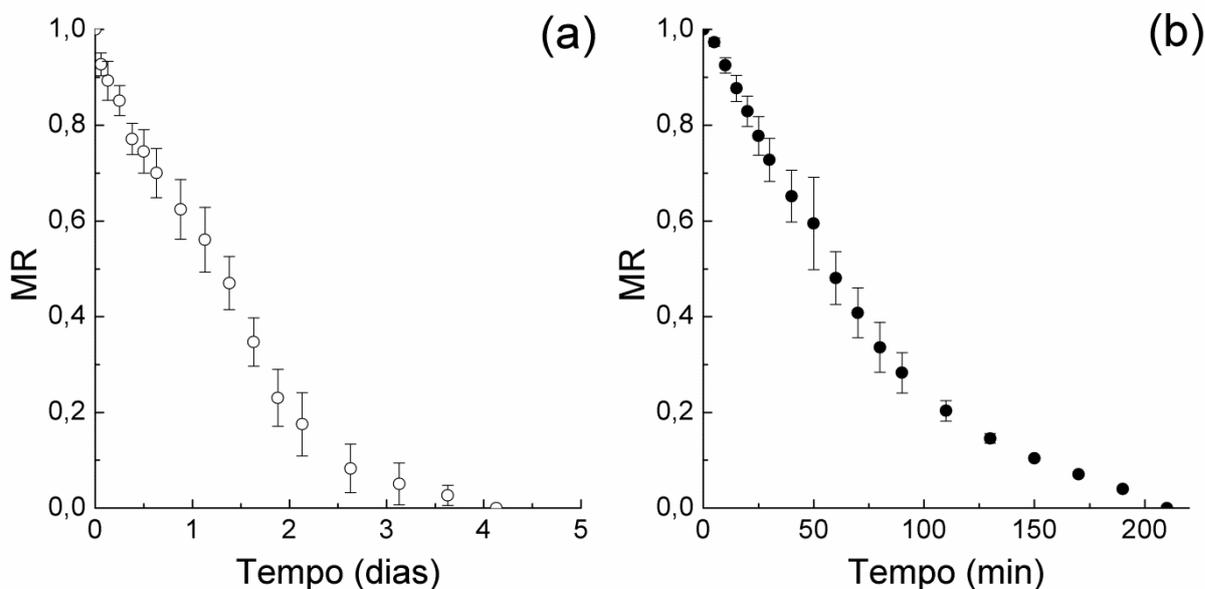
Tanto no produto salgado, quanto nos produtos salgados-secos houve um decréscimo no percentual de lipídeos em relação ao peixe *in natura*, o que pode ser atribuído ao aumento da concentração de sal nos produtos. Oliveira et al. (2008) observaram um aumento no percentual de gordura, de 8,67 g/100 g no mandim *in natura* para 13,58 g/100 g no mandim salgado-seco e Szenttamásy et al. (1993) observaram um aumento de 3,79 g/100 g no pacu *in natura* para 18,31 g/100 g no pacu salgado-seco. Segundo Albourg (2010), esse comportamento é mais comum em peixes considerados de médio (4-8%) e alto (>8%) percentual de gordura, o que não é o caso do pirarucu, que é um peixe magro (<2%) (MARTINS et al., 2017).

A proteína é o componente majoritário do pirarucu *in natura*, sofreu redução de 19% após a salga, de 20% após a secagem a frio e de 32% após secagem a quente. Este comportamento foi semelhante aos observado para os lipídios e a justificativa é a mesma. Elevadas concentrações de sal (>10%), como a utilizada no processo de impregnação do filé de pirarucu, promovem uma maior força de interação proteína-proteína, resultando em encolhimento do músculo e, conseqüente, desidratação (SIGURGILADITTIR et al., 2000; THORARINSDOTTIR et al., 2011). Além disso, as proteínas podem ser desnaturadas, devido a interação proteína-sal que promove uma intensa desidratação das proteínas miofibrilares, modificando a textura do tecido e afetando também a capacidade de retenção de água (BOUDHRIOUA et al., 2009; CHAIJAN, 2011).

### 3.2 PROCESSO DE SECAGEM

O processo de secagem do pirarucu salgado tanto a frio quanto a quente foi acompanhado e é apresentado na Figura 1. No geral, as curvas apresentaram o mesmo comportamento, com maiores taxas de secagem observadas no processo conduzido a quente, o que é comprovado pelos valores do coeficiente de difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ), que foi de  $2,35 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  para a secagem a quente e de  $8,10 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  para a secagem a frio. Temperatura elevada pode provocar a desnaturação de proteínas do pescado, e a conseqüente diminuição da solubilidade das mesmas, fazendo com que essas proteínas percam a capacidade de retenção de água. A redução das forças de ligação proteína-água favorece o

processo de remoção da água do produto (THORARINSDOTTIR et al., 2011), o que foi observado para o processo a quente.



**Figura 2.** Curvas de secagem para o filé do dorso do pirarucu salgado e seco a frio (a) e a quente (b).

O processo de secagem a frio do músculo do pirarucu salgado apresentou menores taxas de secagem, que o processo a quente, o que pode ser comprovado pelo comportamento das cinéticas de secagem (Figura 2) e pelos valores de  $D_{\text{eff}}$ . Embora a secagem contribua para a conservação de um produto, temperaturas elevadas podem provocar a destruição de nutrientes, devido à quebra da estrutura celular, e a complexação de proteínas/peptídeos com outros constituintes, o que pode afetar a funcionalidade das proteínas (LIU et al., 2008; CHEN et al., 2011; STANOJEVIC et al., 2011).

Os valores das estatísticas (coeficiente de determinação –  $R^2$ , qui-quadrado reduzido –  $\chi^2$  e erro médio relativo quadrático – RMSE), obtidos para os ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem do pirarucu salgado, a frio e a quente, são apresentados na Tabela 3. Os valores de  $R^2$  próximo a um e os baixos valores de  $\chi^2$  e RMSE indicam que todos os modelos testados são capazes de prever com boa precisão as cinéticas de secagem do produto, porém o modelo Logarítmico (três parâmetros) foi o que apresentou o melhor ajuste para o processo conduzido a frio, enquanto o modelo de Midilli (quatro parâmetros) foi o que melhor se adequou aos dados do processo conduzido a quente. Apesar disso, o modelo de Page, por ter apresentado um bom ajuste e possuir apenas dois parâmetros, o que facilita a sua solução matemática, pode ser melhor utilizado para efeitos práticos, na predição das

cinéticas de secagem do filé de pirarucu salgado, tanto para o processo a frio quanto para o processo a quente.

**Tabela 3.** Valores das estatísticas para os ajustes dos modelos aos dados de secagem a frio e a quente do pirarucu salgado.

Modelos	Secagem a frio			Secagem a quente		
	R <sup>2</sup>	$\chi^2 \times 10^3$	RMSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2 \times 10^3$	RMSE
Newton	0,974	3,209	0,055	0,983	2,070	0,044
Page	0,985	2,046	0,041	0,999	0,160	0,012
Henderson e Pabis	0,974	3,365	0,055	0,990	1,250	0,033
Dois termos exponencial	0,974	3,436	0,055	0,983	2,220	0,045
Logarítmico	0,989	0,066	0,007	0,996	0,491	0,020
Aproximação da difusão	0,985	2,038	0,041	0,999	0,171	0,012
Verma	0,975	3,538	0,054	0,990	1,420	0,033
Midilli	0,991	1,314	0,032	0,999	0,154	0,011
Dois termos	0,974	3,860	0,054	0,990	1,421	0,0334

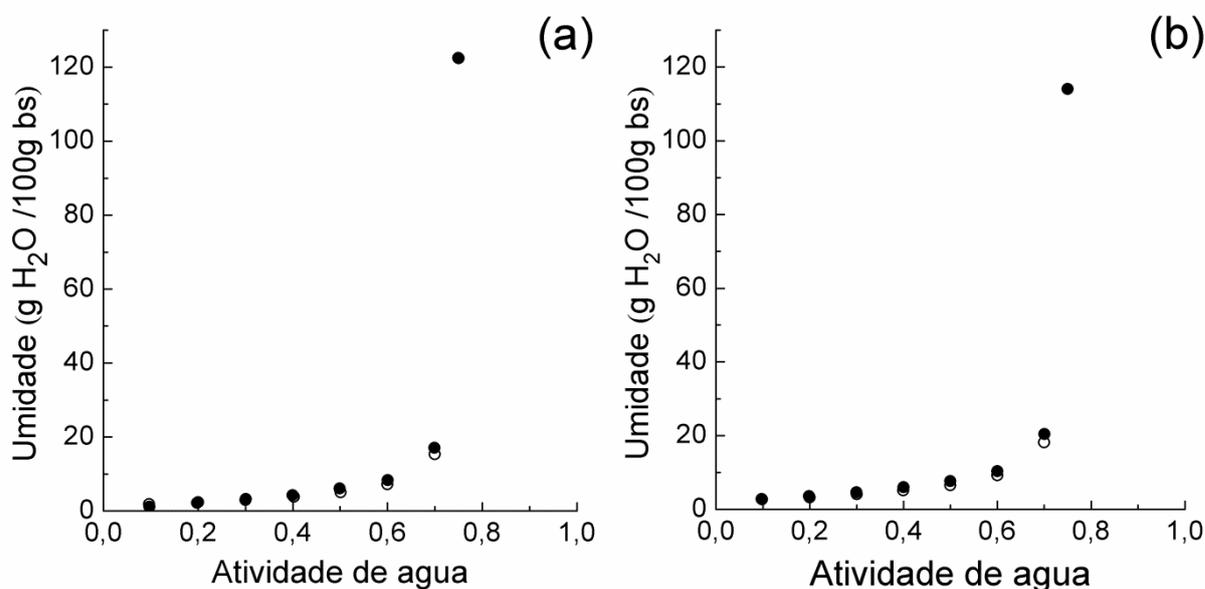
### 3.3 AVALIAÇÃO HIGROSCÓPICA DO PRODUTO

A impregnação com cloreto de sódio, complementada com o processo de secagem, é um processo que agrega valor ao produto e diversifica a sua utilização. Devido à baixa umidade, uma das propriedades que deve ser levada em consideração nesse tipo de produto é a higroscopicidade, a qual está ligada à estabilidade física, química e microbiológica do mesmo, e pode ser avaliada a partir das isotermas de sorção de umidade do produto. Neste sentido, as isotermas de adsorção e de dessorção de umidade foram obtidas para o pirarucu salgado e seco a frio e a quente, e são apresentadas na Figura 2.

De acordo com a classificação proposta por Blahovec e Yanniotis (2009), as isotermas do pirarucu salgados-secos apresentaram comportamento tipo II, que é a forma mais comum de isotermas de alimentos e característica de produtos proteicos. Hubinger et al. (2009) observaram isotermas tipo II para filé de Bonito (*Sarda sarda*) desidratado/defumado. Molina-Filho et al. (2006) observaram isotermas tipo III para Tambaqui (*Colossoma macroporum*) desidratado osmoticamente e Martins, Martins e Pena (2015) observaram comportamento tipo III, para o pirarucu salgado-seco, com teor de sal de 10% a 40%.

Os dois produtos obtidos são altamente higroscópicos, o que ficou mais pronunciado a partir de uma  $a_w$  de 0,6. De acordo com Knani et al. (2012), uma vez que as isotermas de sorção de umidade representam a matéria higroscópica integrada das propriedades de vários constituintes de um alimento, as propriedades de sorção podem mudar como resultado de interações químicas e físicas, induzidas por aquecimento ou por outros métodos de pré-

tratamento (salga, desidratação osmótica, ultrassom). As isotermas dos produtos estabilizaram para um nível máximo de  $a_w$  de 0,75, em função da saturação do NaCl na fração aquosa do produto. Uma solução aquosa saturada de NaCl apresenta uma  $a_w$  de 0,75 a temperatura ambiente (GREENSPAN, 1977).



**Figura 3.** Isotermas de adsorção (○) e de dessorção (●) de umidade para o pirarucu salgado-seco a frio (a) e a quente (b).

Um maior nível de umidade foi observado no produto seco à frio e não foi observado efeito de histerese para nenhum dos dois produtos. Segundo Caurie (2007), o efeito de histerese pode ser utilizado como um índice de qualidade para alimentos, onde o aumento da histerese é indicativo de baixa estabilidade, e a redução ou ausência de histerese indicam uma maior estabilidade do produto durante o armazenamento. Martins, Martins e Pena (2015) também verificaram a inexistência de histerese para o pirarucu salgado-seco, com diferentes teores de sal (10-40 g/100g bs).

A monocamada é o nível de umidade na qual um produto alimentício apresenta sua maior estabilidade aos processos degradativos diversos. Os valores da monocamada ( $m_o$ ) determinados para o filé de pirarucu salgado-seco a frio foram de 2,43 g H<sub>2</sub>O/100 g ( $R^2 = 0,97$ ) para a adsorção e 3,55 g H<sub>2</sub>O/100 g ( $R^2 = 0,97$ ) para a dessorção. Já Para o pirarucu salgado-seco a quente os valores de  $m_o$  foram de 3,24 g H<sub>2</sub>O/100 g ( $R^2 = 0,99$ ) para a adsorção e 3,93 g H<sub>2</sub>O/100 g ( $R^2 = 0,98$ ) para a dessorção. Com base no valor de  $m_o$  para a dessorção, não é recomendado que a secagem a frio e a secagem à quente se estendam até níveis de umidade inferiores a 4 g H<sub>2</sub>O/100 g bs, para evitar gastos desnecessários, visto que abaixo de  $m_o$  há um aumento exponencial na quantidade de energia envolvida no processo de

secagem (ROCKLAND, 1969). Como nesse nível de umidade, a  $a_w$  dos produtos é inferior 0,3, a estabilidade microbiológica dos produtos estará altamente garantida (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980). Vale ressaltar que os dados da adsorção indicam que o produto salgado, quando secos a frio e a quente, terá a estabilidade microbiológica assegurada em níveis de umidade de 7 g H<sub>2</sub>O/100 g bs e 9 g H<sub>2</sub>O/100 g bs ( $a_w < 0,6$ ), respectivamente.

Segundo Lawrie (2005), a capacidade de retenção de água decresce com o aumento da temperatura de secagem, devido à desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas. O autor relata que em temperaturas brandas (de 10 a 30°C) não ocorre alteração no grau de reidratação do produto. Assim, o processo de secagem a frio pode contribuir para a manutenção das propriedades sensoriais e nutricionais do produto, devido à utilização de baixas temperaturas.

### 3.4 AVALIAÇÃO SENSORIAL DO PRODUTO

A influência dos processos de secagem a frio e a quente sobre as características sensoriais do pirarucu salgado foi avaliada e os valores médios das notas atribuídas pelos julgadores, para os atributos cor, aroma, sabor, textura, aparência e impressão global, juntamente com o índice de aceitação (IA), são apresentados na Tabela 4. É importante ressaltar que antes de serem apresentados aos julgadores, os produtos salgados-secos foram previamente dessalgados.

**Tabela 4.** Médias das notas dos atributos e do índice de aceitabilidade do filé de pirarucu salgado-seco a frio e a quente.

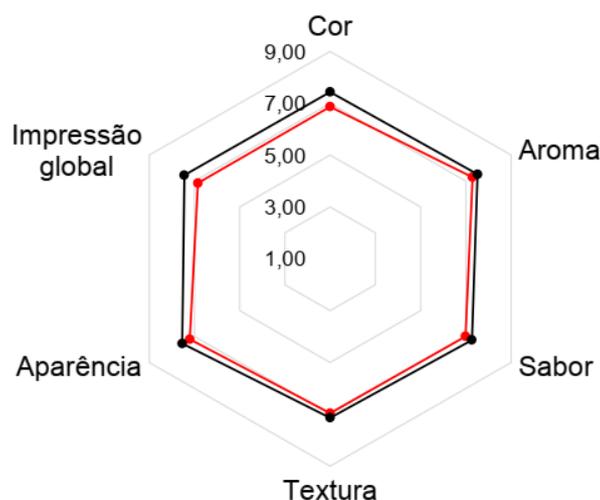
Atributos	Pirarucu salgado-seco a frio		Pirarucu salgado-seco a quente	
	Notas*	IA	Notas*	IA
Cor	6,87 <sup>a</sup> ± 1,58	76,31	7,44 <sup>a</sup> ± 1,77	82,62
Aroma	7,30 <sup>a</sup> ± 1,5	81,06	7,52 <sup>a</sup> ± 1,39	83,53
Sabor	6,99 <sup>a</sup> ± 2,16	77,63	7,27 <sup>a</sup> ± 1,79	80,76
Textura	6,96 <sup>a</sup> ± 1,91	77,32	7,14 <sup>a</sup> ± 1,82	79,29
Aparência	7,21 <sup>a</sup> ± 1,51	80,10	7,54 <sup>a</sup> ± 1,70	83,79
Impressão global	6,85 <sup>a</sup> ± 1,66	76,06	7,45 <sup>a</sup> ± 1,38	82,78

\*Média ± desvio padrão;. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ).

O teste de comparação de médias indicou que não houve diferença significativa, ao nível de 5%, para nenhum dos atributos avaliados, embora as maiores médias tenham sido atribuídas ao produto salgado-seco a quente, o que também foi refletido nos maiores índices de aceitação (IA) para esse produto. Ao desenvolver um novo produto ou sugerir uma

contribuição tecnológica para algum processo, como é o caso do processo de salga por impregnação a frio, com pulsos periódicos de vácuo, e a secagem a frio, um dos pontos fundamentais é avaliar a aceitação do produto, pelo consumidor (MOSCATTO et al., 2004). Segundo Dutcosky (2015), para que um produto seja considerado aceito, em termos das propriedades sensoriais, é necessário que ele obtenha um IA de, no mínimo, 70%. Uma vez que o IA calculado para todos os atributos foi superior a 70%, pode-se afirmar que, tanto o pirarucu salgado e seco a quente, quanto o seco a frio, foram bem aceitos.

Uma forma de representar graficamente os resultados da análise sensorial é através do gráfico radar (Figura 4), no qual é possível visualizar com maior clareza as médias das notas atribuídas a cada um dos atributos avaliados e o nível de similaridade entre a avaliação das duas amostras.



**Figura 4.** Gráfico radar com as médias atribuídas aos atributos avaliados nas amostras de pirarucu salgado-seco a frio (●) e a quente(●).

Nos comentários feitos pelos julgadores, em relação às características desfavoráveis dos produtos foi mencionado que o teor de sal poderia ser um pouco menor, principalmente no produto salgado-seco a frio, o que sugere a necessidade do uso de mais ciclos de dessalga. Tais comentários justificam as notas médias e índices de aceitabilidade inferiores para esse produto. Em testes preliminares, um ciclo a mais foi realizado e a dessalga praticamente completa foi observada, o que indica a necessidade do uso de um ciclo com menor tempo para que o teor de sal atingido seja o ideal.

Em contrapartida, comentários favoráveis foram feitos para os produtos salgados-secos, em relação a semelhança com o peixe *in natura*. A salga e a secagem tradicionais expõem o pirarucu à temperaturas elevadas, por um longo tempo. Assim, combinação de processos com condições mais controladas e que resultam em menores tempos de processo,

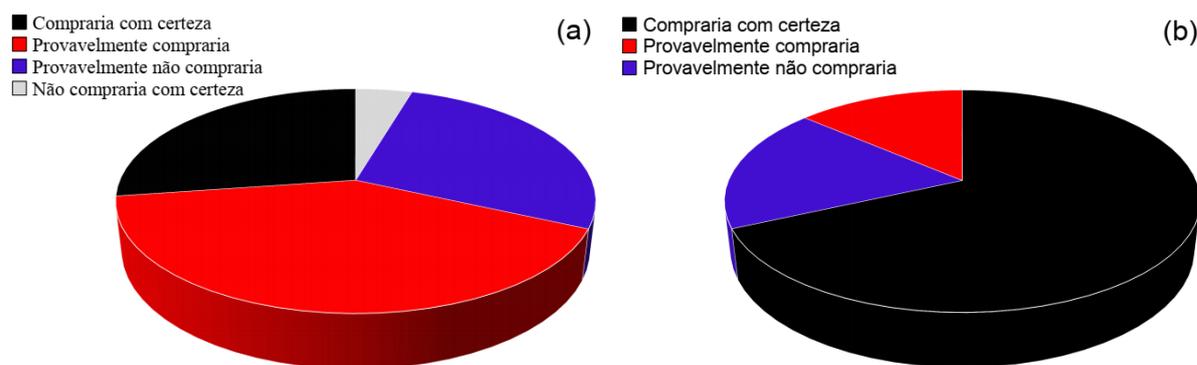
tendem a reduzir a degradação dos componentes nutricionais e amenizar alterações sensoriais indesejáveis no produto.

A partir das características físico-químicas (Tabela 2) e da avaliação sensorial é possível constatar que uso da impregnação de sal a frio, com pulsos periódicos de vácuo, promoveu homogeneidade da salga das amostras e garantiu a preservação de parâmetros nutricionais e sensoriais do produto, independente da condição empregada no processo de secagem. A impregnação com a aplicação de pulsos de vácuo garante um processo osmótico mais rápido, devido à ação conjunta dos mecanismos hidrodinâmicos e de fenômenos de relaxamento e deformação, que favorecem a troca gás-liquido, causada pelo efeito combinado da ação capilar e de um gradiente de pressão, e, conseqüentemente, uma mudança rápida da composição da amostra (SHI et al., 1995; FITO et al., 1996; FITO et al., 2001; ZHAO; XIE, 2004).

A semelhança do pirarucu salgado-seco dessalgado com o pirarucu *in natura* indica a boa capacidade de reidratação. A capacidade de reidratação pode ser relacionada com as mudanças estruturais, como a porosidade (MUÑOZ et al., 2012) e com propriedades relacionadas com a qualidade do produto, como a textura (NATHAKARANAKULE et al., 2007). Os processos de secagem são considerados menos drásticos quanto maior for à capacidade de reidratação do produto seco. Isso, porque durante a secagem ocorre a desnaturação das proteínas miofibrilares e do tecido conjuntivo, como o colágeno. Essas proteínas quando desnaturadas apresentam uma diminuição da capacidade de retenção de água (LAWRIE, 2005; NATHAKARANAKULE et al., 2007).

Grande parte dos provadores demonstrou uma intenção de compra favorável aos dois produtos, como pode ser observado na Figura 5. As maiores notas médias para os atributos (Tabela 4) e a ausência de rejeição (Figura 5) foram observadas na avaliação do produto salgado-seco a quente. O índice de rejeição do produto salgado-seco a frio foi mínimo, não atingindo 5%, indicando ainda uma tendência positiva a compra, uma vez que a maioria dos julgadores declarou a possibilidade de aquisição do produto.

A avaliação nutricional, sensorial e da intenção de compra positivas indicam a viabilidade do uso dos processos de secagem a quente e a frio, uma vez que não foi observada diferença sensorial significativa entre dois produtos. O processo de salga por impregnação, conduzida a frio, com a aplicação de pulsos periódicos de vácuo, também se apresenta como um processo viável e promissor, já que o seu uso favoreceu a manutenção das características nutricionais e sensoriais do produto, permitindo que após o processo de dessalga o mesmo recuperasse as características do pescado *in natura* (aparência, cor, aroma, textura).



**Figura 5.** Intenção de compra do pirarucu salgado-seco a frio (a) e a quente (b).

#### 4 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, pela primeira vez a secagem a frio (a 10°C) foi estudada e comparada com a secagem convencional (a 50°C), como um processo complementar à salga em salmoura do filé de pirarucu. As taxas de transferência de massa foram fortemente influenciadas pela condição de secagem, sendo a  $D_{\text{eff}}$  bem maior do processo a quente ( $2,35 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ), que para o processo a frio ( $8,10 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ). O modelo Logarítmico foi o que apresentou o melhor ajuste para o processo conduzido a frio, enquanto o modelo de Midilli foi o que melhor se adequou ao processo conduzido a quente. Para efeitos práticos, modelo de Page também se mostrou eficiente para prever tanto as curvas de secagem a frio, quanto a quente do filé de pirarucu salgado. De acordo com as isotermas de sorção de umidade, a secagem do filé de pirarucu salgado não deve ser conduzida até umidades inferiores a 4 g H<sub>2</sub>O/100 g bs, e a estabilidade microbiológica do produto estará assegurada em umidade de 7,5 g H<sub>2</sub>O/100 g, para o produto seco a frio, e de 9,9 g H<sub>2</sub>O/100 g, para o produto seco quente. Não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para a aceitação sensorial dos produtos obtidos por secagem a frio e por secagem a quente e, ambos os produtos obtiveram índices de aceitabilidade superiores a 75%, o que confirma que os produtos foram muito bem aceitos pelos julgadores.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 99-104.
- ALBARRACÍN, W. SÁNCHEZ, I. C.; GRAU, R.; BARAT. J. M. (2011). Salt in food processing; usage and reduction: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, p. 1329-1336.
- ALBOURG, S. P. Lipid Compounds. In: NOLLET, L. M. L.; TOLDRÁ, F. **Handbook of seafood and seafood products analysis**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2010. p. 69-86.

- AOAC. (2016). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 20 ed. Gaithersburg: AOAC INTERNATIONAL. 3100 p.
- BARAT, J. M. et al. Influence of cod freshness on the salting, drying and desalting stages. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 73, p. 9-19, 2006.
- BARAT, J. M.; RODRIGUEZ-BARONA, S.; ANDRÉS, A.; FITO, P. (2003). Cod salting manufacturing analysis. *Food Research International*, v. 36, p. 447-453.
- BASTOS, J. R. Processamento e conservação do pescado. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, FAO. **Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes**. Brasília: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1988. cap. 7.
- BELLAGHA, S. et al. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 78, p. 947-952, 2007.
- BEZERRA, R. F.; SOARES, M. C. F.; CARVALHO, E. M.; COELHO, L. C. B. (2013). **Pirarucu, Arapaima gigas, the Amazonian Giant Fish is Briefly Reviewed**. New York: Nova Biomedical. 41 p.
- BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. (2009). Modified classification of sorption isotherms. *Journal of Food Engineering*, v. 91, p. 72-77.
- BOUDHRIOUA, N.; DJENDOUBI, N.; BELLAGHA, S.; KECHAUOU, N. (2009). Study of moisture and salt transfers during salting of sardine fillets. *Journal of Food Engineering*, v. 94, p. 83-89.
- BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; TELLER, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, v. 60, p. 309-319.
- CAURIE, M. (2007). Hysteresis phenomenon in foods. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 42, p. 45-49.
- CHAVES, J.; SPROESSER, R. (1993). **Práticas de Laboratório de Análise Sensorial de Alimentos e Bebidas**. Editora UFV.
- CHEN, L.; CHEN, J.; REN, J.; ZHAO, M. (2011). Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59, 2600–2609.
- DUTCOSKY, S. D. (2019). **Análise Sensorial de Alimentos**. 5 ed. Curitiba: Champagnat. 540 p.
- FELLOWS, P. J. (2009). **Food processing technology: principles and practice**. 3 ed. Boca Raton: CRC Press. 928p.
- FERREIRA, M. W.; SILVA, V. K.; BRESSAN, M. C.; FARIA, P. B.; VIEIRA, J. O.; ODA, S. H. I. (2002). **Pescados Processados: maior vida de prateleira e maior valor agregado**. Lavras: Universidade Federal de Lavras (Boletim de Extensão). 26 p.
- FITO, P.; ANDRES, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, v. 27, p. 229-240.
- FITO, P.; CHIRALT, A.; BETORET, N.; GRAS, M.; CHAFER, M.; MARTINEZ-MONZO, J.; ANDRES, A.; VIDAL, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p. 175-183.

- GREENSPAN, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Resources of Natural Bureau of Standards A – Physics and Chemistry**, v. 81, p. 89-96.
- HOFMEISTER, L. C.; SOUZA, J. A. R.; LAURINDO, J. B. (2005). Use of dyed solutions to visualize different aspects of vacuum impregnation of Minas cheese. **Food Science Technology**, v. 38, p. 379-386.
- HUBINGER, M. D.; VIVANCO-PEZANTES, D.; KUROZAWA, L. E.; SOBRAL, P. J. A. (2009). Isotermas de dessorção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 305-311.
- IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2002. 889 p.
- JUNK, W. J.; SOARES, M. G. M.; BAYLEY, P. B. (2007). Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 10, p. 153-173.
- KNANI, S.; KHALFOUI, M.; HACHICHA, M. A.; LAMINE, A. B.; MATHOUTH. (2012). Modelling of water vapour adsorption on foods products by a statistical physics treatment using the grand canonical ensemble. **Food Chemistry**, v. 132, p. 1686-1692.
- KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. (2002). Heat and mass transfer coefficients in drying: Compilation of literature data. **Drying Technology**, v. 20, p. 1-18.
- LAWRIE, R. A. (2005). **Ciência da carne**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed. 384 p.
- LIU, C.; WANG, X.; MA, H.; ZHANG, Z.; GAO, W.; XIAO, L. (2008). Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. **Food chemistry**. v. 111, p. 29-37.
- LOURENÇO, L. F. H.; FERNANDES, G. M. L.; CINTRA, I. H. A. Características físicas, químicas e microbiológicas da pescada-branca (*Plagioscion squamosissimus*) salgada e seca em secador solar. **Boletim Técnico Científico CEPNOR/IBAMA**, v. 1, n. 1, p. 135-144, 2001.
- LOURENÇO, L. F. H.; SOUSA, C. L.; SILVA, I. Q. (2008). Análises microbiológicas da carne de pirarucu (*Arapaima gigas*) seco/ salgado comercializado em feiras e supermercados de Belém e elaboração de produto similar em laboratório visando estabelecer a vida de prateleira. **Revista Higiene Alimentar**, v. 22, p. 15-23.
- MARTINS, M. G.; CHADA, P. S. N.; PENA, R. S. (2019). Application of pulsed-vacuum on the salt impregnation process of pirarucu fillet. **Food Research International**, v. 120, p. 407-414.
- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 144-151.
- MOLINA-FILHO, L.; PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; BARBOZA, S. H. R. (2006). Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 26, p. 453-458.
- MOSCATTO, J. A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. (2004). Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, p. 634-640.
- MUÑOZ, I.; GARCIA-GIL, N.; ARNAU, J.; GOU, P. (2012). Rehydration kinetics at 5 and 15 °C of dry salted meat. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 465-471.

- NATHAKARANAKULE, A.; KRAIWANICHKUL, W.; SOPONRONNARIT, S. (2007). Comparative study of different combined superheated-steam drying techniques for chicken meat. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 1023-1030.
- OLIVEIRA, F. R.; LIRA, G. M.; TORRES, E. A. F. S.; SOARES, R. A. M.; MENDONÇA, S.; SILVA, K. W. B.; SIMON, S. J. G. B.; SANTOS, T. M. P.; CABRAL JUNIOR, C. R. (2008). Efeito do beneficiamento sobre o valor nutricional do peixe mandim (*Arius spixii*). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, p. 655-667.
- OLIVEIRA, P. R.; JESUS, R. S.; BATISTA, G. M.; LESSI, E. (2014). Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 67-74.
- RATTI, C. **Advances in Food Dehydration**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 467 p.
- ROCKLAND, L. B. (1969). Water activity and storage stability. **Food Technology**, v. 23, p. 1241-1251.
- ROCKLAND, L. B.; NISHI, S. K. (1980). Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, v. 34, p. 42-59.
- SALWIN, H. (1963). Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v. 17, p. 1114-1121.
- SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. (2008). Salting operational diagrams for chicken breast cuts: Hydration–dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 36-44.
- SCHMIDT, F. W.; CHEN, Y. S.; KIRB-SMITH, M.; MACNEIL, J. H. (1977). Low temperature air drying of carrot cubes. **Journal of Food Science**, v. 42, p. 219-222.
- SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during the osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, v. 28, p. 445-454.
- STANOJEVIC, S. P.; BARAC, M. B.; PESIC, M. B.; VUCELIC-RADOVIC, B. V. (2011). Assessment of soy genotype and processing method on quality of soybean tofu. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 7368-7376.
- SZENTTAMÁSY, E. R.; BARBOSA, S. M. V. B.; OETTERER, M.; MORENO, I. A. M. (1993). Tecnologia do pescado de água doce: aproveitamento do pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Scientia Agricola**, v. 50, p. 303-310.
- THORARINSDOTTIR, K. A.; ARASON, S.; SIGURGISLADOTTIR, S.; VALSDOTTIR, T.; TORNBERG, E. (2011). Effect of different pre-salting methods on protein aggregation during heavy salting of cod fillets. **Food Chemistry**, v. 124, p. 7-14.
- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. (2006). Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 715-723.
- VIEIRA, J. A. G.; CAL-VIDAL, J. (1995). Secagem a frio de creme de abacate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 553-562.
- YUCEL, U.; ALPAS, H.; BAYINDIRLI, A. (2010). Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 266-272.
- ZHAO, Y.; XIE, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Food Science & Technology**, v. 15, p. 434-451.

# Apêndices

---

## APÊNDICE I – Questionário para recrutamento de julgadores

Você já deve ter ouvido falar de julgadores profissionais de vinhos que diferenciam vinhos de diferentes safras apenas pelo odor. O que torna estas pessoas capazes de tal façanha é principalmente o treinamento que elas recebem. Para esta pesquisa, deseja-se formar uma equipe treinada de julgadores, cuja responsabilidade é avaliar sensorialmente o Pirarucu defumado por fumaça líquida, ajudando torná-lo ainda melhor. Ser um julgador não exigirá de você nenhuma habilidade excepcional, não tomará muito do seu tempo e não envolverá nenhuma tarefa difícil. A equipe de julgadores se reunirá conforme a disponibilidade de todos. Se você deseja participar da equipe de julgadores preencha este formulário e caso tenha alguma dúvida, por favor, pergunte.

Nome: \_\_\_\_\_

Profissão/Ocupação: \_\_\_\_\_

Faixa etária: 15-20 ( )    20-30 ( )    30-40 ( )    40-50 ( )

Endereço: \_\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

1- Quais os dias e horários da semana que você poderá participar das sessões de treinamento:

Segunda-feira: ( )    Horário: \_\_\_\_\_    Terça-feira: ( )    Horário: \_\_\_\_\_

Quarta-feira: ( )    Horário: \_\_\_\_\_    Quinta-feira: ( )    Horário: \_\_\_\_\_

Sexta-feira: ( )    Horário: \_\_\_\_\_

2- Indique o dia e o mês que deseja tirar férias e quando voltará: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3- Hábitos

Fumante: ( ) Sim ( ) Não      Toma cafezinho frequentemente? ( ) Sim ( ) Não

4- Indique o quanto você aprecia estes produtos

Peixe defumado    ( ) gosto ( ) indiferente ( ) desgosto

Peixe salgado-seco    ( ) gosto ( ) indiferente ( ) desgosto

5- Cite alimentos que você não gosta de comer: \_\_\_\_\_

6- Quais são seus alimentos (comidas) favoritos? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7- Cite dois alimentos que sejam ácidos: \_\_\_\_\_

8- Cite dois alimentos que sejam doces: \_\_\_\_\_

9- Cite dois alimentos que sejam amargos: \_\_\_\_\_

10- Cite dois alimentos suculentos: \_\_\_\_\_

11- Cite dois alimentos que grudem nos dentes ao serem mastigados?  
\_\_\_\_\_

12- É intolerante/alérgico a algum ingrediente/alimento? Qual ou quais? \_\_\_\_\_

13- Você se encontra em dieta por razões de saúde/estética? Em caso afirmativo explique, por favor. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

14- Indique se você possui:

( ) Diabetes

( ) Hipertensão

( ) Doença bucal

( ) Hipoglicemia

**APÊNDICE II – Ficha de avaliação usada na prova de identificação de gostos**

Nome: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

**TESTE DE RECONHECIMENTO DE GOSTOS**

Prove cuidadosamente cada solução e indique o gosto percebido, preenchendo com um X no quadro correspondente ao gosto previamente identificado.

Amostra	Doce	Salgado	Amargo	Ácido	Umami
731					
403					
541					
129					
935					

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**APÊNDICE III – Ficha de avaliação usada na prova de identificação de odores**

Nome: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_

E-mail : \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

**TESTE DE RECONHECIMENTO DE ODORES**

Aspire a primeira amostra. Identifique o odor e registre na ficha. Aguarde alguns segundos para aspirar a próxima amostra, ou realize o branco cheirando seu braço ou mão, inodoros. Proceda desta forma para as amostras restantes.

Banana Cebola Café Vinagre Limão Hortelã Álcool Água Canela Pimenta Acetona Alho

137

304

451

921

539

553

205

623

768

263

867

685

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**APÊNDICE IV– Ficha de avaliação usada na prova de identificação de cor**

Nome: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_  
E-mail: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

**TESTE DE RECONHECIMENTO DE CORES**

Dessas amostras apresentadas, duas são iguais e uma é diferente, relativo ao atributo cor. Identifique com um círculo em volta da amostra diferente.

Amostras:

\_\_\_\_\_

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## APÊNDICE V – Ficha de avaliação usada na prova de identificação de gostos

### APÊNDICE V-I: Ficha de avaliação usada na prova de identificação do gosto salgado

TESTE DE ORDENAÇÃO			
Nome: _____		Data: ____/____/____	
Instruções:			
- Beba um pouco de água antes de provar qualquer amostra.			
- Ordene as amostras de acordo com a intensidade do gosto SALGADO.			
- Você está recebendo 4 amostras de gosto salgado, ordene-as de acordo com a intensidade do gosto.			
_____	_____	_____	_____
1	2	3	4
Comentários: _____			
_____			

### APÊNDICE V-II: Ficha de avaliação usada na prova de identificação do gosto amargo

TESTE DE ORDENAÇÃO			
Nome: _____		Data: ____/____/____	
Instruções:			
- Beba um pouco de água antes de provar qualquer amostra.			
- Ordene as amostras de acordo com a intensidade do gosto AMARGO.			
- Você está recebendo 4 amostras de gosto salgado, ordene-as de acordo com a intensidade do gosto.			
_____	_____	_____	_____
1	2	3	4
Comentários: _____			
_____			

**APÊNDICE VI – Ficha de avaliação usado no teste triangular**

Nome: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Email: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

**Teste triangular**

Avalie o sabor de cada uma das amostras, da esquerda para a direita, coloque a codificação das amostras nos espaços abaixo e circule a amostra que se diferencia das outras duas.

Amostras:

\_\_\_\_\_

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### APÊNDICE VII – Desenvolvimento da terminologia descritiva

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Instruções:

- Você está recebendo 2 amostras, cada uma com um código.
- Você deverá identificar o que elas apresentam de semelhança e diferença, para todos os atributos (sabor, aroma, textura, aparência).
- Você deve descrever as características utilizando adjetivos que as representem.
- Não utilizar os termos agradável/desagradável.

Atributos	Amostras: _____	
	Semelhanças	Diferenças
Sabor		
Aroma		
Textura		
Aparência		

**APÊNDICE VIII – Ficha de avaliação usado no teste de textura (elasticidade / dureza / fraturabilidade)**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Instruções:

- Beba um pouco de água antes de provar qualquer amostra;
- DUREZA: coloque a amostra entre os molares e morda uniformemente, avaliando a força requerida para comprimir o alimento, até obter uma dada deformação.
- ELASTICIDADE: coloque a mostra entre os molares; comprima parcialmente sem quebrar a estrutura da amostra; solte;
- FRATURABILIDADE: coloque a mostra entre os molares e morda uniformemente até que a amostra se desintegre, rompa ou rache.

***DUREZA***

Nº da amostra	Ordenação
_____	_____ <b>Alta</b>
_____	_____
_____	_____ <b>Baixa</b>

***ELASTICIDADE***

Nº da amostra	Ordenação
_____	_____ <b>Alta</b>
_____	_____
_____	_____ <b>Baixa</b>

***FRATURABILIDADE***

Nº da amostra	Ordenação
_____	_____ <b>Alta</b>
_____	_____
_____	_____ <b>Baixa</b>

## APÊNDICE IX – Ficha de avaliação dos atributos em escala hedônica não estruturada

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Marque na linha abaixo de cada figura, um trecho que indique a proporção da figura que está pintada de preto (não use régua, use apenas a sua capacidade visual de avaliar).

	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda
	Nenhuma _____ Toda

## APÊNDICE X – Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)

**Título da pesquisa:** Obtenção do filé de Pirarucu (*Arapaima gigas*) defumado: Definição de condições para o processo a frio.

**Pesquisador responsável:** Gisélia de Sousa Nascimento – Programa de Pós-Graduação em Ciência Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP:66075-110. Belém - Pará - Brasil. Telefone: +55-91-3201-8987.

**Local de realização da pesquisa:** Laboratório de Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos (LCTEA) - Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA)/Instituto de Tecnologia (ITEC)/Universidade Federal do Pará (UFPA).

**Endereço, telefone do local:** Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP:66075-110. Belém - Pará - Brasil. Telefone: +55-91-3201-8987.

### A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE:

Através deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), **VOCÊ ESTÁ SENDO CONVIDADO** a participar de uma pesquisa desenvolvida durante o período de execução do projeto de mestrado, realizado no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA/UFPA), com o objetivo de desenvolver um produto utilizando Filé de Pirarucu (*Arapaima gigas*) defumado a frio, com fumaça líquida.

#### 1. Apresentação da pesquisa:

A partir deste estudo, será desenvolvido um produto utilizando o Filé de Pirarucu defumado a frio, com fumaça líquida, proporcionando o desenvolvimento de um produto com excelentes características sensoriais e nutricionais, com elevado teor de proteínas e com potencial benéfico à saúde do consumidor, pois a defumação com fumaça líquida proporciona ao consumidor um alimento isento de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e menor poluição ambiental.

#### 2. Objetivo da pesquisa:

Estabelecer condições tecnológicas para a obtenção do filé de Pirarucu (*Arapaima gigas*), por um processo a frio, utilizando fumaça líquida.

### **3. Participação na pesquisa:**

- Como voluntário deste estudo, você terá que participar do teste de aceitação de um (01) produto (defumado) utilizando o filé de Pirarucu, informando o quanto gostou ou desgostou do produto e a intenção de compra, utilizando uma ficha apropriada;
- Para a realização da análise sensorial será necessária a ingestão do produto por via oral;
- Você precisará comparecer ao laboratório de análise sensorial da Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal do Pará, para a realização do teste de aceitação do produto;
- A sua participação como voluntário na análise sensorial dos produtos terá duração de menos de 10 minutos (sessão única);
- Não haverá nenhuma despesa ao participar desse estudo;

### **4. Confidencialidade:**

Seu nome será mantido em sigilo, assegurando assim a sua privacidade e se desejar, poderá ser informado sobre os resultados dessa pesquisa.

### **5. Riscos e Benefícios:**

**5.1. Riscos:** O produto que será elaborado não possui contraindicação, uma vez que se trata apenas da utilização de produtos permitidos para utilização na indústria alimentícia. O produto não irá conter glúten, nem lactose. Apesar do produto ser submetido à avaliação microbiológica prévia e só ser oferecido à população em caso de comprovada a segurança alimentar, você pode não gostar (sabor, textura, aroma) do produto e/ou sentir-se constrangido em preencher o questionário e/ou sentir algum desconforto ao provar o produto, o que constitui um risco, mesmo que mínimo.

**5.2. Benefícios:** Os benefícios associados ao produto desenvolvido são: o desenvolvimento de um produto diferenciado e com tecnologia disponível ao futuro consumidor, disponibilização de um produto isento de elementos nocivos à saúde, possibilitando a agregação de valor à matéria-prima bruta e a espécie.

### **6. Critérios de inclusão e exclusão:**

**6.1. Inclusão:** Indivíduos maiores de 18 anos, independente do gênero, alunos e/ou servidores da Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Belém.

**6.2. Exclusão:** Indivíduos alérgicos e/ou intolerantes a qualquer um dos ingredientes da formulação (filé de Pirarucu, sal, aroma de fumaça líquida). Indivíduos que estejam com algum tipo de problema de saúde (doenças crônicas, tabagismo, etc.), que possa prejudicar a sua percepção sensorial e que possa interferir na análise sensorial do produto (gripes e/ou resfriados e/ou rinite alérgica e/ou uso de aparelhos que afetem a percepção sensorial).

## **7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo:**

Você poderá recusar-se a participar ou mesmo retirar este consentimento em qualquer momento da realização dessa pesquisa, sem nenhum tipo de prejuízo ou penalização.

### **B) ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:**

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que estão trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP:66075-110. Belém - Pará - Brasil. E-mail: cepccs@ufpa.br.

### **C) CONSENTIMENTO:**

EU, declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos e benefícios deste estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome completo: \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_ Data de Nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com Gisélia de Sousa Nascimento, via e-mail: giseliasousa0209@gmail.com ou telefone: (91) 98884-0440.

**ANEXO XI – Ficha de avaliação dos filés de pirarucu salgado-seco dessalgados**

**Nome:** \_\_\_\_\_ **Idade:** \_\_\_\_\_ **Data:** \_\_\_\_\_

**Amostra:** \_\_\_\_\_

Prove e avalie a amostra de *pirarucu salgado-seco dessalgado*, utilizando a escala abaixo e indique o quanto você gostou ou desgostou da mesma.

- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1-Desgosto totalmente     | 6-Gosto ligeiramente  |
| 2-Desgosto muito          | 7-Gosto moderadamente |
| 3- Desgosto moderadamente | 8-Gosto muito         |
| 4- Desgosto ligeiramente  | 9-Gosto totalmente    |
| 5-Não gosto,nem desgosto  |                       |

**1-** Indique o quanto você gostou da **Cor** do produto.

Desgosto totalmente | \_\_\_\_\_ | Gosto totalmente

**2-** Indique o quanto você gostou do **Aroma** do produto.

Desgosto totalmente | \_\_\_\_\_ | Gosto totalmente

**3-** Indique o quanto você gostou do **Sabor** do produto.

Desgosto totalmente | \_\_\_\_\_ | Gosto totalmente

**4-** Indique o quanto você gostou da **Textura** do produto.

Desgosto totalmente | \_\_\_\_\_ | Gosto totalmente

**5-** Indique o quanto você gostou da **Aparência** do produto.

Desgosto totalmente | \_\_\_\_\_ | Gosto totalmente

**6-** Indique o quanto você gostou da **Impressão global** do produto.

Desgosto totalmente | \_\_\_\_\_ | Gosto totalmente

Por favor, indique agora a sua intenção de compra do produto.

**Não compraria de certeza**  
**Provavelmente não compraria**  
**Provavelmente compraria**  
**Compraria de certeza**

Comentários: \_\_\_\_\_