



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

**LEILANE ANDRADE CARVALHO**

**PROCESSO COMBINADO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA  
E SECAGEM CONVECTIVA DO FILÉ DE PIRARUCU**  
***(Arapaima gigas)***

**BELÉM**  
**2015**



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

**LEILANE ANDRADE CARVALHO**

**PROCESSO COMBINADO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA  
E SECAGEM CONVECTIVA DO FILÉ DE PIRARUCU**  
***(Arapaima gigas)***

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

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

**BELÉM**  
**2015**

**LEILANE ANDRADE CARVALHO**

**PROCESSO COMBINADO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM  
CONVECTIVA DO FILÉ DE PIRARUCU (*Arapaima gigas*)**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Data de Avaliação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_ Conceito: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues  
(FEA/ITEC/UFPA – Membro)

---

Profa. Dra. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro  
(DETA/UEPA – Membro)

## DEDICATÓRIA

A Deus meu refúgio e fortaleza que me  
amparou nos momentos mais difíceis e não me  
deixou desistir da promessa.

“...Tudo posso em Ti, fortaleza minha eu  
espero em Ti, firme nas promessas Tudo vai passar,  
mas a Tua Palavra permanecerá, os ventos podem  
até soprar contra mim mas eu não deixo de crer tuas  
promessas protegi, guardei no coração da Tua  
Palavra não abro mão...”

## AGRADECIMENTOS

A Deus por sua fidelidade para comigo, por me fortalecer nos momentos difíceis que não foram poucos. Por abençoar meus passos, meus projetos, minha vida.

A minha família: minha mãe Socorro, meu pai Arnaldo e meu irmão Leonardo, tudo meu esforço é pensando em oferecer um futuro (presente) melhor para nós. A minha avó Maria das Graças (*in memoriam*) e ao meu tio Nilson meus maiores incentivadores, aos meus tios, tias, primos e primas, minha família como um todo.

Ao meu namorado Eduardo, por todo amor e companheirismo. Por todas nossas conversas, por todos os conselhos, por todas as vezes que abriu mão de seus compromissos para que eu pudesse realizar os meus. Por me proporcionar momentos únicos mesmo ao meio de tantas preocupações. Obrigada meu amor por tudo. Amo você!

A minha pastora Zeneide que também considero como mãe. Por me ouvir, me incentivar, pelos abraços de afeto e consolo. Principalmente pela ajuda em orações. A senhora é muito especial em minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena, por toda sua dedicação, paciência e disposição. Por todo o conhecimento repassado durante a trajetória deste trabalho. O senhor é uma referência de profissionalismo. Obrigada de coração.

Aos professores Dra. Suezilde Amaral Ribeiro e Dr. Antônio Manoel Rodrigues pela participação na minha banca de mestrado e por todas as suas contribuições. Principalmente ao prof. Antonio pela inestimável ajuda durante a secagem, por seu empenho para que eu conseguisse realiza-la. A prof. Dra. Alessandra Lopes por ter cedido o banho maria para realizar a desidratação.

A minha família LAFAMI: Flávia, Brendinha, Diego, Juliane, Telma, Mayara, Renan, Gilciane e Wanessa. Pela convivência diária, pelas risadas, pela amizade, companheirismo e pela grande ajuda. Todos vocês tornaram a caminhada mais fácil e divertida. As queridas Rafaela, Paula Mória e Cleidiane pela ajuda na realização de algumas análises e pela disponibilidade de sempre.

A professora e amiga Luciana Ferreira pela ajuda na língua inglesa.

Ao Sr. Mário Carneiro, pelo auxílio na realização de algumas análises.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu alcançasse esta conquista.

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi estudar o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu (*Arapaima gigas*) e realizar a secagem complementar do produto desidratado. Após a caracterização físico-química, filés do pirarucu com geometria de placa plana ( $5 \times 2 \times 0,5 \text{ cm}^3$ ) foram submetidos a desidratação osmótica (OD), de acordo com um delineamento composto central rotacional  $2^4$ , no qual foram avaliados os efeitos das variáveis temperatura, tempo, concentração da solução osmótica e relação massa de produto/volume de solução, sobre as respostas perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e razão (PA/GS). A cinética da OD do filé de pirarucu foi realizada nas condições ótimas e o produto osmoticamente desidratado foi submetido à secagem convectiva, em leito fixo, a 40, 50, 60 e 70°C. O modelo de Azuara foi ajustado aos dados de OD e dez modelos semi-empíricos foram ajustados aos dados de secagem. O músculo do pirarucu apresentou elevados teores de umidade (75,2-76,8%) e de proteínas (15,1-20,6%). Através da metodologia de superfície de resposta e da função desejabilidade (0,999) foi definida com condição ótima para o processo de OD: 30% de NaCl na solução osmótica, 40°C, 240 min de contato e 1/20 para a relação massa de produto/volume de solução. O produto osmoticamente desidratado apresentou 56,8% de umidade, 21,4% de proteínas, 2,3% de lipídeos e 17,4% de cinzas, sendo 14,2% de NaCl. A difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ), para o processo de OD, foi de  $3,77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para PA e de  $3,50 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para GS, enquanto para o processo de secagem  $D_{\text{eff}}$  variou de  $2,66 \times 10^{-9}$  a  $5,48 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . O modelo de Azuara mostrou-se eficiente na predição das cinéticas de PA e GS, durante a OD do filé de pirarucu, já o modelo de Page apresentou excelente ajuste aos dados de secagem do produto desidratado, para todas as condições isotérmicas estudadas (40-70°C).

**Palavras-chave:** *Arapaima gigas*, processamento, transferência de massa, planejamento experimental, cinética.

## ABSTRACT

The research objective was to study the osmotic dehydration process of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet and to perform additional drying of the dehydrated product. After physicochemical characterization, pirarucu filets with flat-plate geometry (5 x 2 x 0,5 cm<sup>3</sup>) were subjected to osmotic dehydration (OD), according to a central composite design 2<sup>4</sup>, which evaluated the effects variables of temperature, time, concentration of the osmotic solution and mass ratio of product/solution volume on the responses of weight loss (WL), water loss (WL), solid gain (SG) and ratio (WL/SG). The kinetics of OD of pirarucu fillet was carried out under optimal conditions and the osmotically dehydrated product was subjected to convective drying in a fixed bed, 40, 50, 60 and 70°C. The Azuara model was adjusted to OD data and ten semi-empirical models were fitted to drying data. The arapaima muscle showed high moisture contents (75,2 to 76,8%) and protein (15,1 to 20,6%). By response surface methodology and desirability function (0,999) the optimum condition for the OD process was set to: 30% of NaCl in osmotic solution, 40 °C, 240 min contact and 1/20 for the mass ratio product/volume of solution. The osmotically dehydrated product had 56,8% moisture, 21,4% protein, 2,3% lipids and 17,4% ash, and 14,2% NaCl. The effective diffusivity (Deff) for the OD process was 3,77x10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s for PA and 3,50x10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s for GS, while for Deff drying process ranged from 2,66x10<sup>-9</sup> to 5,48x10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s. The model of Azuara was efficient in predicting the kinetics of WL and SG during the OD of pirarucu fillet, as the Page model showed excellent adjustment to the drying of the dehydrated product data for all studied isothermal conditions (40 - 70 °C).

Keywords: *Arapaima gigas*, processing, mass transfer, experimental planning, kinetic.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Pirarucu ( <i>Arapaima gigas</i> ) e visão superior de suas escamas. ....	15
<b>Figura 2.</b> Modelo tridimensional do delineamento composto central rotacional (DCCR) e modelo pictórico de 15 pontos de um DCCR.....	25
<b>Figura 3.</b> Curvas de secagem típicas. ....	29
<b>Figura 4.</b> Detalhes dos cortes realizados no pirarucu. A = dorso (ou lombo); B = ventre (ou barriga) e C = cauda. ....	31
<b>Figura 5.</b> Etapas do processo de desidratação osmótica. ....	35
<b>Figura 6.</b> Superfície de resposta e curvas de nível para a perda de peso (PP), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e temperatura (°C).....	51
<b>Figura 7.</b> Superfície de resposta e curvas de nível para a perda de água (PA), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e da temperatura (°C).....	54
<b>Figura 8.</b> Superfície de resposta e curvas de nível para a perda de água (PA), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da temperatura (°C) e do tempo (min).....	54
<b>Figura 9.</b> Superfície de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos (GS), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e da temperatura (°C).....	57
<b>Figura 10.</b> Superfície de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos (GS), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da temperatura (°C) e do tempo (min).....	57
<b>Figura 11.</b> Superfície de resposta e curvas de nível para PA/GS, na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e da temperatura (°C).....	60
<b>Figura 12.</b> Superfície de resposta e curvas de nível para PA/GS, na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da temperatura (°C) e do tempo (min).....	60
<b>Figura 13.</b> Superfície de resposta e curva de nível para PA/GS, na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e do tempo (min). ....	61

<b>Figura 14.</b> Sobreposição das curvas de contorno da perda de água (PA) (superfícies) e do ganho de sólidos (GS) (linhas), no tempo de 240 min e volume de solução de 30x. ....	62
<b>Figura 15.</b> Sobreposição das curvas de contorno da perda de água (PA) (superfícies) e do ganho de sólidos (GS) (linhas), na temperatura de 38°C e volume de solução de 30x. ....	62
<b>Figura 16.</b> Sobreposição das curvas de contorno da perda de água (PA) (superfícies) e do ganho de sólidos (GS) (linhas), na concentração de 25% de NaCl e volume de solução de 30x.....	63
<b>Figura 17.</b> Otimização da desidratação osmótica do filé de pirarucu através da função desejabilidade.....	64
<b>Figura 18.</b> Cinéticas da perda de água, do ganho de sólidos e da atividade de água do filé de pirarucu na desidratação osmótica a 40°C, com solução osmótica a 30% NaCl e a pressão atmosférica. ....	66
<b>Figura 19.</b> Ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) às cinéticas de perda de água e de ganho de sólidos, durante a desidratação osmótica do filé de pirarucu. ....	68
<b>Figura 20.</b> Curvas de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, para as diferentes condições isotérmicas.....	71

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação do pescado segundo o teor de proteínas e gordura do músculo.....	17
<b>Tabela 2.</b> A composição do dorso do pirarucu, segundo diferentes autores. ....	17
<b>Tabela 3.</b> Valores escalonados dos diferentes graus de desejabilidade e sua descrição da resposta qualitativa. ....	27
<b>Tabela 4.</b> Delineamento composto central rotacional para as variáveis independentes (temperatura, tempo, concentração de NaCl e volume de solução), na forma codificada e padrão. ....	36
<b>Tabela 5.</b> Modelos semi-empíricos ajustados aos dados de secagem do filé de pirarucu desidratado.....	40
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros microbiológicos do filé de pirarucu <i>in natura</i> .....	42
<b>Tabela 7.</b> Características biométricas do pirarucu ( <i>Arapaima gigas</i> ).....	42
<b>Tabela 8.</b> Composição centesimal das três principais partes do músculo de pirarucu. ....	43
<b>Tabela 9.</b> Propriedades físico-química do filé do dorso do pirarucu. ....	45
<b>Tabela 10.</b> Parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) e valor de croma ( $C^*$ ) e do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) para o filé de pirarucu. ....	46
<b>Tabela 11.</b> Resultados da perda de peso (PP%), perda de água (PA%), ganho de sólidos (GS%) e relação perda de água e ganho de sólidos (PA/GS) obtidos experimentalmente através da desidratação osmótica do filé de pirarucu utilizando solução de NaCl + água. ....	48
<b>Tabela 12.</b> Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para perda de peso (PP) na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água.....	49
<b>Tabela 13.</b> Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta perda de peso (PP). ....	50
<b>Tabela 14.</b> Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para perda de água (PA) na desidratação osmótica do filé de pirarucu em solução de NaCl + água.....	52
<b>Tabela 15.</b> Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta perda de água (PA). ....	53

<b>Tabela 16.</b> Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para o ganho de sólidos (GS) na desidratação osmótica do filé de pirarucu em solução de NaCl + água. ....	55
<b>Tabela 17.</b> Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta ganho de sólidos (GS).....	56
<b>Tabela 18.</b> Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para relação PA/GS na desidratação osmótica do filé de pirarucu em solução de NaCl + água.....	58
<b>Tabela 19.</b> Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a relação perda de água / ganho de sólidos (PA/GS). ....	59
<b>Tabela 20.</b> Valores de perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e PA/GS, experimentais e preditos pelos modelos e pela função desejabilidade, durante a desidratação osmótica de filé de pirarucu, na condição ótima. ....	65
<b>Tabela 21.</b> Valores dos parâmetros do modelo proposto por Azuara et al. (1992) e dos parâmetros estatísticos do ajuste do modelo aos dados experimentais da perda de água e do ganho de sólidos, para o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu. ....	68
<b>Tabela 22.</b> Caracterização físico-química do filé de pirarucu desidratado osmoticamente na condição ótima. ....	69
<b>Tabela 23.</b> Parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) e valores do croma ( $C^*$ ), do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) e da diferença de cor ( $\Delta E$ ), para o filé de pirarucu desidratado osmoticamente. ....	70
<b>Tabela 24.</b> Valor da difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) dos processos de secagem do filé de pirarucu, nas condições isotérmicas. ....	72

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 GERAL .....	13
2.2 ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1 PIRARUCU.....	14
<b>3.1.1 Características gerais</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1.2 Interesse econômico</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1.3 Composição química e rendimento</b> .....	<b>16</b>
3.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	18
<b>3.2.1 Condições gerais</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2.2 Efeito da composição</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.3 Efeito da temperatura</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.4 Efeito dos agentes osmóticos</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2.5 Efeito da concentração da solução</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.6 Efeito da agitação</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.7 Tempo de imersão</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2.8 Volume de solução</b> .....	<b>24</b>
3.3 PLANEJAMENTO FATORIAL DE EXPERIMENTOS E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS.....	25
3.4 PROCESSO DE SECAGEM NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA .....	27
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
4.1 MATERIAL .....	31
<b>4.1.1 Matéria-prima</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1.2 Preparo da matéria-prima</b> .....	<b>31</b>
4.2 MÉTODOS .....	32
<b>4.2.1 Avaliação microbiológica da matéria-prima</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2.2 Caracterização física e química da matéria-prima</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2.3 Desidratação osmótica</b> .....	<b>34</b>
4.2.3.1 Planejamento experimental .....	35
4.2.3.2 Determinação das variáveis de resposta.....	37
4.2.3.3 Determinação da condição ótima .....	37
4.2.3.4 Validação da condição ótima da desidratação osmótica .....	37

4.2.3.5 Cinética do processo de desidratação osmótica do pirarucu .....	38
4.2.3.6 Estudo da secagem do produto desidratado .....	38
4.2.3.7 Modelagem matemática .....	39
<b>4.2.4 Caracterização do produto desidratado na condição ótima .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.5 Análise estatística .....</b>	<b>41</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
5.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO PIRARUCU .....	42
5.2 CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DO PIRARUCU .....	42
5.3 CARACTERIZAÇÃO DO MÚSCULO DE PIRARUCU.....	43
5.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	47
<b>5.4.1 Perda de peso.....</b>	<b>48</b>
<b>5.4.2 Perda de água (PA).....</b>	<b>52</b>
<b>5.4.3 Ganho de sólidos .....</b>	<b>55</b>
<b>5.4.4 Relação PA/GS .....</b>	<b>58</b>
<b>5.4.5 Determinação da condição ótima através da metodologia de superfície de resposta e a da função de desajustabilidade .....</b>	<b>61</b>
5.5 VALIDAÇÃO DA CONDIÇÃO ÓTIMA PARA A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE PIRARUCU .....	65
5.6 CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE PIRARUCU .....	66
5.7 MODELAGEM DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE PIRARUCU .....	68
5.8 CARACTERIZAÇÃO DO PIRARUCU DESIDRATADO OSMOTICAMENTE .....	69
5.9 SECAGEM DO FILÉ DE PIRARUCU DESIDRATADO OSMOTICAMENTE EM CONDIÇÃO ISOTÉRMICA.....	70
<b>5.9.1 Cinética de secagem .....</b>	<b>70</b>
<b>5.9.2 Modelagem da secagem .....</b>	<b>72</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O pirarucu (*Arapaima gigas*), em razão de seu grande porte, é o peixe mais famoso e emblemático da ictiofauna Amazônica, representando papel histórico na pesca e no desenvolvimento socioeconômico da região. É um peixe endêmico, exclusivo dessa região, sendo encontrado nas águas calmas do rio Amazonas e afluentes, como, também, nas vastas áreas alagadas de várzea e igapó adjacentes. É a espécie mais promissora para o desenvolvimento da piscicultura em regime intensivo na região Amazônica, pois possui alta taxa de crescimento, que lhe permite alcançar de 7 a 10 kg no primeiro ano de vida (BARD; IMBIRIBA, 1986; IMBIRIBA, 2001; PEREIRA-FILHO et al., 2002; ONO; HALVERSON; KUBTIZA, 2004).

O pirarucu é apresentado ao consumidor principalmente na forma salgada/seca, em mantas, sendo dessa forma conhecido como o “bacalhau da Amazônia”. O processo artesanal de salga ocasiona mudanças nas características sensoriais originais do peixe, as quais são atribuídas à desnaturação das proteínas e a oxidação de lipídeos, fato esse que requer a busca de condições adequadas de processo, capazes de preservar as características originais do produto (OGAWA, 1999; ONO; HALVERSON; KUBTIZA, 2004).

A combinação de vários métodos de conservação é uma alternativa comumente utilizada no processamento de peixes. Processos que incluem a remoção de água, como a secagem e a salga, são comumente empregados para conservar alimentos, permitindo seu consumo por longos períodos. A combinação da salga com a secagem é a mais antiga e uma das mais importantes técnicas de conservação de alimentos (RIBEIRO et al., 2008; SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2008).

O processo de desidratação osmótica é normalmente utilizado para remover parcialmente a água contida nos tecidos do alimento, obtendo-se assim estabilidade do produto, sem tratamentos de acidificação ou pasteurização. A força motriz para a difusão de água a partir do tecido para a solução é fornecida pela maior pressão osmótica da solução hipertônica (ALMEIDA et al., 2005; ISPIR; TOĞRUL, 2009; GERMER et al., 2011).

Durante a desidratação osmótica o produto a ser desidratado e a solução hipertônica, de um ou mais solutos, originam dois fluxos simultâneos e opostos: saída de água do produto para a solução e migração de solutos da solução para o

produto (CHIRALT; FITO, 2003; ALMEIDA et al., 2005; AZOUBEL; MURR, 2010; CASTRO-GIRÁLDEZ et al., 2011).

A desidratação osmótica tem sido utilizada como pré-tratamento para muitos processos, como congelamento, secagem a vácuo ou ao ar e fritura. Por isso é caracterizada como um dos processos mais adequados para obtenção de produtos de umidade intermediária, com boas características sensoriais, melhor qualidade da textura, melhor estabilização da cor, reduzida perda de nutrientes, além de realce no sabor do produto sem alterar sua integridade (ALMEIDA et al., 2005; LOMBARD et al., 2008; ISPIR; TOĞRUL, 2009; AL-MUHTASHEB et al., 2010; GERMER et al., 2011).

Embora o tratamento osmótico reduza a umidade inicial do produto, a atividade de água residual possibilita a ocorrência de reações que podem prejudicar a segurança alimentar do produto obtido, sendo necessário o uso de métodos combinados de conservação, como a secagem convectiva por ar (CORREA et al., 2008). A aplicação de calor, sob condições controladas, para remover a maior parte da água presente no alimento, depende das características de transferência de massa e energia, tanto do ar como do alimento (BARBOSA-CÁNOVAS, VEGAMERCADO, 2000; FELLOWS, 2006).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Estudar e otimizar o processo de desidratação osmótica e realizar a secagem complementar do filé do pirarucu (*Arapaima gigas*), visando obter um produto com características físico-químicas e microbiológicas desejáveis.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar microbiológica e físico-quimicamente o filé de pirarucu (*Arapaima gigas*);
- ✓ Estudar a influência das variáveis temperatura, concentração de cloreto de sódio na solução osmótica, volume de solução e tempo de contato na desidratação osmótica do filé de pirarucu, visando estabelecer condições otimizadas para o processo;
- ✓ Validar a condição otimizada do processo de desidratação osmótica;
- ✓ Obter e modelar a cinética de desidratação osmótica do filé de pirarucu na condição otimizada;
- ✓ Obter e modelar a cinética de secagem convectiva do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 PIRARUCU

##### 3.1.1 Características gerais

Taxonomicamente o pirarucu pertence à ordem Osteoglossiformes, subordem *Osteoglossoidei*, superfamília *Osteoglossoidae*, família *Osteoglossidae*, gênero *Arapaima*, espécie *A. gigas* (AYALA, 1999). Ele é considerado um peixe primitivo, pertencente a um dos grupos mais antigos de teleósteos vivos, que surgiram durante o período Jurássico, formando o elo entre os peixes ósseos ancestrais e os teleósteos modernos. Nessa família ocorrem somente dois gêneros: *Osteoglossum* (com duas espécies: *O. bicirrhosum* e *O. ferreirai*) e *Arapaima* (com uma única espécie: *A. gigas*). Esses gêneros só ocorrem na região Amazônica e estão relacionados aos gêneros *Sclerophages* e *Heterotis*, que ocorrem, respectivamente na Austrália e na África (VENTURIERI; BERNADINO, 1999).

A palavra pirarucu é de origem indígena, formada pela associação de “pira”, que significa peixe e “urucu”, vermelho; cor característica da semente do urucu (*Bixa orellana* Lin.), semelhante à cor avermelhada do peixe, devido às escamas dos flancos, do ventre e da cauda; principalmente no macho, durante o período de reprodução (SOUSA; VAL, 1990).

O habitat natural do pirarucu corresponde às águas pretas e tranquilas, principalmente dos lagos de grande extensão na região Amazônica, preferencialmente em regiões de várzea, que sofrem a influência do ciclo hidrológico das estações de seca e cheia, sendo raramente encontrado em rios com pouca correnteza (SOUSA; VAL, 1990; GOULDING; BARTHEM; FERREIRA, 2003).

O pirarucu é uma espécie de crescimento muito precoce entre os peixes de grande porte, sua curva de crescimento em relação ao peso demonstra que até 0,75 metros de comprimento, o incremento de peso é relativamente baixo, porém a partir desse tamanho, acelera-se a produção de músculo rapidamente até o peixe atinja 1,50 metros (FONTENELE, 1948; BARD; IMBIRIBA, 1986). Quando adulto, o peixe pode medir até três metros de comprimento e pesar até 200 kg; entretanto, são mais comuns os exemplares de porte médio, que são capturados com peso entre 50 e 90 kg e com 1,5 metros de comprimento. O músculo do peixe tem coloração naturalmente rósea e é desprovido de espinhas, sendo bastante valorizada na região amazônica (AYALA, 1999; ONO; HALVERSON; KUBTIZA, 2004).

O pirarucu é um peixe que tem o corpo alargado, circular e elipsoidal em secção, revestido por grandes e grossas escamas cicloidais, como pode ser observado na Figura 1. Sua cabeça é achatada e ossificada, e pequena em relação ao corpo, correspondendo a aproximadamente 10% do peso total (SANTOS et al., 2004). Sua boca é do tipo superior, grande e oblíqua, com prognatismo da mandíbula inferior, provida de muitos dentes pequenos. Apresenta duas placas ósseas laterais e uma palatina, que funcionam como verdadeiros dentes, e servem para apreender e esmagar a presa durante a deglutição. O peixe possui uma língua bastante desenvolvida com um osso interno (IMBIRIBA et al., 1996; VENTURIERI; BERNADINO, 1999; NEVES, 2000).



**Figura 1.** Pirarucu (*Arapaima gigas*) e visão superior de suas escamas.

Fonte: Gonzaga Júnior (2010)

### 3.1.2 Interesse econômico

A captura da pesca e da aquicultura forneceu o mundo cerca de 148 milhões de toneladas de peixe em 2010 (com um valor total de 217,5 bilhões de dólares), dos quais cerca de 128 milhões de toneladas foram utilizados na alimentação humana. O continente americano tem mostrado um crescimento forte e contínuo nesse segmento, particularmente o Brasil e o Peru. Em termos de volume, a aquicultura na América do Norte e do Sul é dominada por peixes de barbatanas (57,9%), crustáceos (21,7%) e moluscos (20,4%) (FAO, 2012).

A produção brasileira de pescado, no ano de 2011, foi de 1.431.974,4 t, registrando-se um incremento de aproximadamente 13,2% em relação a 2010. A pesca extrativa marinha continuou sendo a maior fonte de produção do pescado nacional, sendo responsável por 553.670,0 t (38,7% do total de pescado), seguida

pela aquicultura continental (544.490,0 t; 38,0%), pesca extrativa continental (249.600,2 t; 17,4%) e aquicultura marinha (84.214,3 t; 6%). Em 2011, a região Nordeste registrou a maior produção de pescado do país, com 454.216,9 t, correspondendo a 31,7% da produção nacional. As regiões Sul, Norte, Sudeste e Centro-Oeste produziram 336.451,5 t (23,5%), 326.128,3 t (22,8%), 226.233,2 t (15,8%) e 88.944,5 t (6,2%), respectivamente (BRASIL, 2013).

A região Norte do Brasil liderou a pesca extrativa continental em 2011, com uma produção de 137.144,5 t, que representou 55% da produção nacional. Essa produção foi fortemente impulsionada pelos estados do Amazonas (63.743,3 t) e do Pará (55.402,7 t), que juntos foram responsáveis por 49% do total capturado (BRASIL, 2013).

O pirarucu obteve uma produção crescente na pesca extrativa continental nacional, com 1.205,7 t, em 2009; 1.253,1 t, em 2010 e 1.262,4 t, em 2011 (BRASIL, 2013). Embora a piscicultura de peixes carnívoros não seja muito aconselhável devido ao baixo rendimento, em função de cadeias alimentares, a do pirarucu torna-se muito promissora, pois esse peixe apresenta um extraordinário desenvolvimento ponderal, atingindo 10 kg em um ano de cultivo; grande rusticidade em ambiente tropical e boa qualidade da carne. Também podem ser aproveitados os seus subprodutos de valor comercial, como a pele, que representa 10% do seu peso vivo, podendo ser utilizado para vestuário e acessórios; e as escamas e a língua para confecção de artesanato regional (IMBIRIBA, 2001).

### **3.1.3 Composição química e rendimento**

A composição química dos peixes é bastante variável, e análises mostram, inclusive, diferenças entre indivíduos da mesma espécie. Essas diferenças são influenciadas por fatores intrínsecos, como desova e migração, e fatores extrínsecos, como a escassez de alimentos (HUSS, 1998). Um dos critérios mais utilizados para classificar os peixes, segundo a composição, consiste em agrupar os peixes em cinco classes, de acordo com seus teores de proteína e gordura. A Tabela 1 descreve esta classificação (STANSBY, 1962).

Segundo Ackman (1989), os peixes podem ser classificados quanto ao teor de gordura em: magros (menos de 2% de gordura); de baixo teor (2-4% de gordura); medianamente gordos (4-8% de gordura) e altamente gordos (mais de 8% de gordura).

**Tabela 1.** Classificação do pescado segundo o teor de proteínas e gordura do músculo.

<b>Classe</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Gordura (%)</b>
A	15-20	<5
B	15-20	5-15
C	<15	>15
D	>20	<5
E	<15	<5

Fonte: Stansby (1962)

De acordo com Fogaça et al. (2011), o pirarucu é considerado um peixe magro (0,1 a 1% de lipídios) e com alto valor proteico (18 a 22%). A composição centesimal da região dorsal do pirarucu, segundo diferentes autores é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2.** A composição do dorso do pirarucu, segundo diferentes autores.

<b>Referência</b>	<b>Composição (%)</b>			
	<b>Umidade</b>	<b>Proteína</b>	<b>Lipídeos</b>	<b>Cinzas</b>
Dias (1983)	79,8	18,3	0,2	1,7
Fogaça et al. (2011)*	76,4	20,2	0,6	2,3
Maciel et al. (2012)	79,5	17,0	0,8	0,6
Muñoz-Ramirez, Coronado e Franco (2013)*	77,8	19,6	1,3	1,1

\*valores adaptados

A parte comestível do pescado representa a porção que pode ser aproveitada e direcionada ao processamento de diferentes produtos. As espécies marinhas e de água doce, em geral, apresentam rendimento de músculo com pele entre 32,8% e 59,8%, já o rendimento de músculo sem pele das espécies de água doce é, em média, 43%. Peixes com forma anatômica de torpedo possuem rendimentos altos, em função da massa muscular cilíndrica. Espécies como o atum, o bonitos e os serras têm rendimentos de músculo com pele superiores a 54% (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994).

Em relação ao pirarucu, Dias (1983) observou rendimentos médios, em músculo com pele, de 57,8% para indivíduos capturados na natureza, com peso médio de 5,9 kg e comprimento entre 71 e 91 cm, e de 56,6% para exemplares com

peso médio de 60 kg e comprimento entre 171 e 190 cm. Ono, Halverson e Kubitza (2004) observaram os mesmos rendimentos (56,6 a 57,9%) para indivíduos com 30 a 40 kg, porém os exemplares com peso acima de 60 kg atingiram até 65% de rendimento em músculo com pele. Essa tendência indica que os peixes de cativeiro, por serem abatidos com menor peso, podem apresentar menores rendimentos em músculo. Em estudos realizados com pirarucu de piscicultura, Oliveira (2007) observou um rendimento médio em músculo sem pele de 41,4%.

Fogaça et al. (2011) estudaram o rendimento e a composição do músculo do pirarucu, com diferentes faixas de peso: 7 a 9 kg (grupo I), 11 a 13 kg (grupo II) e 14 a 17 kg (grupo III), e observaram rendimentos médios de 47,4, 48,6 e 49,8%, respectivamente, os quais foram estatisticamente iguais ( $p > 0,05$ ).

Tomando como referência indivíduos adultos, os rendimentos do músculo de pirarucu, são superiores aos obtidos para o tambaqui (50,3%) e a piratininga (55,8%), e para várias espécies beneficiadas na indústria pesqueira do estado do Pará, como a piramutaba e o pargo (44%) (IMBIRIBA; LOURENÇO JÚNIOR; DUTRA, 1994).

## 3.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

### 3.2.1 Condições gerais

A qualidade do produto, bem como o custo final são os fatores mais importantes a serem considerados na definição de um método de conservação a ser aplicado. A água, por sua atuação nas reações de deterioração do alimento, bem como fisiológicas, torna-se a variável tecnológica mais pesquisada e decisiva na qualidade e durabilidade de produtos alimentícios. A desidratação de um produto é capaz de reduzir sua atividade fisiológica e microbiológica, as reações enzimáticas e não enzimáticas, além de proporcionar uma redução de volume, diminuindo custos com embalagem, armazenamento e transporte (EL-AOUAR et al., 2006; FELLOWS, 2006).

A desidratação osmótica é uma das técnicas que visam a redução da umidade do produto. Esse processo ocorre devido à diferença de concentração entre o agente osmótico e o produto, imerso em solução, de um ou mais solutos com atividade de água ( $a_w$ ) menor que a do alimento, criando dois fluxos simultâneos e em contra-corrente, através das paredes celulares: um de água que sai do produto para a solução – o mais importante do ponto de vista da desidratação – e outro de

soluto (sal ou açúcar), que migra da solução para o produto. Além destes, ocorre um terceiro fluxo, menos estudado, que consiste na lixiviação de compostos hidrossolúveis do alimento, como: açúcares, minerais, vitaminas, entre outros, que embora seja proporcionalmente insignificante em relação aos dois fluxos principais, exerce importante papel sobre a qualidade sensorial (aroma, cor, textura) e nutricional (minerais e vitaminas) do produto final (DALLA ROSA; GIROUX, 2001; DIONELLO et al., 2007; QUEIROZ et al., 2007; AMAMI et al., 2008).

A transferência de massa e a qualidade do produto osmoticamente desidratado dependem de vários fatores, como: permeabilidade do tecido (CHIRALT; FITO, 2003; ISPIR; TOĞRUL, 2009; MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011; MORENO et al., 2011); tipo e concentração do agente osmótico (PARK et al., 2002; AZOUBEL; MURR, 2004; EREN; KAYMAK-ERTEKIN, 2007; DERMESONLOUOGLOU; POURGOURI; TAOUKIS, 2008; BCHIR et al., 2009), e temperatura e tempo de processo (TORREGGIANI, 1993; UDDIN; AINSWORTH; IBANOGLU, 2004; TONON; BARONI; HUBINGER, 2006; KHOYI; HESARI, 2007; ISPIR; TOĞRUL, 2009; ALAM; AMARJIT; SAWHNEY, 2010).

A eficiência do processo osmótico é determinada pela razão entre a perda de água e a incorporação de sólidos, ou seja, quanto maior essa razão, maior a eficiência. A taxa de transferência de massa depende macroscopicamente da permeabilidade do tecido biológico, do agente osmótico utilizado, da concentração desse agente, da temperatura da solução, da agitação do sistema, do tempo de imersão do produto na solução, da geometria do produto, da relação entre o produto e a solução, e da pressão do sistema (CHIRALT, FITO, 2003; SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2008).

No caso do pescado, a imersão em salmouras concentradas é uma técnica amplamente usada, e o processo origina produtos com boas condições de armazenamento, com qualidade semelhante à matéria-prima e, na maioria das vezes, com melhor coloração, sabor e aroma, quando comparados aos produtos elaborados com tecnologias mais caras e mais sofisticadas (REYES et al., 2005; GOMES; CEREDA; VILPOUX, 2007).

Ribeiro et al. (2008) estudaram o processo de desidratação osmótica do file de mapará. Os autores avaliaram a influência das variáveis temperatura (23 – 57°C), concentração da solução salina (20 – 26%) e tempo (4 – 14 horas), sobre as respostas: perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), relação

GS/PA e número de ácido tiobarbitúrico (TBA). Foi definida como condição ótima para o processo, a temperatura de 46°C, a concentração da solução salina de 22% e o tempo de 7 horas.

### **3.2.2 Efeito da composição**

O conhecimento das propriedades físico-químicas dos alimentos é importante no adequado projeto das operações de processo, bem como no controle e melhoria da qualidade do produto final (MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011). A modelagem de processos osmóticos é limitada justamente pela complexidade e diversidade das estruturas dos tecidos biológicos, bem como sobre a resposta estrutural ao estresse osmótico (CHIRALT; FITO, 2003).

A transferência de massa, em tecidos animais, é fortemente influenciada pelo conteúdo de lipídeos (BOHUON, 1995; COLLIGNAN, et al., 2001). O índice de penetração do sal nos tecidos é inversamente proporcional ao conteúdo de gordura do músculo, pois de acordo com Wang, Tang e Correia (2000), a gordura diminui significativamente a difusividade do sal. Assim, com o aumento da quantidade de gordura no músculo do peixe, ocorre a diminuição da perda de água e do ganho de sólidos (GALLART-JORNET et al., 2007).

Existem fatores como composição química (proteína, carboidratos, gordura e sal), estrutura física (porosidade, arranjo de células, orientação das fibras) e pré-tratamentos, que afetam a estrutura da parede celular e a permeabilidade da membrana celular (TORTOE, 2010).

### **3.2.3 Efeito da temperatura**

A temperatura é uma variável importante no processo de transferência de massa que ocorre na desidratação osmótica. Existem muitos estudos concernentes à influência desta variável no processo, utilizando tecidos vegetais e animais. O aumento da temperatura favorece a transferência de massa, mas ao mesmo tempo ativa os mecanismos de autólices, que deterioram o alimento de origem animal; por essa razão o aumento da temperatura deve ser controlado (DEL VALLE; NICKERSON, 1967a; LENART; FLINK, 1984; LERICI et al., 1985; YANG; LE MAGUER, 1992). Por esses motivos, o efeito da temperatura sobre a cinética do processo de desidratação osmótica é o mais estudado (BETORET et al., 2004). O

controle da temperatura também é importante para impedir alterações indesejáveis nas propriedades sensoriais do produto (ESCOBAR et al., 2007).

A temperatura crítica afeta as propriedades do tecido vegetal, influenciando na permeabilidade do soluto e da água. São recomendadas temperaturas na faixa de 30°C a 90°C, embora temperaturas acima de 55°C possam causar danos irreversíveis à integridade da membrana plasmática, com favorecimento do escurecimento enzimático (SHIGEMATSU et al., 2005; ANDRADE et al., 2007). Quanto mais elevada for a temperatura, maiores serão as perdas dos componentes nutricionais, e as alterações da cor e da estrutura do alimento (DHINGRA et al., 2008).

É bem conhecido o fato de que o processo de desidratação osmótica é um fenômeno dependente da temperatura. Altas temperaturas no processo causam inchaço e plastificação da membrana celular e, desse modo, a membrana se torna mais permeável à água, facilitando sua perda. Além disso, temperaturas mais elevadas geram diminuição na viscosidade do meio osmótico e da resistência externa à taxa de transferência de massa na superfície do produto. Assim, facilita a saída da água do produto e promove altas taxas de difusão de soluto para o mesmo (JOCKIC et al., 2007; TORTOE, 2010; PHISUT, 2012).

### **3.2.4 Efeito dos agentes osmóticos**

Durante a desidratação osmótica, a remoção da água, o ganho de sólidos e o teor de água na condição de equilíbrio são fortemente afetados pelo tipo de agente osmótico, sua concentração, massa molecular e comportamento iônico (SINGH et al., 2010).

Os agentes osmóticos mais descritos na literatura são sacarose e cloreto de sódio. Provavelmente são os mais utilizados pela eficácia que fornecem ao processo osmótico. A utilização desses agentes associados possibilita um acréscimo na força motriz, ocorrendo um aumento na perda de água, pelo efeito sinérgico entre a sacarose e cloreto de sódio, mesmo quando utilizadas concentrações menores de sal (RODRIGUES; FERNADES, 2007; SINGH; KUMAR; GUPTA, 2007).

Os fatores determinantes na escolha do agente osmótico são: toxicidade, disponibilidade, solubilidade nas temperaturas de processamento, capacidade de redução da atividade de água do alimento e o custo (ALVES et al., 2005; SHING; KUMAR; GUPTA, 2007; DHINGRA et al. 2008).

Dissacarídeos, como a sacarose, acarretam diminuição do ganho de sólidos e aumento da perda de água, já sacarídeos de baixa massa molecular como a glicose, a frutose e o sorbitol favorecem o ganho de sólidos por causa da alta taxa de penetração das moléculas nos tecidos vegetais, e reduzem a perda de água. Sucintamente pode-se afirmar que agentes osmóticos de baixa massa molecular penetram mais facilmente na célula, em comparação com agentes osmóticos de alto peso molecular (DIONELLO et al., 2007; PHISUT, 2012).

A solubilidade do agente osmótico também influi no seu poder desidratante, visto que, quanto mais insolúvel maior a formação de uma barreira em torno do alimento (crosta), dificultando o fluxo da água deste para a solução, além de alterar consideravelmente o “flavor” e a cor. A combinação de dois ou mais agentes osmóticos possibilita, geralmente, a otimização do processo com menores alterações no produto desidratado em relação ao fresco (RAOULT-WACK et al., 1994).

### **3.2.5 Efeito da concentração da solução**

Raoult-Wack et al. (1994) estudaram a aplicação de soluções altamente concentradas (50 a 70g de soluto/100g de solução) no processo de desidratação osmótica de frutas. De acordo com os autores, um aumento da concentração da solução osmótica proporcionou uma maior perda de água e, conseqüentemente, uma maior perda de peso da fruta. A utilização de soluções osmóticas concentradas pode reduzir as perdas de solutos hidrossolúveis, como é o caso do ácido ascórbico, mediante formação de uma camada periférica concentrada em soluto, que previne o arraste dos mesmos.

Tsironi e Taoukis (2010), em estudo com filés de dourada (*Sparus aurata*), definiram tratamento osmótico com e sem adição 50% de maltodextrina e 5% de NaCl, aplicando posteriormente outros métodos de conservação como refrigeração e embalagens com atmosfera modificada. O estudo constatou que as amostras que sofreram o pré-tratamento osmótico antes da refrigeração apresentaram melhor estabilidade durante o armazenamento, em termos de crescimento microbiano, alterações químicas e degradações sensoriais.

### **3.2.6 Efeito da agitação**

Na maioria das vezes o processo de desidratação osmótica é realizado sob agitação, visando minimizar os efeitos da resistência externa e aumentar a taxa de transferência de massa. A agitação proporciona a circulação da solução osmótica em torno da amostra, assegurando contato contínuo da superfície do alimento com a solução hipertônica, gerando um gradiente na interface produto/solução, e aumentando assim a força motriz nas regiões próximas a superfície do produto (TONON; BARONI; HUBINGER, 2007; TORTOE, 2010).

Embora a eficiência da desidratação osmótica possa ser aumentada quando o processo é conduzido sob agitação ou circulação do agente osmótico, é preciso ter certo cuidado para que não haja danos ao material a ser desidratado, bem como considerar os custos decorrentes dessa operação (PONTING et al. 1966). Hawkes e Flink (1978), trabalhando com soluções osmóticas altamente concentradas na desidratação de maçãs, observaram que a agitação durante o processo favoreceu a diminuição da resistência à transferência de massa.

A agitação, durante a desidratação osmótica, minimiza os efeitos da resistência externa à transferência de massa, por diminuir a viscosidade da solução osmótica. A força motriz da saída de água é simplificada a diferença de pressão osmótica entre os meios, por isso, a agitação favorece a retirada de água. A agitação garante também a renovação da solução desidratante em torno da amostra, evitando a formação de pontos de saturação de soluto no entorno do alimento imerso (ANTONIO et al., 2008; DEROSI et al., 2008). A contribuição da agitação na melhoria da desidratação osmótica, também foi observado por Maldonado et al. (2008), na desidratação osmótica de yacón.

Phisut (2012) relata que a perda de água é maior no fluxo turbulento que no fluxo laminar, devido à agitação melhorar o fluxo hidrodinâmico da desidratação osmótica.

### **3.2.7 Tempo de imersão**

Muitos estudos têm demonstrado uma relação linear entre a desidratação osmótica e o tempo de imersão. Este parâmetro tem influência decisiva, sendo superado apenas pela temperatura (LENART, 1996). Durante o processo, o aumento do tempo de imersão leva, normalmente, a maior perda de massa, mas a velocidade com que essa perda ocorre passa ser menor à medida em que o processo se estende, tendendo a estabilidade (DHINGRA et al., 2008).

Alguns estudos dividem a perda de água em duas etapas. No período inicial ocorre elevada taxa de remoção de água e ganho de sólidos, enquanto na segunda etapa ocorre o decréscimo da taxa de saída de água e o aumento no ganho de sólidos (ANTONIO, 2008; TORREGGIANI, 1993). A taxa de perda de água diminui ao longo do tempo, até alcançar o equilíbrio com o soluto da solução, em oposição ao ganho de sólidos, que tende a aumentar (AZEREDO, 2000; ALMEIDA et al., 2005).

O comportamento acima tem sido associado ao relaxamento mecânico das membranas celulares. Em fenômenos de difusão, relacionados com a modificação das propriedades dos alimentos, o gradiente de concentração normalmente é dependente do tempo, e a difusão pode ser mais bem representada pela Segunda Lei de Fick (VARZAKAS et al., 2005). Porém, de acordo com a complexidade do sistema, este modelo pode não representar fielmente a realidade.

Ribeiro et al. (2008), estudando a otimização da desidratação osmótica de filés de mapará, observaram que os parâmetros temperatura, concentração de soluto e tempo de imersão apresentam efeito linear positivo, para perda de peso. Jockic et al. (2007), ao desidratarem beterraba com sacarose e sal, observaram que a interação da concentração osmótica e tempo de imersão foi o fator preponderante na perda de umidade. Esse comportamento foi similar para o ganho de sólidos ao ser empregado o sal.

### **3.2.8 Volume de solução**

O volume de solução é uma variável pouco estudada no processo de desidratação osmótica. Ribeiro et al. (2008), em estudo sobre desidratação de filés de mapará adotou a relação amostra/solução de 1:5. Essa relação foi suficiente para garantir que a amostra de peixe, em formato de placa plana, permanecesse em concentração constante durante o processo.

Valente (2007) desidratou abacaxi com solução de sacarose, maltose e xarope de milho e concluiu que uma relação de fruta/volume de solução 1:10 foi satisfatória para que a concentração da solução permanecesse constante durante todo o processo. Falcão, Filho e Gusmão (2012) observaram que o volume da solução osmótica não foi uma variável significativa para a perda de água, no processo de desidratação da parte central do abacaxi, para uma relação massa da amostra/volume de solução entre 1:10 e 3:20.

### 3.3 PLANEJAMENTO FATORIAL DE EXPERIMENTOS E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

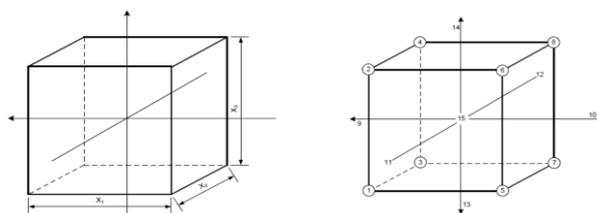
O planejamento experimental consiste de uma série de técnicas utilizadas para explorar várias condições de funcionamento de um processo, com o objetivo de identificar: menores custos com matéria-prima, processo e produto; desempenho melhorado; menor variabilidade ou maior capacidade de produção (HUBBARD, 2003).

O emprego de métodos estatísticos objetiva alcançarem soluções otimizadas para problemas experimentais. Técnicas de otimização vêm se tornando cada vez mais frequentes em trabalhos científicos, por serem ferramentas indispensáveis de auxílio à pesquisa, e por fornecerem resultados a partir de um reduzido número de experimentos, com sensível aumento na precisão das informações obtidas (COSTA, 2010).

#### Metodologia de superfície de resposta

A metodologia de superfície de resposta (MSR) é uma técnica de otimização baseada em planejamentos fatoriais, que foi introduzida por Box, Hunter e Hunter (1978) e desde então tem sido utilizada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais.

Uma das técnicas mais utilizadas na otimização estatística de experimentos é a MSR, que implica na representação de superfícies em três dimensões. Isso se dá, provavelmente pela sua compreensão teórica, alta eficiência e simplicidade, demonstrando de forma simples, uma tendência na variável de resposta que deve ser analisada criteriosamente. O delineamento composto central rotacional (DCCR) apresentado na Figura 2 é o projeto clássico de modelos de superfície de resposta (ARTEAGA, 1994; HUBBARD, 2003; BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).



**Figura 2.** Modelo tridimensional do delineamento composto central rotacional (DCCR) e modelo pictórico de 15 pontos de um DCCR.

Fonte: Adaptado de HUBBARD (2003).

A MSR envolve quatro passos básicos: seleção dos parâmetros do sistema (variáveis e seus níveis), formulação do delineamento experimental (o mais comum é o delineamento central composto rotacional – DCCR), encontrar o modelo (DCCR é adequado somente para modelos lineares e quadráticos – testes estatísticos avaliam a validade do modelo, incluindo a falta de ajuste e a análise de resíduo) e encontrar as soluções ótimas (se o modelo for estatisticamente válido, pode ser usado para prever o ponto ótimo do sistema) (ARTEAGA, 1994).

Após a determinação da região de interesse, busca-se um detalhamento desta área visando obter as condições nas quais a resposta será otimizada. O ponto ótimo pode ser determinado por inspeção, quando o número de variáveis é pequeno, ou, caso contrário, por otimização numérica (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

### **Otimização de processos**

A otimização de processos ou produtos torna-se de difícil solução, em razão do complicado processo computacional, quando está envolvido um número significativo de respostas (múltiplas respostas) e/ou a inspeção da região ótima não é facilmente identificada pela sobreposição das superfícies de resposta.

A função desejabilidade é um dos métodos mais utilizados para otimizar experimentos de multivariáveis. Este método permite encontrar condições que fornecem a resposta mais desejada a qual é a combinação de múltiplas respostas dentro de limites previamente estabelecidos, evitando que alguma delas fique fora dos limites. Basicamente, a função desejabilidade permite transformar múltiplos problemas em um único, utilizando equações matemáticas. Para utilizar a função desejabilidade é necessário estimar a relação das respostas em função dos fatores estudados. Essa estimativa é realizada por planejamentos experimentais e a aplicação de MSR é que fornece a equação de ajuste que representa a superfície (PIZARRO; GONZÁLEZ-SÁIZ; PÉREZ-DEL-NOTARIO; 2011)

Depois de transformar os valores preditos das variáveis dependentes em diferentes combinações de níveis das variáveis, em um valor predito de desejabilidade individual, a desejabilidade global dos resultados em diferentes combinações de níveis pode ser calculada (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010). Segundo Akhanazarova e Kafarov (1982), os valores numéricos de

desejabilidade (d ou D), e seus respectivos conceitos de qualidade, podem ser classificados de acordo com os índices sumarizados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores escalonados dos diferentes graus de desejabilidade e sua descrição da resposta qualitativa.

<b>Valores de d ou D</b>	<b>Descrição da resposta (qualidade equivalente)</b>
0,80 a 1,00	Aceitável ou excelente
0,63 a 0,80	Aceitável e bom
0,37 a 0,63	Aceitável porém pobre
0,20 a 0,37	Valor limite
0,00 a 0,20	Inaceitável

Fonte: Akhanazarova e Kafarov (1982)

O problema da otimização simultânea de diversas variáveis de resposta resume-se a selecionar os níveis dos fatores, aqueles que maximizem a conveniência geral das respostas sobre as variáveis dependentes. Assim, chega-se a vários conjuntos de condições otimizadas, dentre os quais pode-se selecionar a que melhor se adequa ao estudo (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

### 3.4 PROCESSO DE SECAGEM NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A secagem é definida como a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maior parte da água presente em um alimento. Seu objetivo principal é prolongar a vida de prateleira do alimento (FELLOWS, 2006).

A desidratação pode ser aplicada como um pré-tratamento, antes da secagem ou congelamento, para remover parte da água, a fim de facilitar esses processos. Como resultado, danos das membranas celulares é mínima e uma melhor conservação das propriedades dos alimentos é obtida (GOULA e LAZARIDES, 2012). A combinação de métodos de secagem tem sido apontada como uma alternativa econômica e segura para a conservação de produtos alimentícios, além de possibilitar a obtenção de produtos desidratados de melhor qualidade, quando comparado aos produtos desidratados convencionalmente (BRANDÃO et al., 2003).

A secagem consiste em um processo simultâneo de transferência de calor e de massa, e os fatores que governam a velocidade desses fenômenos de transferência determinam a taxa de secagem, tais como pressão de vapor d'água no

material e no ar de secagem, temperatura e velocidade do ar de secagem, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta à secagem (VAN ARSDEL, 1973).

O processo de secagem em baixas temperaturas e velocidade do ar elevada proporciona taxas de secagem baixas, o que provoca o desenvolvimento de produtos uniformes e densos, com taxa de reidratação e capacidade reduzida. Por outro lado, taxas de secagem elevadas proporcionam produtos menos densos, mais resistentes, com uma crosta na superfície e maior taxa de reidratação, resultando em produtos com textura macia. O controle do parâmetro velocidade de secagem é fundamental na determinação das propriedades de textura dos produtos secos (RAMOS et al., 2004; BORGES et al., 2010). O músculo de peixe sofre mudanças na secagem, devido à desnaturação proteica, que implicam em mudanças das suas propriedades físicas (PINTO e TOBINAGA, 1996).

Os procedimentos corretos de secagem, para uma vasta gama de peixes é crucial no que diz respeito a minimização de energia e do tempo de permanência do pescado sob calor, sem comprometer sua qualidade final. A secagem pode alterar as características sensoriais e o valor nutricional do produto e a intensidade dessas mudanças dependem das condições utilizadas no processo e de suas características (BOERI et al., 2011).

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e a transferência de calor adotadas, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é um fenômeno comum a qualquer condição de secagem (PARK; BIN; BROD, 2001).

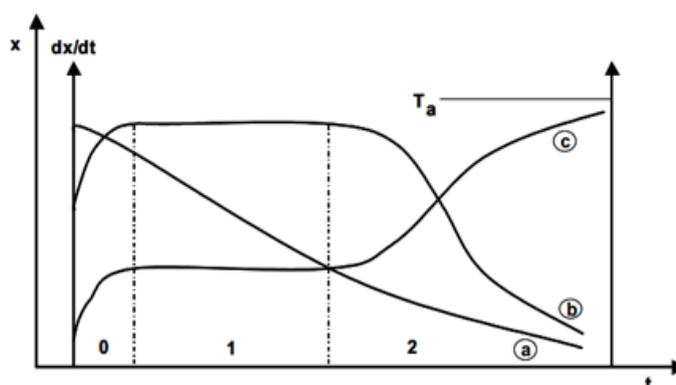
Os sistemas de secagem podem ser representados por modelos matemáticos, os quais utilizam as informações sobre as propriedades termofísicas do alimento. Os modelos são empíricos, e alguns derivam do modelo difusional da segunda lei de Fick, para diferentes geometrias (VEGA GÁLVEZ; TELLO; LEMUS, 2007).

Na literatura são propostos diversos modelos para analisar a secagem em camada fina de produtos higroscópicos, sendo: teóricos, semiteóricos e empíricos (JÚNIOR; CORRÊA, 1999). Muita ênfase tem sido dada ao desenvolvimento de modelos semiteóricos, que concorrem para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de uso. Tais modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton.

Quando se aplica essa lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja apenas à superfície do produto (MARTINAZZO et al., 2007).

Os métodos de cálculos da taxa de secagem diferem segundo o período de taxa constante e de taxa decrescente. Para produtos agrícolas e alimentícios, o período de taxa decrescente é quase sempre o único observado, e nesse caso a transferência interna de água é a que governa a taxa de secagem (DAUDIN, 1983).

Segundo Marchese e Figueira (2005), as características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto são fenômenos comuns em qualquer condição de secagem. Na Figura 3, as curvas da evolução do teor de água do produto (a), da taxa de secagem (b) e da evolução da temperatura do produto (c) descrevem os períodos do processo de secagem.



**Figura 3.** Curvas de secagem típicas.

Fonte: Marchese e Figueira (2005).

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem: conteúdo de umidade do produto em base seca ( $X$ ), em relação à evolução do tempo de secagem ( $t$ ). A curva é obtida pesando o produto durante a secagem em uma determinada condição de secagem. A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto: variação do conteúdo de umidade do produto com o tempo ( $dx/dt$ ). Essa curva é obtida diferenciando-se a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem: variação da temperatura do produto ( $T$ ) em relação à evolução do tempo ( $t$ ).

O período zero representa o início da secagem, quando o produto está mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é mínima, não havendo transferência de massa. Com a elevação da temperatura do produto e da pressão da água, atinge-se o ponto em que há transferência de massa. No período 1, as taxas de secagem são constantes. Nesse período a quantidade de água livre é grande, e enquanto a migração de água do interior para a superfície do produto for suficiente para acompanhar a perda por evaporação, as curvas de taxa de secagem e de temperatura do produto permanecem constantes. Dependendo do material biológico, muitas vezes existe uma resistência para a transferência de massa do interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação seja superior à taxa de migração de umidade do interior para a superfície do produto. No período 2 é observada uma diminuição na taxa de secagem, devido a uma redução significativa na taxa de migração de umidade do interior para a superfície do produto, até que se atinja o equilíbrio. Nesse período a temperatura do produto aproxima-se da temperatura do ar de secagem (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

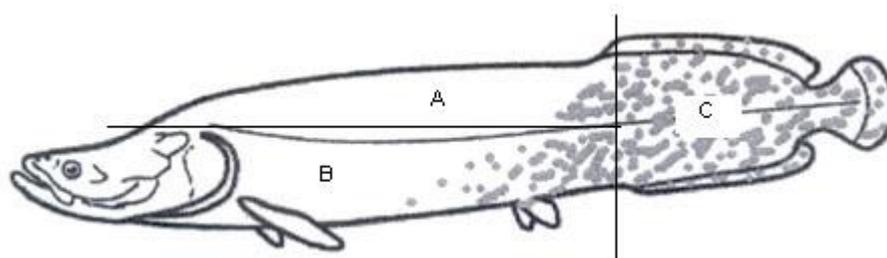
### 4.1 MATERIAL

#### 4.1.1 Matéria-prima

O pirarucu (*Arapaima gigas*) utilizado no estudo foi oriundo de cativeiro localizado no município São João de Pirabas, estado do Pará. O animal tinha aproximadamente 1 ano e 6 meses de vida e pesou 18,6 kg. Após eviscerado, o peixe foi transportado em caixa térmica com gelo em escama ( $\approx 0^{\circ}\text{C}$ ) para o laboratório de pescados e carnes da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UFPA (Belém – PA).

#### 4.1.2 Preparo da matéria-prima

Submeteu-se o peixe ao processo de higienização, primeiramente com água corrente e em seguida com uma solução de água clorada a 5 mg/L de cloro ativo, por 15 minutos. Posteriormente, foram retiradas as escamas e a pele, e após desossa, o musculo peixe foi dividido em três partes principais: dorso, ventre e cauda, conforme a Figura 4. Este processo se deu manualmente, com auxílio de lâminas de aço inox. Para a caracterização biométrica do pirarucu foram pesadas a cabeça, dorso, ventre e cauda e considerado como resíduo o que não foi utilizado na pesquisa (vísceras, pele, escamas, entre outros). As partes do peixe foram pesadas, embaladas a vácuo e congeladas a  $-26^{\circ}\text{C}$  até a realização dos ensaios. Para os ensaios optou-se por utilizar a parte dorsal do peixe, a qual foi cortada no formato de placas planas, com 5 cm de comprimento, 2 cm de largura e 0,5 cm de espessura. Os pedaços foram acondicionado em embalagens de polietileno, as quais foram envolvidas em papel alumínio, para evitar o efeito da luz e congeladas a  $-26^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.** Detalhes dos cortes realizados no pirarucu. A = dorso (ou lombo); B = ventre (ou barriga) e C = cauda.

Fonte: Fogaça et al. (2011)

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Avaliação microbiológica da matéria-prima

Para avaliar a qualidade microbiológica da matéria-prima foram realizadas as pesquisas de *Salmonella* e Estafilococos coagulase positivo, de acordo com as determinações da Resolução N° 12, de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001). Devido a manipulação do peixe antes de chegar ao laboratório, foi realizada a análise de Coliformes termotolerantes, de acordo com a Portaria N° 451, de 19 de setembro de 1997 (BRASIL, 1997), para verificar a sanidade do produto. As análises foram realizadas em triplicata, de acordo com metodologia descrita por Downes e Ito (2001).

### 4.2.2 Caracterização física e química da matéria-prima

As seguintes análises físicas e químicas foram utilizadas na caracterização da matéria-prima e do produtos, após os ensaios experimentais. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

#### ***Umidade***

Determinada por secagem em estufa a 105°C, até peso constante, de acordo com o método 950.46 da AOAC (1997).

#### ***Cinzas***

Determinadas pelo método gravimétrico, por incineração da matéria orgânica, em forno mufla a 550°C, de acordo com o método 938.08 da AOAC (1997).

#### ***Proteína bruta***

Determinada pelo método Kjeldahl, mediante a determinação do nitrogênio total contido na amostra, seguido da conversão em proteína. O resultado foi expresso em proteína bruta ou total, utilizando para o cálculo o fator nitrogênio/proteína de 6,25, de acordo com o método 940.25 da AOAC (1997).

#### ***Lipídios***

Determinado pelo método Soxhlet, utilizando éter de petróleo como solvente extrator, de acordo com o método 922.06 da AOAC (1997);

### **Cloretos**

Determinados através da quantificação de íons  $\text{Cl}^-$ , seguindo o método de titulação direta com  $\text{AgNO}_3$ , utilizando  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  como indicador, segundo método de Mohr (AOAC, 1997).

### **Carboidratos**

Foram determinados por diferença, segundo recomenda Brasil (2003).

### **Atividade de água**

Foi determinada em termohigrômetro digital, Decagon, Aqualab série 3TE modelo TE 8063, com controle interno de temperatura ( $\approx 25^\circ\text{C}$ ).

### **pH**

Foi determinado em potenciômetro da marca Hanna Instruments, modelo HI9321, de acordo com o método 981.12 da AOAC (1997). Após a calibração do pHmetro com soluções tampões pH 4 e 7 a  $20^\circ\text{C}$  foi realizada a leitura direta da amostra homogeneizada.

### **Análise de BVT (Bases Voláteis Totais)**

As bases voláteis totais (BVT) foram determinadas conforme o método descrito pelo Laboratório Nacional de Referência Animal – LANARA (BRASIL, 1981), com objetivo de avaliar o frescor da matéria-prima. 50 g de amostra foram submetidos à extração com 150 mL de ácido tricloroacético a 5%, seguido de filtração. 10 mL do extrato foram submetidos à destilação e o destilado foi titulado com ácido sulfúrico 0,01N.

### **Análise de TBA (Índice de Ácido Tiobarbitúrico)**

Determinado pela metodologia proposta por Vyncke (1970). Os resultados foram expressos em mg/malonaldeído (MDA)/kg.

### **Cor instrumental**

A avaliação da cor foi realizada por colorimetria *Tristimulos*, utilizando colorímetro Color Quest XE, marca Hunter Lab, operando com iluminante padrão D65, ângulo 10°, com sistema de cor Cielab. Foram avaliados os parâmetros L\* (luminosidade), a\* (intensidade do vermelho) e b\* (intensidade do amarelo).

O valor de croma C\* foi calculado de acordo com a Equação 1, o valor do ângulo de tonalidade (h°) pela Equação 2 e a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) entre a matéria-prima e o produto desidratado osmoticamente foi calculado pela Equação 3.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

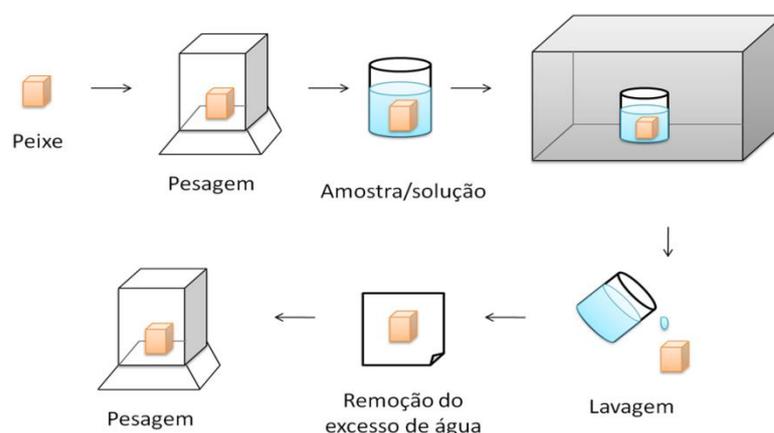
$$h^\circ = \cos^{-1} \frac{a^*}{\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}} \quad (2)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

#### **4.2.3 Desidratação osmótica**

Os pedaços do filé de pirarucu, no formato de placa plana (5 cm x 2 cm x 0,5 cm), foram descongelados a 5°C, e posteriormente até atingir a temperatura de trabalho. Em seguida, os pedaços foram pesados e colocados em recipiente de vidro, contendo solução osmótica de NaCl na temperatura de trabalho, e o sistema foi mantido em banho-maria. O volume de solução de NaCl foi definido com base no planejamento experimental.

O sistema (solução + amostra) foi mantido sob agitação constante de 50 rpm, a qual foi definida em ensaios preliminares. Após os tempos de contato, estabelecidos pelo planejamento experimental, as amostras foram retiradas, lavadas com 5 mL de água destilada, para retirada do excesso de sal da superfície, e envolvidas em papel absorventes para remoção do excesso de água da superfície. Um esquema com as etapas realizadas no processo de desidratação osmótica é apresentado na Figura 5.



**Figura 5.** Etapas do processo de desidratação osmótica.

Fonte: Maciel et al. (2012)

#### 4.2.3.1 Planejamento experimental

Para avaliar os efeitos das variáveis independentes: temperatura, tempo, concentração de NaCl e volume da solução salina, sobre as variáveis dependentes ou respostas: perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e relação perda de água e ganho de sólidos (PA/GS), foi utilizado um delineamento composto central rotacional  $2^4$ , com 28 (vinte e oito) ensaios, sendo 16 (dezesesseis) ensaios lineares nos níveis -1 e +1, 8 (oito) ensaios axiais (uma variável nos níveis  $\pm\alpha$  e três em 0) e 4 (quatro) ensaios no ponto central (as quatro variáveis independentes no nível 0) (Tabela 4). Os valores das variáveis temperatura, tempo, concentração de NaCl e volume de solução foram pré-definidos em ensaios preliminares, que tomaram como base a literatura científica. Através do planejamento experimental buscou-se obter maior PP, PA e relação PA/GS, e menor GS.

Cada fator foi estudado em cinco níveis diferentes. Os pontos centrais servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial. Os pontos axiais ( $\pm\alpha$ ) são utilizados para ampliar o modelo linear, tornando-o quadrático. O planejamento permite a obtenção de um modelo quadrático, onde o valor das variáveis dependentes (PP, PA, GS e PA/GS) é função das variáveis independentes (temperatura, tempo, concentração de sal e volume da solução), conforme descreve a Equação 4.

$$Y = f(T, t, C, V) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_{11} T^2 + \beta_2 t + \beta_{22} t^2 + \beta_3 C + \beta_{33} C^2 + \beta_4 V + \beta_{44} V^2 + \beta_{12} Tt + \beta_{13} TC + \beta_{14} TV + \beta_{23} tC + \beta_{24} tV + \beta_{34} CV \quad (4)$$

**Tabela 4.** Delineamento composto central rotacional para as variáveis independentes (temperatura, tempo, concentração de NaCl e volume de solução), na forma codificada e padrão.

Corrida	Variável codificada				Variável padrão			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de NaCl (%)	Volume de solução (mL)
1	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	31	180	22,5	20
2	-1,00	-1,00	-1,00	+1,00	31	180	22,5	40
3	-1,00	-1,00	+1,00	-1,00	31	180	27,5	20
4	-1,00	-1,00	+1,00	+1,00	31	180	27,5	40
5	-1,00	+1,00	-1,00	-1,00	31	300	22,5	20
6	-1,00	+1,00	-1,00	+1,00	31	300	22,5	40
7	-1,00	+1,00	+1,00	-1,00	31	300	27,5	20
8	-1,00	+1,00	+1,00	+1,00	31	300	27,5	40
9	+1,00	-1,00	-1,00	-1,00	44	180	22,5	20
10	+1,00	-1,00	-1,00	+1,00	44	180	22,5	40
11	+1,00	-1,00	+1,00	-1,00	44	180	27,5	20
12	+1,00	-1,00	+1,00	+1,00	44	180	27,5	40
13	+1,00	+1,00	-1,00	-1,00	44	300	22,5	20
14	+1,00	+1,00	-1,00	+1,00	44	300	22,5	40
15	+1,00	+1,00	+1,00	-1,00	44	300	27,5	20
16	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	44	300	27,5	40
17	-2,00	0,00	0,00	0,00	25	240	25	30
18	+2,00	0,00	0,00	0,00	50	240	25	30
19	0,00	-2,00	0,00	0,00	38	120	25	30
20	0,00	+2,00	0,00	0,00	38	360	25	30
21	0,00	0,00	-2,00	0,00	38	240	20	30
22	0,00	0,00	+2,00	0,00	38	240	30	30
23	0,00	0,00	0,00	-2,00	38	240	25	10
24	0,00	0,00	0,00	+2,00	38	240	25	50
25 (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	38	240	25	30
26 (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	38	240	25	30
27 (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	38	240	25	30
28 (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	38	240	25	30

X<sub>1</sub> = Temperatura (°C); X<sub>2</sub> = Tempo (min); X<sub>3</sub> = Concentração de NaCl (%); X<sub>4</sub> = Volume de solução (ml)

Os coeficientes da Equação 4 nem sempre são estatisticamente significativos, assim foi necessário realizar uma análise estatística para confirmar a validade destes coeficientes dentro de um nível de confiança estabelecido ( $p = 0,05$ ). Após a análise estatística dos coeficientes foi realizada uma análise de variância (ANOVA), que consiste na avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do teste F, para

verificar se o modelo representa um grau de ajuste adequado aos dados experimentais.

Para a análise dos dados experimentais, bem como para a elaboração dos modelos, foi utilizado o software Statistica 7.0 (STATSOFT, 1997). Foi considerado preditivo o modelo que apresentou regressão significativa e falta de ajuste não significativa, com confiança de 95%, e alto valor do coeficiente de determinação  $R^2$ .

#### 4.2.3.2 Determinação das variáveis de resposta

O transporte de massa (água e solutos) na desidratação osmótica foi acompanhado pela determinação da perda de água (PA) e do ganho de sólidos (GS), os quais foram calculados de acordo com as Equações 5 e 6.

$$PA(\%) = \frac{MA_o - (M_t - MS_t)}{MA_o + MS_o} \times 100 \quad (5)$$

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_o}{MA_o + MS_o} \times 100 \quad (6)$$

onde, PA = perda de água (%); GS = ganho de sólidos (%);  $MA_o$  = massa de água inicial na amostra (g);  $MS_o$  = massa de sólidos inicial na amostra (g);  $M_t$  = massa da amostra em um tempo t (g);  $MS_t$  = massa de sólidos em um tempo t (g).

#### 4.2.3.3 Determinação da condição ótima

A condição ótima para desidratação osmótica do filé de pirarucu foi determinada utilizando Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), realizando a sobreposição dos gráficos de PA e GS, para maximizar PA e minimizar GS. O ponto ótimo do processo foi também determinado através da função desejabilidade, para a maximização das respostas PP, PA e PA/GS e minimização da resposta GS. Ambas metodologias foram realizadas através do Software Statistica® versão 7.0.

#### 4.2.3.4 Validação da condição ótima da desidratação osmótica

O processo de desidratação osmótica do pirarucu foi realizado na condição ótima de temperatura, tempo, concentração de NaCl e volume de solução, e foram

determinados os parâmetros: PP, PA, GS e a relação PA/GS, para validar a modelagem matemática.

#### 4.2.3.5 Cinética do processo de desidratação osmótica do pirarucu

Amostras do produto foram submetidas à desidratação osmótica na condição ótima de temperatura, concentração de NaCl e volume de solução. Os ensaios foram realizados em tempos crescentes e acompanhados os parâmetros: PP, PA, GS,  $a_w$  e a relação PA/GS.

#### 4.2.3.6 Estudo da secagem do produto desidratado

Nessa etapa, a secagem complementar do filé de pirarucu desidratado na condição ótima de temperatura, tempo, concentração de NaCl e volume de solução, foi estudada. Amostras do produto, com massas e dimensões conhecidas, foram dispostas sobre a base da bandeja de um sacador de leite fixo, constituída de uma tela metálica para facilitar a passagem do ar de secagem. O fluxo de ar passou perpendicular a amostra, com uma velocidade de escoamento média de 1,5 m/s. As temperaturas de trabalho foram 40, 50, 60 e 70°C. A cinética foi determinada pelo acompanhamento do peso da amostra, em intervalos de tempo crescente, até peso constante. Nesta condição foi determinada a umidade do produto, para o cálculo da massa seca.

O coeficiente de difusão ou difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) das diferentes condições de secagem foi determinado a partir da segunda lei de Fick da difusão, para placa plana infinita, truncada no primeiro termo da série (Equação 7) (GEANKOPLIS, 2003). Considerou-se que a secagem ocorreu de forma unidirecional com uma distribuição de umidade inicial uniforme e sem a presença de qualquer resistência térmica. O valor de  $D_{\text{eff}}$  foi calculado a partir do coeficiente angular da reta obtida da relação  $\ln(\text{MR}) \times t$ , através de regressão linear.

$$\text{MR} = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} 8\pi^2 \exp\left(-\frac{D_{\text{eff}}\pi^2}{L^2} t\right) \quad (7)$$

onde: MR = relação de umidade (adimensional); X = umidade em determinado tempo (g H<sub>2</sub>O/g b.s.); X<sub>0</sub> = umidade inicial (g H<sub>2</sub>O/g b.s.); X<sub>e</sub> = umidade de equilíbrio (g H<sub>2</sub>O/g b.s.); t = tempo de secagem (s); L = espessura do leite (m).

Para avaliar a influência da temperatura sobre a velocidade da desidratação e, conseqüentemente, no modelo difusivo, foi utilizada a Equação 8, que se aproxima da Lei Arrhenius, para o cálculo da energia de ativação.

$$D_{\text{eff}} = A \exp \left[ -\frac{E_a}{R(T + 273)} \right] \quad (8)$$

#### 4.2.3.7 Modelagem matemática

##### *Desidratação osmótica*

A cinética de transferência de massa, durante o processo de desidratação osmótica do pirarucu, foi estimada utilizando o modelo empírico proposto por Azuara et al. (1992) (Equação 9). Esse modelo foi desenvolvido para representar a cinética do processo osmótico e estimar a concentração de equilíbrio a partir do balanço de massa (água e sólidos) no produto.

$$GX = GX^{\infty} - GX^* \quad (9)$$

onde,  $GX$  = perda de água (PA) ou ganho de sólidos (GS), em um tempo  $t$ ;  $GX^{\infty}$  = perda de água ( $PA^{\infty}$ ) ou ganho de sólidos ( $GS^{\infty}$ ), no equilíbrio;  $GX^*$  = massa de água ( $PA^*$ ) ou sólidos ( $GS^*$ ) que ainda não saiu (ou entrou) da amostra, em um tempo  $t$ , mas que irá sair (ou entrar) até que o equilíbrio seja alcançado.

O valor de  $GX^{\infty}$  depende da temperatura e da concentração da solução, enquanto os valores de  $GX$  e de  $GX^*$  dependem do tempo de processo. O valor de  $GX$  aumenta e o valor de  $GX^*$  diminui durante o processo osmótico, permitindo estabelecer uma relação entre essas variáveis, representada por um parâmetro  $K$ . Por sua vez, o parâmetro  $K$  é função do tempo e da taxa de perda de água ou de ganho de sólidos, podendo ser escrito em termos do tempo de processo  $t$ , e de uma constante  $k$ , conforme representado pela Equação 10 (AZUARA et al., 1992).

$$GX^* = \frac{GX}{K} = \frac{GX}{k \cdot t} \quad (10)$$

Substituindo a Equação 9 na Equação 10 e rearranjando os termos, obtêm-se a Equação 11. Esta equação pode ser utilizada para caracterizar o processo osmótico de diferentes tipos de alimentos, sem restrições para a configuração geométrica (AZUARA et al., 1992). O ajuste da equação aos dados experimentais de PA e GS, para o processo em estudo, foi realizado com o auxílio do software STATISTICA 7.0.

$$GX = \frac{k \cdot t \cdot GX^{\infty}}{1 + k \cdot t} \quad (11)$$

Os valores de PA e GS, no equilíbrio, e do parâmetro k foram calculados por regressão linear da relação  $t/GX$  versus t, segundo a forma linearizada do modelo proposto por Azuara et al. (1992) (Equação 12).

$$\frac{t}{GX} = \frac{1}{k \cdot GX^{\infty}} \frac{t}{GX^{\infty}} \quad (12)$$

#### *Processo de secagem*

Na predição das curvas de secagem complementar do filé de pirarucu desidratado foram utilizados dez modelos semi-empíricos apresentados na Tabela 5 (AKPINAR; BICER; YILDIZ, 2003).

**Tabela 5.** Modelos semi-empíricos ajustados aos dados de secagem do filé de pirarucu desidratado.

<b>Nome do Modelo</b>	<b>Equação</b>
Newton	$MR = e^{-k \cdot t}$
Page	$MR = e^{-k \cdot t^n}$
Page Modificado	$MR = e^{-(k \cdot t)^n}$
Henderson e Pabis	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t}$
Logarítmico	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + c$
Midilli	$MR = b \cdot t + a \cdot e^{-k \cdot t^n}$
Dois termos	$MR = a \cdot e^{-k_0 \cdot t} + b \cdot e^{-k_1 \cdot t}$
Aproximação da difusão	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a) \cdot e^{-k \cdot b \cdot t}$
Verma	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a) \cdot e^{-g \cdot t}$
Dois termos exponencial	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a) \cdot e^{-k \cdot a \cdot t}$

MR: relação de umidade; k,  $k_0$ ,  $k_1$ : constantes empíricas do modelo de secagem; a, b, c, g, n: constantes empíricas do modelo de secagem; t: tempo.

#### 4.2.4 Caracterização do produto desidratado na condição ótima

A composição centesimal do filé de pirarucu desidratado na condição ótima foi determinada através das análises de umidade, cinzas, proteína bruta, lipídios e cloretos. Foram também determinados os parâmetros atividade de água e cor instrumental. Todas as análises foram realizadas de acordo com as metodologias apresentadas no item 4.2.2.

#### 4.2.5 Análise estatística

Os resultados das análises físico-químicas foram submetidos a análise de variância e teste complementar de comparação de médias de Tukey. A modelagem matemática das curvas de cinética de secagem foi realizada por regressão não linear, pela metodologia de estimativa de *Levenberg-Marquardt* e com o critério de convergência de  $10^{-6}$ . Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do Software Statistica® versão 7.0 (STATSOFT, 1997).

A adequação do modelo proposto por Azuara et al. (1992) aos dados experimentais foi avaliada pelo coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e pelo erro médio quadrático (RMSE) (Equação 13). Para avaliar a adequação dos modelos de secagem, além destes parâmetros foi utilizado o valor do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (Equação 14).

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (GX_{exp} - GX_{pred})^2}}{n} \quad (13)$$

onde,  $GX_{exp}$  e  $GX_{pred}$  = a perda de água ou o ganho de sólido, experimental e predito, respectivamente, e  $N$  = número de observações.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp} - MR_{pred})^2}{N - n} \quad (14)$$

onde,  $MR_{exp}$  = valor da relação de umidade determinada a partir dos dados experimentais;  $MR_{pred}$  = valor da relação de umidade predita pelos modelos ajustados;  $N$  = número de observações;  $n$  = número de parâmetros do modelo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO PIRARUCU

A Tabela 6 apresenta os resultados das análises microbiológicas do pirarucu *in natura*. Os resultados demonstram que o filé de pirarucu utilizado na pesquisa apresentou um padrão microbiológico dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2001).

**Tabela 6.** Parâmetros microbiológicos do filé de pirarucu *in natura*.

Análises	Pirarucu <i>in natura</i>	Legislação
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente em 25g	Ausência em 25g
<i>Staphylococcus aureus</i>	< 1x10 <sup>1</sup> UFC/g	Máx. 10 <sup>3</sup> UFC/g
Coliformes termotolerantes a 45°C	23 NMP/g	Máx. 10 <sup>2</sup> NMP/g

NMP: Número mais provável; UFC: Unidade formadora de colônia.

### 5.2 CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DO PIRARUCU

As características biométricas do pirarucu utilizado são apresentadas na Tabela 7. O rendimento em filé do peixe foi inferior ao observado por Fogaça et al (2011), para exemplares de pirarucu classificados em função do peso: animais com 7,0 a 9,0 kg (47,43%), animais com 11,0 a 13,0 kg (48,62%) e animais com 14,0 a 17,0 kg (49,79%). Ono, Halverson e Kubtiza (2004) observaram rendimento em files de 56,6 e 57,9%, para exemplares de pirarucu entre 30 e 40 kg, respectivamente.

**Tabela 7.** Características biométricas do pirarucu (*Arapaima gigas*).

Propriedade	Valores
Cabeça (kg)	1.834,9
Filé do dorso (kg)	2.762,5
Filé do ventre (kg)	3.164,4
Filé da cauda (kg)	1.752,5
Resíduo* (kg)	9.085,7
Total (kg)	18.600
Tamanho (m)	1,20
Rendimento em filé (%)	41,28

\*escamas, pele, ossos e vísceras

Silva et al. (2012), em estudo sobre o cultivo de pirarucu no municio de Conceição do Araguaia (PA), encontrou rendimentos médios em filé de 46,3%, para exemplares de pirarucu com peso entre 8 a 16 kg. Oliveira (2006), observou rendimento médio de 41,41%, em exemplares juvenis de pirarucu, com peso entre 3 a 9 kg. Esse valor foi o que mais se aproximou do rendimento observado para o pirarucu utilizado no estudo.

Em relação a outros peixes, o pirarucu apresentou rendimento médio em filé superior a tilápia tailandesa (21,63%) (SIMÕES et al., 2007), a carpa (34,5 a 35,1%) (GRAEFF; TOMAZELLI, 2007), a caranha (25,24%) (LIMA; MUJICA; LIMA, 2012) e ao jundiá (34,75%) (CARNEIRO et al., 2004).

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DO MÚSCULO DE PIRARUCU

O pirarucu é classificado como um peixe de grande porte, por essa razão foi avaliada, preliminarmente, a composição centesimal das três partes principais do peixe (dorso, ventre e cauda), cujos resultados são apresentados na Tabela 8. De acordo com a comparação de médias, houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as partes do peixe, principalmente ao que se refere ao teor de lipídeos, que variou de 1,39 a 6,09%.

**Tabela 8.** Composição centesimal das três principais partes do músculo de pirarucu.

Parte	Umidade	Lipídios	Proteínas	Cinzas	Carboidratos
Dorso	75,24 <sup>b</sup> ±0,83	1,39 <sup>c</sup> ±0,06	20,62 <sup>a</sup> ±0,72	0,82 <sup>b</sup> ±<0,01	1,92 <sup>b</sup> ±0,07
Ventre	76,45 <sup>a,b</sup> ±0,15	6,04 <sup>b</sup> ±0,20	15,13 <sup>b</sup> ±0,24	1,05 <sup>a</sup> ±0,02	1,31 <sup>a</sup> ±0,06
Calda	76,78 <sup>a</sup> ±0,15	4,71 <sup>a</sup> ±0,12	15,81 <sup>b</sup> ±0,11	0,78 <sup>b</sup> ±0,01	1,90 <sup>b</sup> ±0,08

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram ( $p > 0,05$ ) estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey.

Segundo Ogawa e Maia (1999), o músculo do pescado pode conter de 60 a 85% de umidade, aproximadamente 20% de proteína, de 1 a 2% de cinza, de 0,3 a 1,0% de carboidrato e de 0,6 a 36% de lipídios. De acordo com os autores, este último constituinte apresenta uma maior variação, em função do tipo de músculo corporal em uma mesma espécie (por exemplo, em atum o músculo dorsal apresenta de 1 a 2% de lipídeos, enquanto o abdominal pode alcançar até 20%), do sexo, da idade, da época do ano, do habitat e da dieta.

Comparando a composição química do pirarucu estudado, com a relatada por Muñoz-Ramires, Coronado e Franco (2013), para a mesma espécie, observou-se valores próximos de umidade (77,8%), lipídeos (1,3%), proteínas (19,6%) e cinzas (1,1%). A umidade do peixe (75,24-76,78%) foi da mesma ordem de grandeza encontrada por Fogaça et al. (2011) (76,4%), porém inferior aos valores observados por Maciel et al. (2012) (79,5%) e Silva et al. (2012) (78,51%).

O teor de lipídeos foi o que mais variou entre as partes do peixe analisadas. Dias (1983) encontrou 0,2% de lipídeos, Silva et al. (2012) relatou média de 3,1%, e Muñoz-Ramirez, Coronado e Franco (2013) observaram valores de 1,3%, no músculo do pirarucu. A variação lipídica pode ser explicada, entre outros fatores, pela influência que a idade exerce nos peixes, uma vez que, o depósito de lipídeos pode ser localizados em diferentes tecidos, de acordo com sua necessidade fisiológica, durante o crescimento, a reprodução ou a engorda do animal (NAKAMURA et al., 2007).

O teor de proteínas foi superior ao encontrado por Oliveira (2006) (16,10%), no músculo do dorso do pirarucu, bem como para outras espécies de peixe, como: o mapará (10,04%) (CORDEIRO, 2012) e a tilapia tailandesa (19,36%) (SIMÕES et al., 2007). O teor de cinzas apresentou-se de acordo com o encontrado por Oliveira (2006) (0,84%) e ligeiramente superior ao mencionado por Maciel et al. (2012) (0,6%).

O pescado é uma das principais fontes de proteína na alimentação humana, a qual é caracterizada por sua elevada digestibilidade e alto valor biológico. Com relação à quantidade e à qualidade das proteínas do pescado, o teor é sempre alto, variando entre 15 a 25% (ORDÓÑEZ, 2005). Nesse sentido o músculo do pirarucu pode ser considerado uma fonte nutricional de elevado teor proteico.

O dorso do pirarucu é a parte mais estudada entre os pesquisadores (FOGAÇA, 2011; MACIEL, 2012; MUÑOZ-RAMIREZ; CORONADO; FRANCO, 2013). Por este motivo, foi a parte escolhida para ser utilizado nesta pesquisa. As propriedades físico-químicas adicionais dessa parte do peixe são apresentadas na Tabela 9.

A  $a_w$  observada no músculo do dorso do pirarucu caracteriza o produto como susceptível a ação da maioria do micro-organismos, o que ratifica a necessidade da aplicação de um processo tecnológico que assegure a sua conservação por um período mais prolongado, uma vez que a maioria dos micro-organismos cresce em meio com  $a_w$  entre 0,90 e 0,99 (FERREIRA NETO; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2005).

O pH do pirarucu (6,05) ficou abaixo do máximo recomendado pela legislação brasileira, que estabelece valores máximos de 6,5 e 6,8 para as musculaturas interna e externa de peixes, respectivamente (BRASIL, 1997).

**Tabela 9.** Propriedades físico-química do filé do dorso do pirarucu.

Propriedade	Valor
Cloretos (%)	0,05 ± <0,01
$a_w$	0,99 ± <0,01
pH	6,05 ± <0,01
n-BVT (mg nBVT/100g)	16,96 ± 0,31
TBA (mg malonaldeído/kg)	0,24 ± 0,05

A deterioração do peixe fresco é atribuída principalmente à atuação de micro-organismos mesofilos, que atuam em condições de elevada  $a_w$  e pH próximos a neutralidade. A redução da  $a_w$  para um valor abaixo de 0,95, tem um efeito pronunciado sobre a taxa de crescimento de *Pseudomonas spp.*, e nesse contexto, a desidratação osmótica é uma alternativa para conservação de files de peixes, uma vez que reduz a  $a_w$ , além de contribuir para melhorar as propriedades funcionais e sensoriais do alimento (TAOUKIS; TSIRONI, 2014).

De acordo com o Regulamento da inspeção industrial sanitária de produtos de origem animal – DIPOA, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (BRASIL, 1997), o número das bases voláteis totais (n-BVT) para pescado fresco deve ser inferior a 30 mg de nitrogênio por 100 g de filé. Assim o pirarucu estudado apresentou-se dentro das normas previstas nesse regulamento, pois obteve 16,96 de nitrogênio por 100 g de amostra.

Estudos sobre o n-BVT em pirarucu são limitados. Entretanto, já foram citados níveis de n-BVT, em pirarucu inteiro estocado em gelo, com valores de 6,65 mgN/100 g no tempo zero e 18,76 mgN/100 g aos 36 dias de refrigeração; em filés de pirarucu estocados a -18°C, com 6,81 mgN/100 g no tempo zero e 26,34 mgN/100 g aos 150 dias de congelamento; e em filés de pirarucu defumados a quente e conservados a -18°C, com 32,89 mgN/100g no tempo zero e 43,56 mgN/100g de n-BVT aos 150 dias de estocagem (OLIVEIRA, 2007).

O teste de TBA quantifica o malonaldeído, um dos principais produtos de decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poli-insaturados, como um parâmetro que fornece informações valiosas e essenciais a respeito do estado

oxidativo, na predição da rancidez do alimento analisado (OSAWA; FELÍCIO; GONÇALVES, 2005). Segundo Connell (1990), teores de TBA acima de 1-2 mg de malonaldeído por quilograma de peixe já são indicativos de deterioração oxidativa. Com base nessa referência, o pirarucu apresentou bom estado de conservação, em função do valor de TBA, de 0,24 mg malonaldeído/kg.

Os resultados da análise de cor são apresentados na Tabela 10. O principal pigmento responsável pela coloração marrom avermelhada do filé de peixe é a mioglobina (Mb). A hemoglobina (Hb) também está presente no filé escuro do peixe, porém em pequenas concentrações, e pouco contribui para a sua cor, exceto quando há rupturas dos vasos sanguíneos com acúmulo de sangue nos tecidos musculares (OGAWA; MAIA; 1999).

**Tabela 10.** Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e valor de croma ( $C^*$ ) e do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) para o filé de pirarucu.

Parâmetro	Valor
$L^*$	71,11 $\pm$ 0,91
$a^*$	0,16 $\pm$ 0,03
$b^*$	15,06 $\pm$ 0,77
$C^*$	15,26 $\pm$ 0,46
$h^\circ$	89,62 $\pm$ 0,04

O parâmetro  $L^*$  (luminosidade) indica a intensidade do brilho da amostra, varia de 100, que representa um perfeito difusor refletindo (branco) até o zero, que constitui o preto (Konica Minolta, 1998). De acordo com o valor de  $L^*$ , o filé do pirarucu apresentou tendência a cor branca, o que indica uma quantidade pequena de Mb + Hb no filé.

A coordenada  $a^*$  varia do vermelho ( $+a^*$ ) ao verde ( $-a^*$ ), e a coordenada  $b^*$  do amarelo ( $+b^*$ ) ao azul ( $-b^*$ ). O valor de  $a^*$  obtido foi baixo para indicar tendência ao vermelho, tendendo mais para neutralidade, enquanto o valor de  $b^*$  indica tendência da amostra ao amarelo. A baixa saturação da cor foi ratificada pelo valor de  $C^*$  e o amarelo pelo ângulo de tonalidade (ALVES et al. 2008).

Os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  observados para o filé de pirarucu foram superiores ao descrito por Gonzaga Júnior (2010) para mesma espécie ( $L^* = 52,09 \pm 0,73$ ;  $a^* = 0,69 \pm 0,17$ ;  $b^* = 1,05 \pm 0,39$ ). Isto poderia ser explicado pela porção que o autor pesquisou, visto que, o mesmo utilizou três partes distintas do pirarucu (dorso,

ventre e cauda) e fez-se a média dos resultados, enquanto que nesta análise foi utilizada apenas a parte dorsal do peixe.

O valor do croma ( $C^*$ ) expressa a intensidade da cor, ou seja, a saturação em termos de pigmentos dessa cor. Valores de croma próximos de zero representam cores neutras (cinzas), enquanto valores próximos de 60 expressam cores vívidas (MENDONÇA et al., 2003). O valor de  $C^*$  observado para o filé de pirarucu indica que a cor do produto caracteriza-se por ser uma cor neutra. Ribeiro (2005) observou um valor de  $C^*$  de 17,62, em filé de mapará.

Segundo Alves et al. (2008), o ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) assume valor zero para cor vermelha,  $90^\circ$  para o amarelo,  $180^\circ$  para o verde e  $270^\circ$  para o azul. O valor do ângulo de tonalidade apresentado pelo filé de pirarucu indica tendência a cor amarela. Costa (2013) determinou, para o mapará, ângulo de tonalidade de  $82,05^\circ$ , indicando tendência a cor amarela.

#### 5.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Os valores obtidos experimentalmente para os ensaios de desidratação osmótica do filé de pirarucu, para perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e relação perda de água/ganho de sólidos (PA/GS), segundo o delineamento composto central rotacional, são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11.** Resultados da perda de peso (PP%), perda de água (PA%), ganho de sólidos (GS%) e relação perda de água e ganho de sólidos (PA/GS) obtidos experimentalmente através da desidratação osmótica do filé de pirarucu utilizando solução de NaCl + água.

Ensaio	Variável codificada				Variável padrão				Resposta			
	T (°C)	t (min)	C (%)	V (mL)	T (°C)	t (min)	C (%)	V (mL)	PP (%)	PA (%)	GS (%)	PA/GS S
1	-1	-1	-1	-1	31	180	22,5	20	5,08	16,09	11,02	1,46
2	-1	-1	-1	+1	31	180	22,5	40	4,30	14,99	10,69	1,40
3	-1	-1	+1	-1	31	180	27,5	20	11,10	20,57	9,47	2,17
4	-1	-1	+1	+1	31	180	27,5	40	11,57	21,86	10,28	2,12
5	-1	+1	-1	-1	31	300	22,5	20	4,31	14,47	10,16	1,42
6	-1	+1	-1	+1	31	300	22,5	40	4,12	14,57	10,45	1,39
7	-1	+1	+1	-1	31	300	27,5	20	11,01	20,87	9,87	2,11
8	-1	+1	+1	+1	31	300	27,5	40	10,34	19,01	8,68	2,19
9	+1	-1	-1	-1	44	180	22,5	20	12,83	22,66	9,82	2,30
10	+1	-1	-1	+1	44	180	22,5	40	12,15	21,81	9,65	2,25
11	+1	-1	+1	-1	44	180	27,5	20	21,20	32,60	11,40	2,86
12	+1	-1	+1	+1	44	180	27,5	40	20,13	32,37	12,24	2,64
13	+1	+1	-1	-1	44	300	22,5	20	12,76	21,40	8,64	2,47
14	+1	+1	-1	+1	44	300	22,5	40	12,07	21,31	9,24	2,30
15	+1	+1	+1	-1	44	300	27,5	20	21,21	31,72	10,51	3,01
16	+1	+1	+1	+1	44	300	27,5	40	22,22	33,32	11,11	3,00
17	-2	0	0	0	25	240	25	30	2,33	15,52	13,19	1,17
18	+2	0	0	0	50	240	25	30	17,99	27,58	9,59	2,87
19	0	-2	0	0	38	120	25	30	12,81	25,21	12,40	2,03
20	0	+2	0	0	38	360	25	30	13,52	25,74	12,22	2,10
21	0	0	-2	0	38	240	20	30	10,79	18,95	8,16	2,32
22	0	0	+2	0	38	240	30	30	21,38	30,62	9,24	3,31
23	0	0	0	-2	38	240	25	10	11,63	20,35	8,72	2,33
24	0	0	0	+2	38	240	25	50	11,43	20,45	9,03	2,26
25 (C)	0	0	0	0	38	240	25	30	11,00	19,94	8,94	2,22
26 (C)	0	0	0	0	38	240	25	30	12,65	21,16	8,51	2,48
27 (C)	0	0	0	0	38	240	25	30	11,92	20,15	8,23	2,44
28 (C)	0	0	0	0	38	240	25	30	11,06	21,15	10,09	2,09

#### 5.4.1 Perda de peso

Os resultados da análise estatística, aplicada aos dados experimentais da perda de peso (PP) foram determinados através do erro puro e são apresentados na Tabela 12. Os efeitos dos fatores lineares (L), quadráticos (Q) e das interações, em negrito, são significativos ao nível de confiança de 95% ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 12.** Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para perda de peso (PP) na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água.

<b>Fatores</b>	<b>Efeito estimado</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(3)</b>	<b>Significância estatística (p)</b>
<b>Efeitos principais</b>				
<b>Temperatura (L)</b>	<b>8,673</b>	<b>0,391</b>	<b>27,157</b>	<b>0,0001</b>
Temperatura (Q)	-0,901	0,319	-2,822	0,0666
Tempo (L)	0,088	0,319	0,278	0,7990
Tempo (Q)	0,601	0,319	1,882	0,1564
<b>Concentração (L)</b>	<b>6,863</b>	<b>0,319</b>	<b>21,490</b>	<b>0,0002</b>
<b>Concentração (Q)</b>	<b>2,059</b>	<b>0,319</b>	<b>6,448</b>	<b>0,0076</b>
Volume de Sol. (L)	-0,250	0,319	-0,783	0,4904
Volume de Sol. (Q)	-0,218	0,319	-0,683	0,5431
<b>Efeito das interações</b>				
Temper. x Tempo	0,527	0,391	1,349	0,2700
Temper. x Conc.	1,090	0,391	2,786	0,0686
Temper. X Vol.Sol	-0,033	0,391	-0,085	0,9374
Tempo x Conc.	0,233	0,391	0,597	0,5923
Tempo x Vol.Sol	0,190	0,391	0,486	0,6602
Conc. x Vol.Sol	0,258	0,391	0,659	0,5566

O efeito estimado demonstra o quanto cada fator influi nas respostas estudadas. O valor de t(3) indica a grandeza da variável em relação ao seu desvio, ou seja, quanto maior o valor de t(3), maior é a probabilidade da variável ser estatisticamente significativa. O valor do coeficiente p indica o nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo (BARROS NETO; SCARMINO; BRUNS, 2010). Neste estudo foi escolhido como intervalo de confiança, o valor de 95%. Assim, pode-se afirmar que, para valores de  $p \leq 0,05$ , o efeito da variável é considerado estatisticamente significativo.

Na Tabela 12 é possível verificar que os fatores significativos para PP foram a temperatura (L) e a concentração (L) (Q); todos com efeito positivo. No caso dos efeitos lineares o aumento em qualquer um desses fatores acarreta um aumento em PP, já o efeito quadrático positivo denota uma região de mínimo na superfície de resposta. A temperatura (L) foi o fator que apresentou o maior efeito sobre a resposta PP. Ribeiro et al. (2008), em estudo sobre a desidratação osmótica do mapará, observou que o efeito linear da temperatura foi o mais significativo para PP, além da concentração (L) e do tempo (L); todos com efeito positivo. Entretanto, o

parâmetro concentração (Q) apresentou um efeito negativo para PP, condição divergente a encontrada no presente estudo.

Após a estimativa dos efeitos, verificou-se através da análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste, a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, conforme apresentado na Tabela 13.

**Tabela 13.** Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta perda de peso (PP).

Fonte de variação	SS	GL	MS	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> ( $p \leq 0,05$ )	F <sub>c</sub> /F <sub>t</sub> ( $>4$ )	R <sup>2</sup>
Regressão	767,63	3	255,87	213,41	3,01	70,9	0,96
Resíduo	28,77	24	1,19				
Falta de ajuste	26,94	21	1,28	2,10	8,66	0,2	
Erro puro	1,84	3	0,61				
Total	796,41	27					

Uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F, pode não ser preditiva, por cobrir uma faixa pequena de variação dos fatores estudados (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010). Box e Wetz (1973) indicam que para uma regressão ser significativa, não apenas estatisticamente, mas também ser útil para fins preditivos, o valor de F calculado para a regressão deve ser no mínimo quatro a cinco vezes maior que o valor de F tabelado. Por outro lado, o F da falta de ajuste em relação ao erro puro, deve apresentar o menor valor possível, pois um alto F indica que há uma grande falta de ajuste dos dados ao modelo.

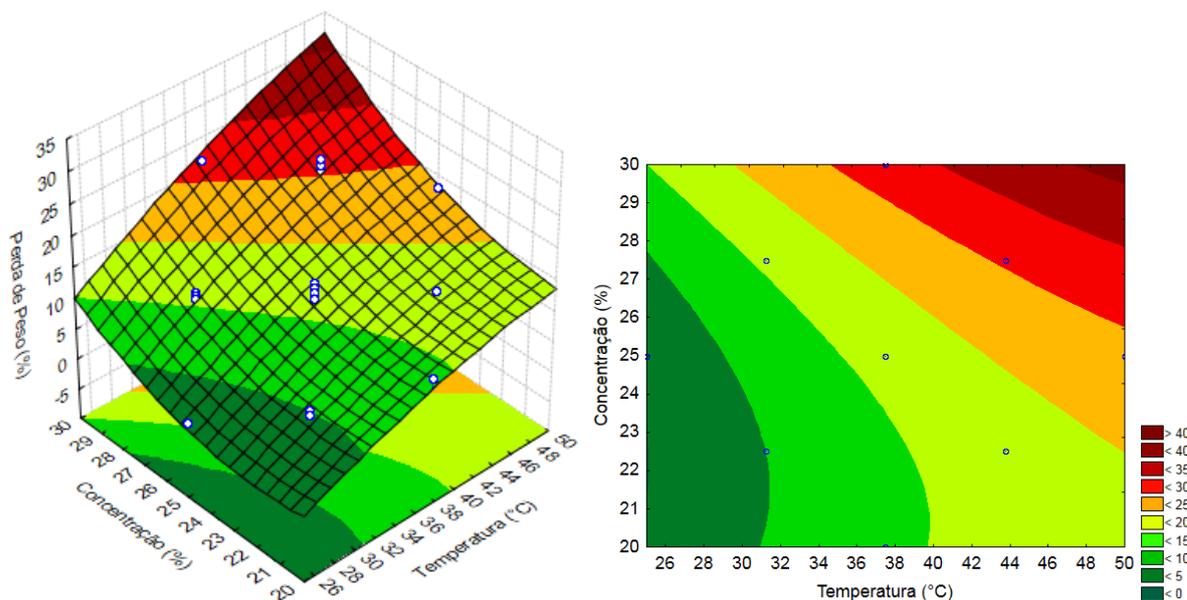
O modelo apresentado para a PP foi significativo, com 95% de confiança, pois o F calculado para regressão (Tabela 13) foi 70,9 vezes maior que o F tabelado. Observou-se também que a falta de ajuste foi não significativa no mesmo nível de confiança; assim o modelo pode ser utilizado também para fins preditivos. O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) foi de 0,96 ou seja, o modelo explica 96% da variação dos dados observados.

A partir dos valores dos coeficientes de regressão, o modelo proposto para representar a PP na desidratação osmótica do filé de pirarucu em solução de NaCl é o apresentado na Equação 15. A superfície de resposta e as curvas de nível, geradas por esta equação, são apresentadas na Figura 6.

$$PP (\%) = 90,51 + 0,526T - 0,012T^2 - 0,09t + 8,3 \times 10^{-5}t^2 - 8,52C + 0,165C^2$$

$$\begin{aligned}
 & - 0,104V - 1,1 \times 10^{-3}V^2 + 7,0 \times 10^{-4}Tt + 0,035TC - 2,7 \times 10^{-4}TV + 7,8 \times 10^{-4}tC \\
 & + 1,6 \times 10^{-4}tV + 5,26 \times 10^{-3}CV
 \end{aligned} \tag{15}$$

onde: PP = perda de peso (%); T = temperatura (°C); t = tempo (min); C = concentração de NaCl (%) e V = volume de solução (mL).



**Figura 6.** Superfície de resposta e curvas de nível para a perda de peso (PP), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e temperatura (°C).

De acordo com a Figura 6, a PP aumentou a medida que a temperatura e a concentração de NaCl aumentam. Para valores de temperatura inferiores a 31°C, a PP não ultrapassou 13%, independentemente da concentração de NaCl na solução osmótica. Simões (2007) observou na desidratação osmótica de tilápia que as maiores perdas de peso foram alcançadas em temperaturas acima de 33°C, concentração de NaCl acima de 24%, com pouca influencia do tempo.

Segundo Vorskresenski (1965), Zaitsev et al. (1969) e Medina-Vivanco (1998) são observados três estágios no processo de desidratação osmótica. No primeiro estágio ocorre o aumento da PP até atingir um máximo, em função do tempo de contato e da concentração da solução. O segundo estágio é caracterizado pela redução da PP, quando a umidade já atingiu um valor constante, mas a concentração da solução ainda não atingiu um patamar; o final desse estágio é caracterizado por uma redistribuição parcial do solvente e da água dentro do tecido.

No terceiro estágio uma menor quantidade de soluto é transferida, mas a PP aumenta.

#### 5.4.2 Perda de água (PA)

Os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e das interações sobre a perda de água (PA) do filé de pirarucu, durante a desidratação osmótica, foram determinados através do erro puro e são apresentados na Tabela 14. Os efeitos em negrito são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 14.** Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para perda de água (PA) na desidratação osmótica do filé de pirarucu em solução de NaCl + água.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(3)	Significância estatística (p)
<b>Efeitos principais</b>				
<b>Temperatura (L)</b>	<b>8,238</b>	<b>0,263</b>	<b>31,321</b>	<b>0,0001</b>
Temperatura (Q)	0,282	0,263	1,075	0,3609
Tempo (L)	-0,433	0,263	-1,647	0,1980
<b>Tempo (Q)</b>	<b>2,246</b>	<b>0,263</b>	<b>8,542</b>	<b>0,0034</b>
<b>Concentração (L)</b>	<b>7,364</b>	<b>0,263</b>	<b>27,999</b>	<b>0,0001</b>
<b>Concentração (Q)</b>	<b>1,900</b>	<b>0,263</b>	<b>7,223</b>	<b>0,0055</b>
Volume de Sol. (L)	-0,077	0,263	-0,296	0,7863
Volume de Sol. (Q)	-0,291	0,263	-1,109	0,3481
Efeito das interações				
Temper. x Tempo	0,364	0,322	1,130	0,3406
<b>Temper. x Conc.</b>	<b>2,586</b>	<b>0,322</b>	<b>8,014</b>	<b>0,0040</b>
Temper. X Vol.Sol	0,251	0,322	0,779	0,4927
Tempo x Conc.	0,167	0,322	0,521	0,6383
Tempo x Vol.Sol	0,081	0,322	0,251	0,8173
Conc. x Vol.Sol	0,341	0,322	1,060	0,3667

De acordo com a ANOVA, os fatores significativos: temperatura (L), tempo (Q), concentração (L) (Q) e a interação temperatura x concentração apresentam efeito positivo para PA. Os efeitos lineares positivos indicam que um aumento em qualquer uma dessas variáveis provocará a elevação da PA, enquanto os quadráticos positivos indicam uma região de mínimo na superfície de resposta. Observou-se também, que o parâmetro temperatura (L) exerceu o maior efeito sobre

a resposta PA. Medina-Vivanco, Sobral e Hubinger (2002) e Maciel et al. (2012), estudando a desidratação osmótica de tilápia e pirarucu, respectivamente, observaram a mesma influência da temperatura, da concentração e do tempo sobre PA.

Após a estimativa dos efeitos, verificou-se através da ANOVA a significância da regressão e da falta de ajuste, a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F. Os resultados são apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15.** Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta perda de água (PA).

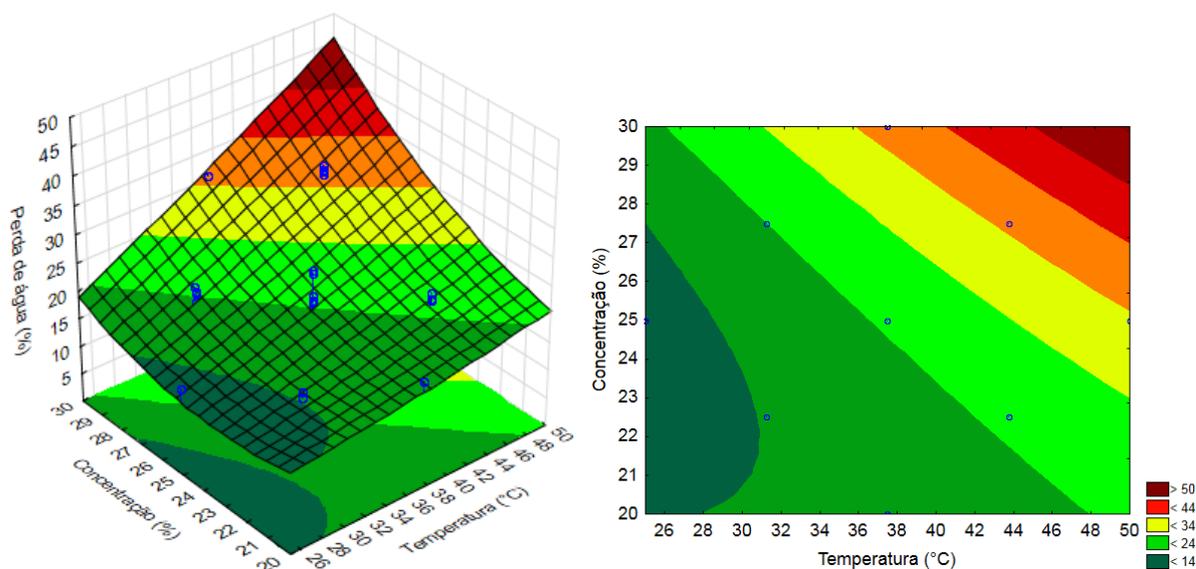
Fonte de variação	SS	GL	MS	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> ( $p \leq 0,05$ )	F <sub>c</sub> /F <sub>t</sub> ( $>4$ )	R <sup>2</sup>
Regressão	809,40	5	161,88	104,55	2,66	39,3	0,96
Resíduo	34,06	22	1,54				
Falta de ajuste	32,81	19	1,72	4,16	8,66	0,5	
Erro puro	1,24	3	0,41				
Total	843,47	27					

O modelo proposto para representar PA na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl, é apresentado na Equação 16. O R<sup>2</sup> da regressão foi 0,96, indicando que o modelo explicou 96% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa, com 95% de confiança ( $F_{\text{calculado}} > 4.F_{\text{tabelado}}$ ) e falta de ajuste não significativa ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ). Sendo assim, o modelo ajustado para a resposta PA, no processo de desidratação osmótica, é considerado preditivo.

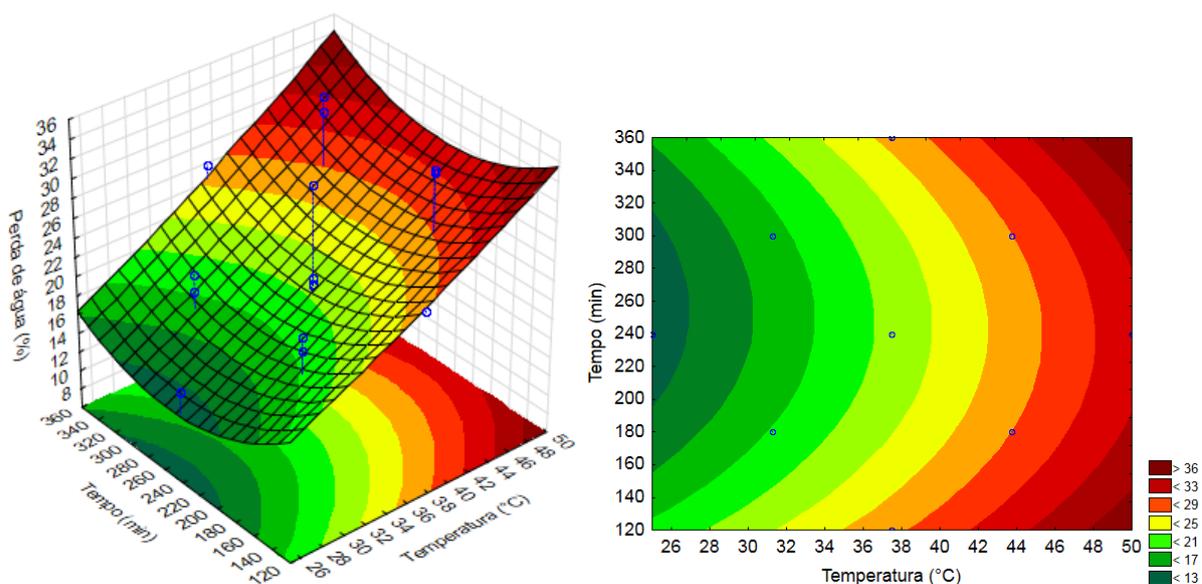
$$\begin{aligned}
 \text{PA (\%)} = & 196,85 - 1,85T + 3,6 \times 10^{-3}T^2 - 0,188t - 3,1 \times 10^{-4}t^2 - 9,56C + 0,152C^2 \\
 & - 0,179V - 1,5 \times 10^{-3}V^2 + 4,9 \times 10^{-4}Tt + 0,083TC + 2,0 \times 10^{-3}TV + 5,6 \times 10^{-4}tC \\
 & + 6,8 \times 10^{-5}tV + 6,8 \times 10^{-3}CV
 \end{aligned} \tag{16}$$

onde: PA = perda de água (%); T = temperatura (°C); t = tempo (min); C = concentração de NaCl (%) e V = volume de solução (mL).

As superfícies de resposta e as curvas de nível geradas pelo modelo proposto (Equação 15) são apresentadas na Figura 7 (concentração x temperatura) e na Figura 8 (tempo x temperatura).



**Figura 7.** Superfície de resposta e curvas de nível para a perda de água (PA), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e da temperatura (°C).



**Figura 8.** Superfície de resposta e curvas de nível para a perda de água (PA), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da temperatura (°C) e do tempo (min).

De acordo com as Figuras 7 e 8, a PA do produto aumentou com a temperatura e com a concentração de NaCl, e com o tempo, para tempos de contato superiores a 240 min. Em todas as condições estudadas PA foi superior a 14% e para PA superior a 25%, a concentração, a temperatura e o tempo variaram de 25 a 30%, 38 a 50°C e 300 a 360 min, respectivamente. As figuras mostram também,

uma leve concavidade voltada para cima (região de mínimo) ocasionada pelo efeito quadrático positivo da concentração de NaCl.

Tsironi, Salapa e Taoukis (2009) avaliaram os efeitos da concentração de maltodextrina (40, 50 e 60%) com 5% de NaCl e do tempo (0,20 – 180 min), sobre a desidratação osmótica de files de dourada a 37°C. Neste estudo, todas as condições estudadas provocaram variação significativa em PA, porém os tratamentos com maiores concentrações e tempo proporcionaram maior PA e maior redução na  $a_w$  do produto.

### 5.4.3 Ganho de sólidos

Os resultados da análise estatística, aplicada aos dados experimentais para o ganho de sólidos (GS) foram determinados através do erro puro e são apresentados na Tabela 16. Os efeitos dos fatores lineares (L), quadráticos (Q) e das interações, em negrito, são significativos ao nível de confiança de 95% ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 16.** Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para o ganho de sólidos (GS) na desidratação osmótica do filé de pirarucu em solução de NaCl + água.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(3)	Significância estatística (p)
<b>Efeitos principais</b>				
Temperatura (L)	-0,434	0,3335	-1,302	0,283
<b>Temperatura (Q)</b>	<b>1,184</b>	<b>0,333</b>	<b>3,551</b>	<b>0,038</b>
Tempo (L)	-0,522	0,333	-1,565	0,215
<b>Tempo (Q)</b>	<b>1,645</b>	<b>0,333</b>	<b>4,934</b>	<b>0,015</b>
Concentração (L)	0,501	0,333	1,504	0,229
Concentração (Q)	-0,159	0,333	-0,478	0,665
Volume de Sol. (L)	0,172	0,333	0,516	0,641
Volume de Sol. (Q)	-0,073	0,333	-0,220	0,839
<b>Efeito das interações</b>				
Temper. x Tempo	-0,163	0,408	-0,401	0,715
<b>Temper. x Conc.</b>	<b>1,491</b>	<b>0,408</b>	<b>3,652</b>	<b>0,035</b>
Temper. X Vol.Sol	0,284	0,408	0,696	0,536
Tempo x Conc.	-0,065	0,408	-0,161	0,882
Tempo x Vol.Sol	-0,108	0,408	-0,266	0,806
Conc. x Vol.Sol	0,083	0,408	0,204	0,850

Para GS, os fatores que foram significativos a 95% de confiança foram a temperatura (Q), o tempo (Q) e a interação temperatura x concentração. Estes efeitos foram positivos demonstrando que há uma região de mínimo para os efeitos quadráticos, e que o aumento na interação provocou um aumento em GS. Os valores dos efeitos desses parâmetros foram próximos, sendo o efeito do tempo (Q) suavemente superior.

Após a estimativa dos efeitos, verificou-se através da análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste, a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F. Os resultados são apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17.** Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta ganho de sólidos (GS).

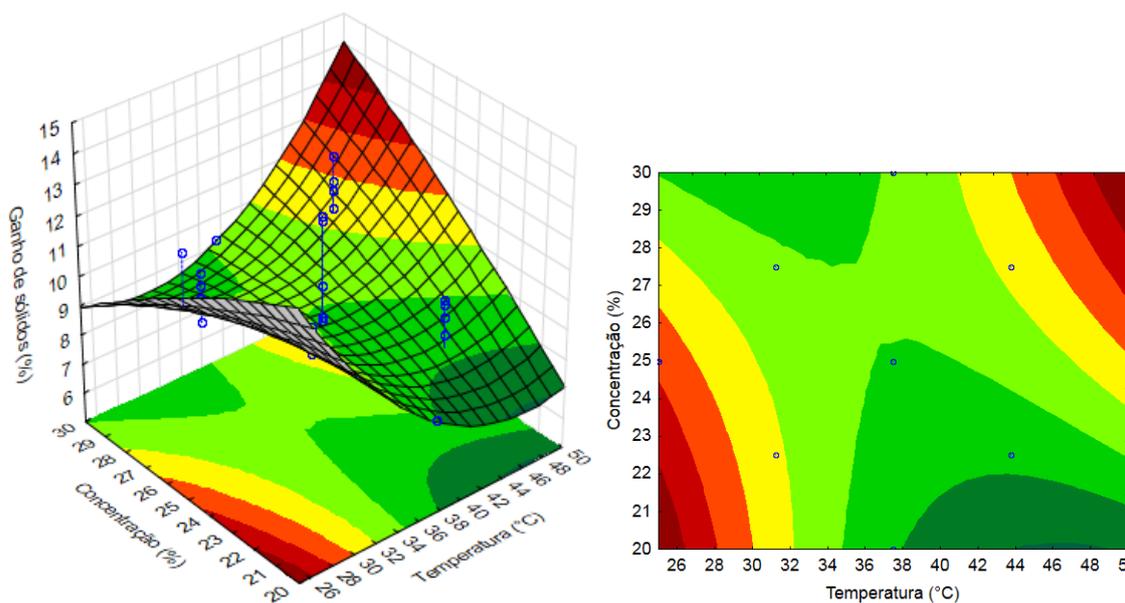
Fonte de variação	SS	GL	MS	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> ( $p \leq 0,05$ )	F <sub>c</sub> /F <sub>t</sub> ( $>4$ )	R <sup>2</sup>
Regressão	34,14	3	11,38	18,53	3,01	6,2	0,70
Resíduo	14,74	24	0,61				
Falta de ajuste	12,73	21	0,61	0,91	8,66	0,1	
Erro puro	2,00	3	0,67				
Total	48,88	27					

Analisando a Tabela 17, observa-se que o modelo de regressão para o ganho de sólidos se ajustou bem aos dados experimentais testados, explicando 70% da variação dos dados observadas. A regressão foi significativa ao nível de 95% ( $p \leq 0,05$ ) de confiança, e o modelo pode ser considerado preditivo, pois a relação de F<sub>c</sub>/F<sub>t</sub> foi de 6,2.

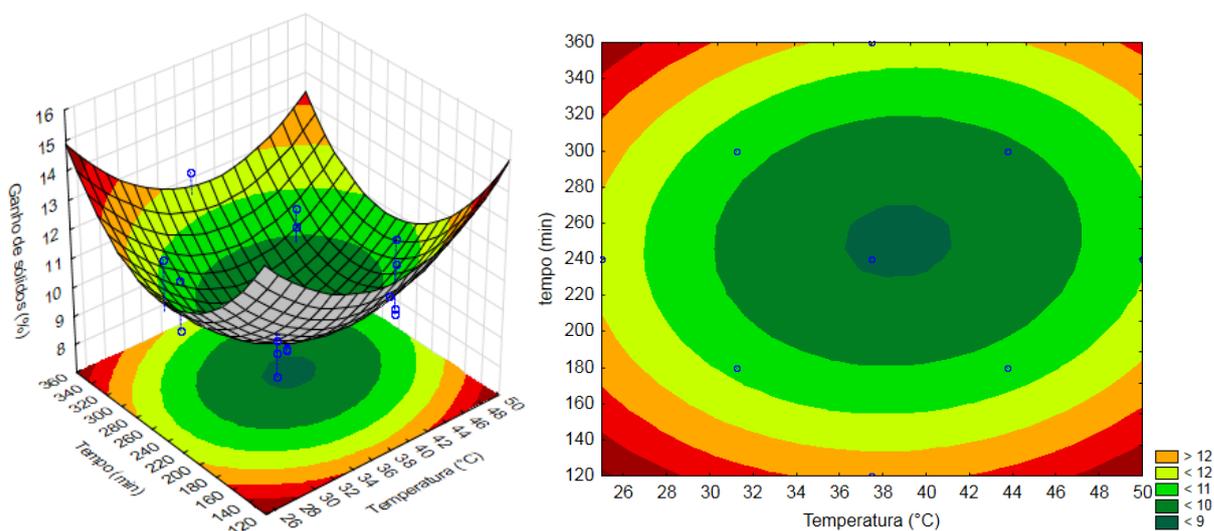
O modelo proposto para representar GS na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução aquosa de NaCl é o apresentado na Equação 17. Através deste modelo foram geradas a superfície de resposta e as curvas de nível apresentadas na Figura 9 (concentração x temperatura) e na Figura 10 (tempo x temperatura).

$$\begin{aligned}
 \text{GS (\%)} = & 79,34 - 2,38T + 0,015T^2 - 0,098t + 2,3 \times 10^{-4}t^2 - 1,05C - 0,013C^2 \\
 & - 0,075V - 3,7 \times 10^{-4}V^2 - 2,2 \times 10^{-4}Tt + 0,048TC + 2,3 \times 10^{-3}TV - 2,2 \times 10^{-4}tC \\
 & - 9,1 \times 10^{-5}CV + 1,7 \times 10^{-3}CV
 \end{aligned} \tag{17}$$

onde: GS = ganho de sólidos (%); T = temperatura (°C); t = tempo (min); C = concentração de NaCl (%) e V = volume de solução (mL).



**Figura 9.** Superfície de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos (GS), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e da temperatura (°C).



**Figura 10.** Superfície de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos (GS), na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da temperatura (°C) e do tempo (min).

Ribeiro et al. (2008) observaram os menores valores de GS (6,47 – 9,06%), na desidratação osmótica de files de mapará, para temperaturas superiores a 50°C. No presente trabalho os menores valores de GS foram observados para temperaturas entre 30 e 44°C, para tempos intermediários, independente da concentração de NaCl. Estes resultados são relevantes, pois baixos valores de GS e temperaturas moderadas são desejados na desidratação osmótica de materiais biológicos, como o filé de peixes, para minimizar a desnaturação proteica.

#### 5.4.4 Relação PA/GS

Os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e das interações, sobre a relação PA/GS, durante a desidratação osmótica do filé de pirarucu foram determinados através do erro puro e são apresentados na Tabela 18. Os efeitos em negrito são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 18.** Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo quadrático, para relação PA/GS na desidratação osmótica do filé de pirarucu em solução de NaCl + água.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(3)	Significância estatística (p)
<b>Efeitos principais</b>				
<b>Temperatura (L)</b>	<b>0,832</b>	<b>0,075</b>	<b>11,058</b>	<b>0,0015</b>
<b>Temperatura (Q)</b>	<b>-0,179</b>	<b>0,075</b>	<b>-2,389</b>	<b>0,0968</b>
Tempo (L)	0,069	0,075	0,929	0,4212
<b>Tempo (Q)</b>	<b>-0,158</b>	<b>0,075</b>	<b>-2,102</b>	<b>0,1262</b>
<b>Concentração (L)</b>	<b>0,590</b>	<b>0,075</b>	<b>7,845</b>	<b>0,0043</b>
<b>Concentração (Q)</b>	<b>0,215</b>	<b>0,075</b>	<b>2,868</b>	<b>0,0641</b>
Volume de Sol. (L)	-0,053	0,075	-0,715	0,5261
Volume de Sol. (Q)	-0,043	0,075	-0,573	0,6065
<b>Efeito das interações</b>				
Temper. x Tempo	0,095	0,092	1,040	0,3746
Temper. x Conc.	-0,093	0,092	-1,017	0,3837
Temper. X Vol.Sol	-0,048	0,092	-0,529	0,6332
Tempo x Conc.	0,043	0,092	0,472	0,6688
Tempo x Vol.Sol	0,028	0,092	0,309	0,7775
Conc. x Vol.Sol	0,012	0,092	0,137	0,8995

Os fatores significativos para a relação PA/GS a 95% de confiança foram a temperatura (L, Q), tempo (Q) e a concentração (L, Q). O fator que apresentou maior significância foi a temperatura (L). Os efeitos significativos negativos quadráticos (T e t) indicam que na superfície de resposta apresentou um ponto de máxima, enquanto o efeito positivo da concentração (Q) indica a presença de um ponto de mínimo na superfície de resposta.

Foi realizada a análise de variância (ANOVA), para verificar a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), através do teste F. Os resultados são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19.** Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a relação perda de água / ganho de sólidos (PA/GS).

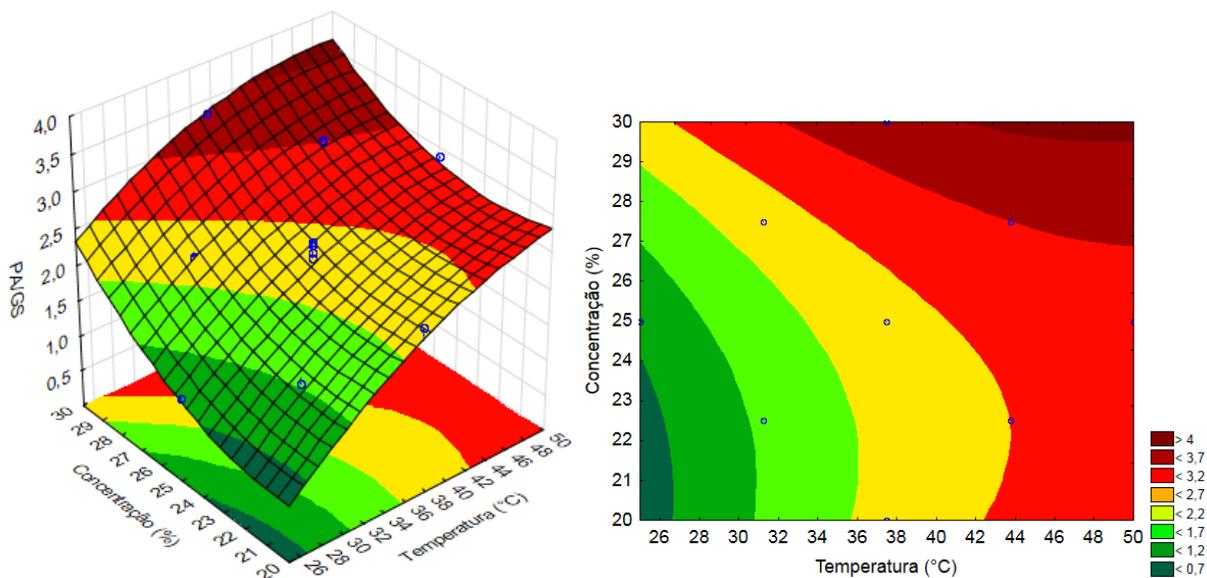
Fonte de variação	SS	GL	MS	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> ( $p \leq 0,05$ )	F <sub>c</sub> /F <sub>t</sub> ( $>4$ )	R <sup>2</sup>
Regressão	6,426	2	3,213	81,32	3,39	24,0	0,87
Resíduo	0,988	25	0,039				
Falta de ajuste	0,886	22	0,040	1,19	8,66	0,1	
Erro puro	0,102	3	0,034				
Total	7,415	27					

O modelo proposto para representar a relação PA/GS na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl, é o apresentado na Equação 18. O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 0,87, indicando que o modelo explicou 87% da variação dos dados observados.

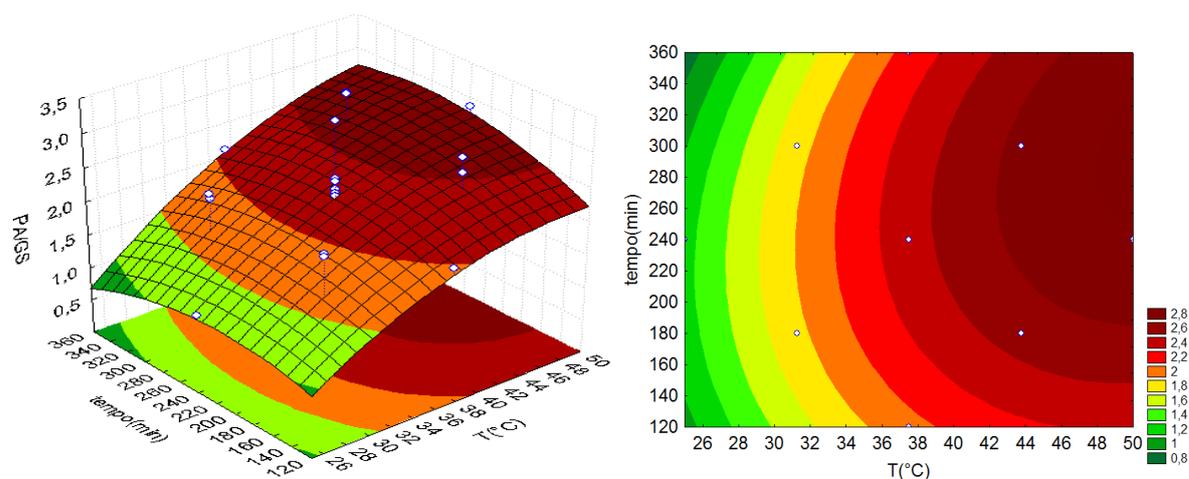
$$\begin{aligned}
 \text{PA/GS (\%)} = & 2,03 + 0,295T - 2,3 \times 10^{-3}T^2 + 2,0 \times 10^{-3}t - 2,2 \times 10^{-5}t^2 - 0,675C \\
 & + 0,017C^2 + 0,013V - 2,2 \times 10^{-4}V^2 + 1,3 \times 10^{-4}Tt - 3,0 \times 10^{-3}TC - 3,9 \times 10^{-4}TV \\
 & + 1,5 \times 10^{-4}tC + 2,4 \times 10^{-5}tV + 2,5 \times 10^{-4}CV
 \end{aligned} \quad (18)$$

onde: T = temperatura (°C); t = tempo (min); C = concentração de NaCl (%) e V = volume de solução (mL).

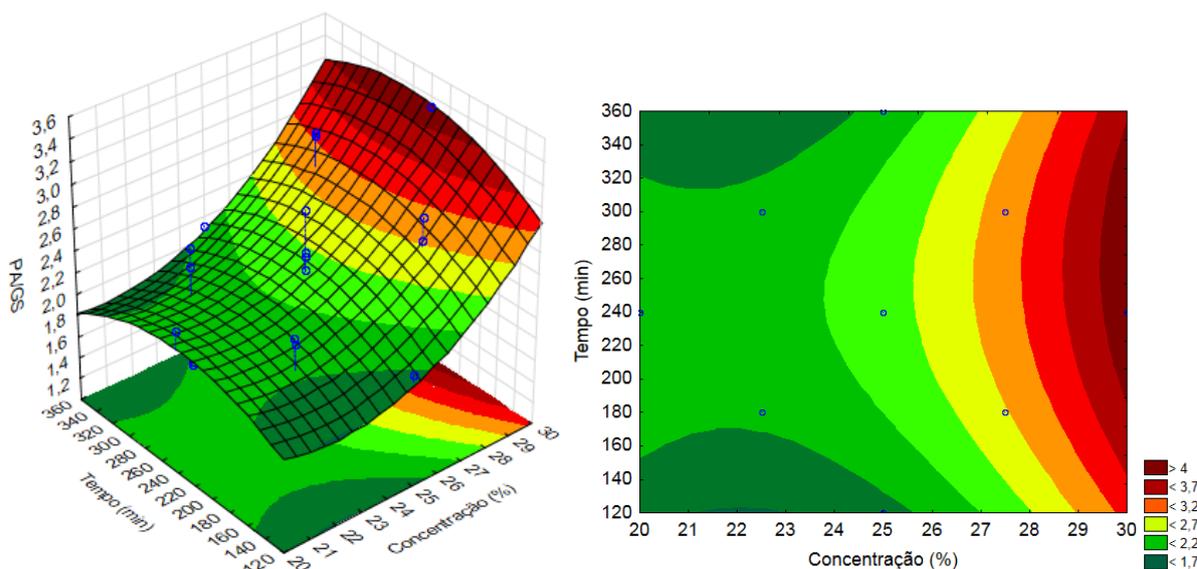
O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $F_c/F_t = 24$  e falta de ajuste não significativa, no mesmo nível de confiança ( $F_c < F_t$ )). Sendo assim, o modelo ajustado para PA/GS no processo de desidratação osmótica foi considerado preditivo. As Figuras 11 a 13 mostram as superfícies de resposta e curvas de nível geradas através do modelo proposto (Equação 17).



**Figura 11.** Superfície de resposta e curvas de nível para PA/GS, na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e da temperatura (°C).



**Figura 12.** Superfície de resposta e curvas de nível para PA/GS, na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da temperatura (°C) e do tempo (min).



**Figura 13.** Superfície de resposta e curva de nível para PA/GS, na desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água, em função da concentração de NaCl (%) e do tempo (min).

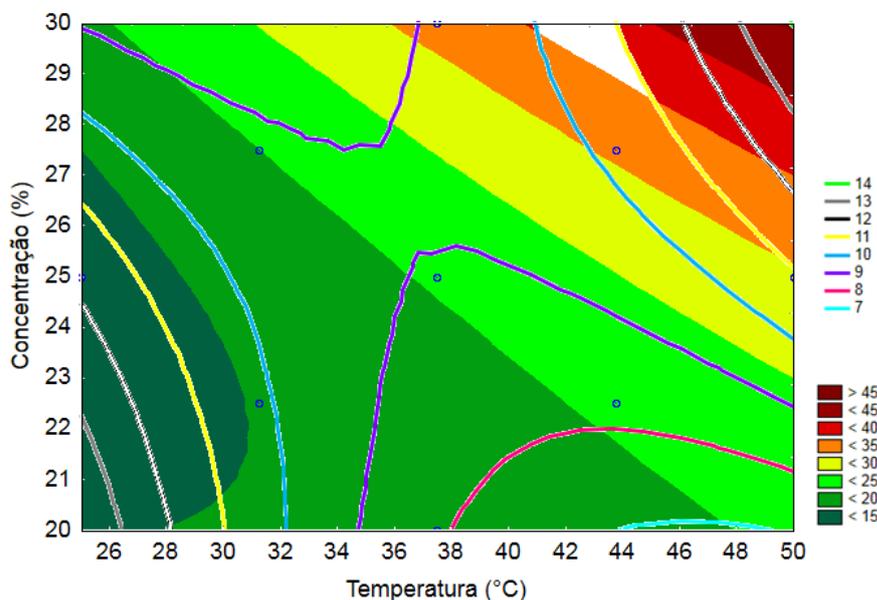
Maiores valores da relação PA/GS indicam que o processo de desidratação osmótica foi mais eficiente na retirada de água que na impregnação de sólidos no produto, o que é altamente desejável. De acordo com as Figuras 10 a 12 os maiores valores da relação PA/GS, para a desidratação osmótica do filé de pirarucu, foram obtidos para temperaturas superiores a 32°C e concentrações da solução maiores que 26%, independente do tempo de contato (PA/GS > 2).

Reyes et al. (2005) encontraram uma faixa ótima (convergência entre uma máxima PA/GS) para ganho de sal de 0,18g/g, na desidratação osmótica de sardinha, trabalhando com as seguintes variáveis de processo: temperatura (31,6 a 31,8°C); concentração de NaCl (26 a 26,5%) e tempo (245 min).

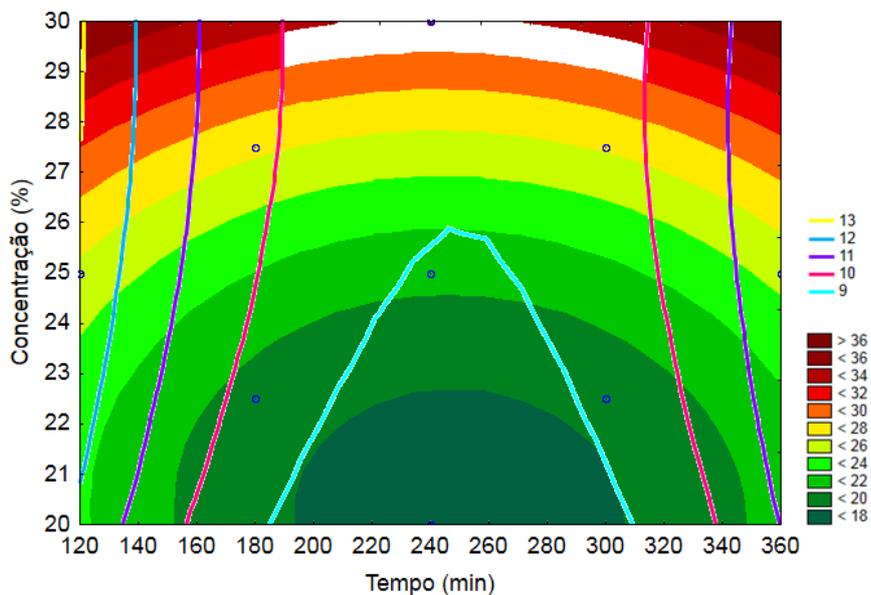
#### 5.4.5 Determinação da condição ótima através da metodologia de superfície de resposta e a da função desejabilidade

Nas Figuras 14 a 16 são apresentadas as sobreposições das superfícies de resposta e curvas de nível, para as respostas (PA, GS e relação PA/GS) avaliadas no processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu, em solução de NaCl + água. Esses gráficos foram utilizados para identificar as condições do processo (temperatura, tempo, concentração da solução osmótica e volume da solução), que proporcionaram os maiores valores de PP, PA e da relação PA/GS, e os menores

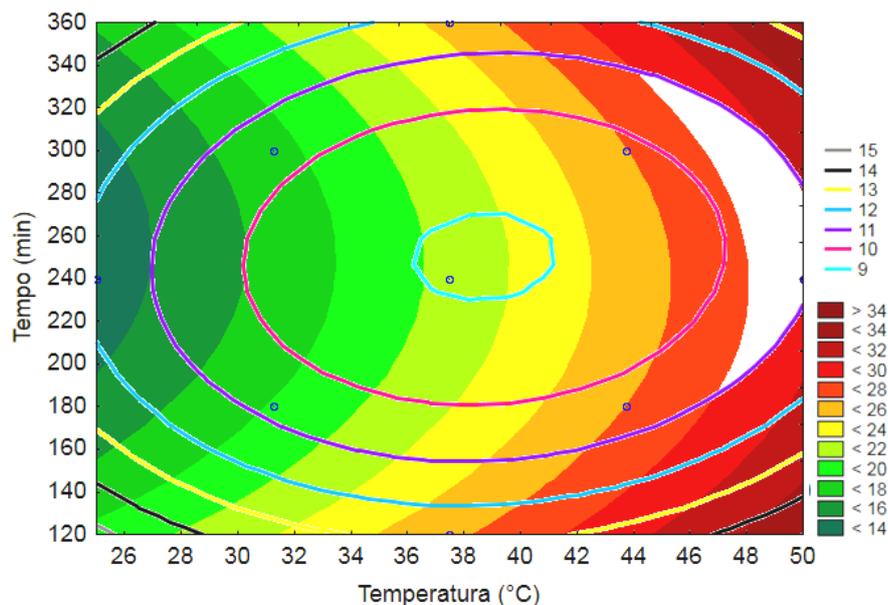
valores de GS. A região destacada em branco, em cada gráfico, foi considerada a região ótima, em função da análise realizada.



**Figura 14.** Sobreposição das curvas de contorno da perda de água (PA) (superfícies) e do ganho de sólidos (GS) (linhas), no tempo de 240 min e volume de solução de 30x.



**Figura 15.** Sobreposição das curvas de contorno da perda de água (PA) (superfícies) e do ganho de sólidos (GS) (linhas), na temperatura de 38°C e volume de solução de 30x.



**Figura 16.** Sobreposição das curvas de contorno da perda de água (PA) (superfícies) e do ganho de sólidos (GS) (linhas), na concentração de 25% de NaCl e volume de solução de 30x.

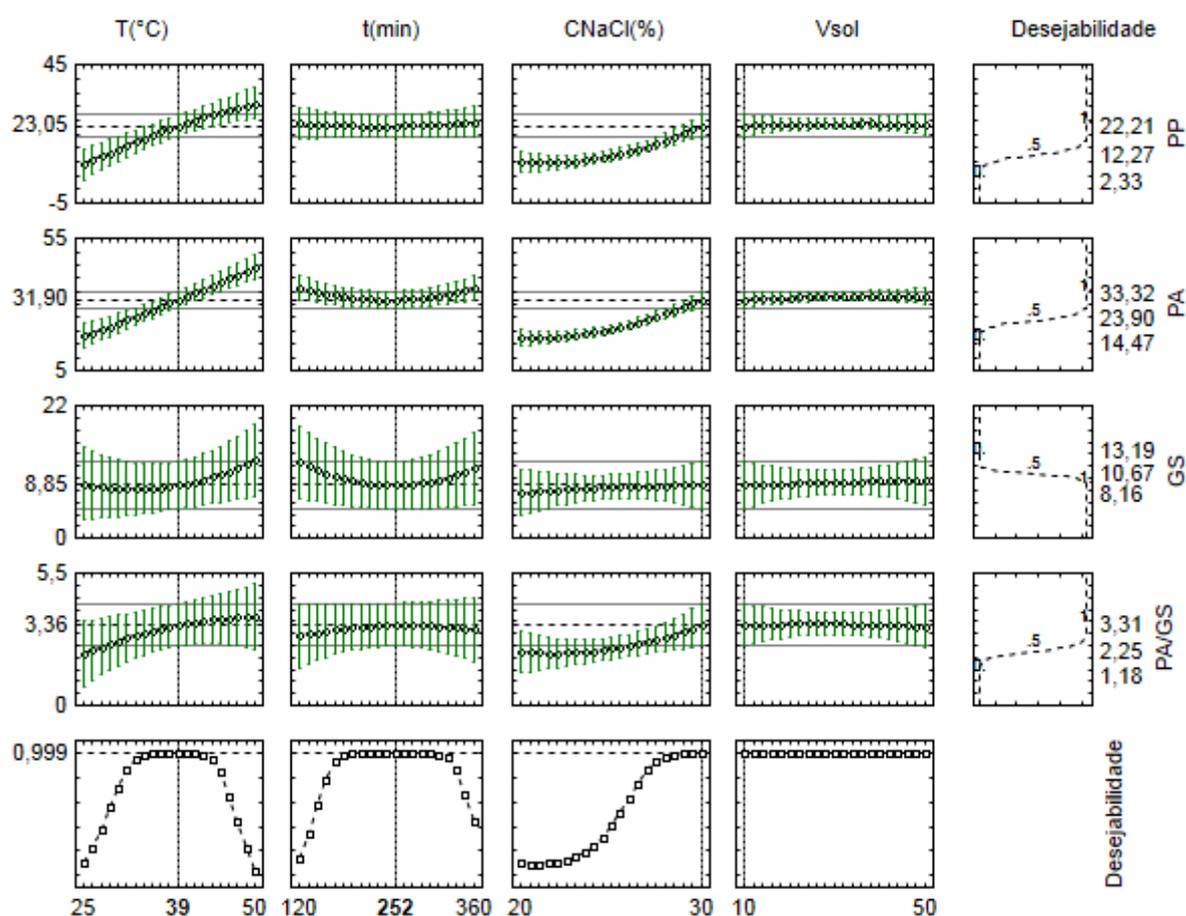
De acordo com análise das sobreposições das curvas notou-se que PA superior a 36% foi obtida para concentração da solução superior a 29% de NaCl e uma temperatura mínima de 42°C (Figuras 14). Pezantes (2006) e Simões (2007) observaram, em estudo realizados com bonito e tilápia, que a utilização de maiores temperaturas e concentrações de NaCl contribuíram para acelerar a perda de água, acompanhada de uma incorporação de sólidos (NaCl), como consequência das trocas difusionais que ocorrem durante o processo.

Para a variação de tempo de 180 a 320 min e uma temperatura superior a 44°C, PA para o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu foi superior a 29% (Figura 16). Ribeiro et al. (2013), desidratando osmoticamente files de piraíba obtiveram uma maior PA (19,26%), em nível superior de temperatura (45°C) e menor concentração da solução (26 g/L), independente do tempo de processo.

De acordo com as regiões destacadas nas Figuras 14 a 16, os maiores valores de PA e menores de GS, para a desidratação osmótica do filé de pirarucu com solução de NaCl + água foram observados para concentrações da solução osmótica superiores a 28% de NaCl, temperaturas maiores que 40°C e tempos entre 180 e 360 min. O volume da solução em relação a massa da amostra não interferiu nas respostas.

A técnica de otimização simultânea se baseia na transformação de uma função desejabilidade para cada variável de resposta, com valores descritos entre 0 e 1, onde 0 representa um valor completamente indesejado e a resposta transformada em 1 o valor desejável. Diferentes tipos de funções desejabilidade (d ou D) podem ser utilizados e dependem da resposta que se deseja obter, ou seja, se a mesma deve ser maximizada, minimizada ou mesmo assumir um valor intermediário (LIU; TANG 2010).

Para o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu adotou-se como desejável (d = 1), a perda de peso (PP), a perda de água (PA) e a relação PA/GS. Por outro lado o ganho de sólidos (GS) foi indesejável (d = 0). Os gráficos relacionando a função desejabilidade com as variáveis avaliadas são apresentados na Figura 17.



**Figura 17.** Otimização da desidratação osmótica do filé de pirarucu através da função desejabilidade.

O processo de otimização através da função desejabilidade foi considerado excelente visto que, o índice de reprodutibilidade foi de 0,999 (AKHANAZAROVA;

KAFAROV, 1982). De acordo com os ajustes da função desejabilidade (Figura 17), as condições ótimas para o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu foram: temperatura de 39°C, tempo de 252 min, concentração da solução osmótica de 30% de NaCl e relação massa da amostra/volume da solução osmótica de 10%. Esses valores estão de acordo com os observados pela sobreposição das superfícies de resposta (Figuras 14 a 16).

Para propósitos práticos a temperatura do processo foi ajustada para 40°C, visto que as variações de temperatura observadas na solução osmótica foram da ordem de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . O tempo de contato foi ajustado para 240 min, por corresponder a 4 h de processo, e a relação massa da amostra/volume da solução osmótica foi aumentada para 20%. Este ajuste foi realizado pois a relação de 10%, definida pela função desejabilidade, não assegurou a completa imersão do produto na solução osmótica, bem como para evitar o efeito de diluição da solução osmótica com a água removida do produto, assegurando uma concentração de NaCl constante durante todo o processo. Como pode ser observado na Figura 17, as alterações propostas mantiveram o índice de reprodutibilidade da desejabilidade (0,999).

## 5.5 VALIDAÇÃO DA CONDIÇÃO ÓTIMA PARA A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE PIRARUCU

Os resultados obtidos para PP, PA, GS e PA/GS, a partir dos ensaios de desidratação osmótica do filé de pirarucu realizados nas condições ótimas (40°C, solução osmótica com 30% NaCl, 240 min e massa produto/volume solução de 20%), são apresentados na Tabela 20. A título de comparação são também apresentados na tabela os valores das respostas calculados pelos modelos polinomiais e estimados pela função desejabilidade.

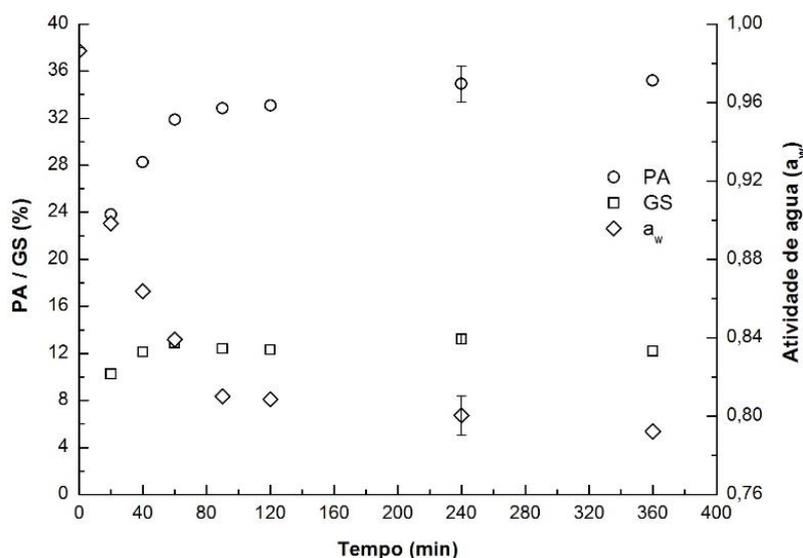
**Tabela 20.** Valores de perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e PA/GS, experimentais e preditos pelos modelos e pela função desejabilidade, durante a desidratação osmótica de filé de pirarucu, na condição ótima.

Parâmetro	Valor experimental	Valor predito	
		Modelos*	Desejabilidade**
PP (%)	22,20	24,50	23,05
PA (%)	33,89	33,97	31,90
GS (%)	12,76	9,97	8,85
PA/GS	3,14	3,45	3,36

Os valores experimentais para PP, PA e PA/GS convergiram muito bem para os valores estimados pela função desejabilidade e pelas Equações (14), (15) e (17), respectivamente. Por outro lado, o valor experimental de GS apresentou uma menor convergência para os valores estimados, o que é atribuído a baixa correlação do modelo polinomial aos dados experimentais de GS (Equação 16). Apesar desta observação, pode-se afirmar que os valores observados validam as condições de processo otimizadas, para o domínio experimental avaliado.

## 5.6 CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE PIRARUCU

As cinéticas obtidas na desidratação osmótica do filé de pirarucu, para os parâmetros PA, GS e  $a_w$ , são apresentadas na Figura 18. Foi acompanhada a variação desses parâmetros em função do tempo, para o processo realizado na condição otimizada (40°C, solução osmótica com 30% NaCl e massa produto/volume solução de 20%).



**Figura 18.** Cinéticas da perda de água, do ganho de sólidos e da atividade de água, durante a desidratação osmótica do filé de pirarucu, a 40°C, com solução osmótica com 30% NaCl e massa produto/volume solução de 20%.

De acordo com a Figura 18, PA aumentou exponencialmente com o tempo nos primeiros 90 min de processo, quando atingiu 32,84, valor este que, após 360 min de processo, só atingiu aumento até 35,21%. Segundo Rastogi e Raghavarao (2004) a força motriz responsável pela difusão da água do alimento para a solução é a pressão osmótica. No início do processo o gradiente de pressão osmótica é

grande e como a parede celular é permeável, o volume entre a parede celular e a membrana plasmática é preenchido com a solução hipertônica, provocando altas taxas de perda de água. Com o avanço do processo (aumento do tempo de contato) ocorre a diminuição da taxa de PA, devido à diminuição do gradiente de pressão osmótica.

O GS aumentou exponencialmente até 60 min de processo, e a partir deste tempo não sofreu variação significativa (Figura 18). Na difusão de solutos da solução osmótica para o produto, a força motriz é a diferença de concentração (RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). No início do processo, a força motriz é maior, devido a um maior gradiente de concentração entre a solução e a amostra, o qual durante o processo vai diminuindo devido ao aumento da concentração de sal no produto; limitando assim a transferência de sólidos para o produto, até que se atinja o equilíbrio (MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

Czerner e Yeannes (2010), ao estudarem a cinética de desidratação osmótica em diferentes partes de anchovas, com soluções salinas a 26% NaCl e 15°C, observaram altas taxas de PA e GS, nos 30 min de processo, com posterior diminuição dessas taxas, até atingir o equilíbrio. Os autores relacionaram o aumento de GS e PA com as fortes ligações proteína-proteína resultantes da quebra do músculo (desnaturação de proteínas ocasionadas pela adição de sal), e a diminuição da solubilidade, que reduz a capacidade de retenção de água, respectivamente. Durante a cinética de desidratação de cavala, utilizando NaCl, glicerol e água (7%, 54% e 38,3% respectivamente), em temperaturas de 50 e 90°C, Checmarev, Casales e Yeannes (2013) observaram que PA e GS aumentaram rapidamente com o aumento da temperatura.

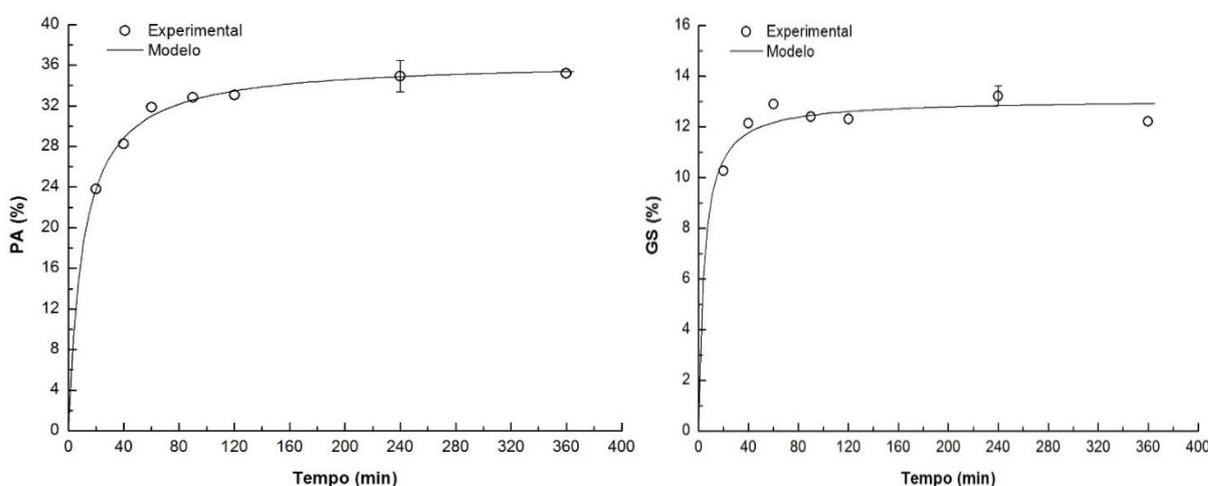
A  $a_w$  do produto, durante a desidratação osmótica, sofreu uma redução altamente significativa nos primeiros 90 min de processo (0,99 para 0,81), quanto se manteve estatisticamente invariável até o final do processo (Figura 18). Medina-Vivanco, Sobral e Hubinger (2002), estudando a cinética da  $a_w$  durante a desidratação osmótica de filés de tilápia, em solução de NaCl, observaram grande redução até os 180 min de processo, quando a  $a_w$  estabilizou. A diminuição da  $a_w$  é atribuída a PA e ao GS durante o processo de desidratação osmótica, e estabiliza em função da estabilização desses dois processos de transferência.

## 5.7 MODELAGEM DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE PIRARUCU

Os valores dos parâmetros  $PA^\infty$ ,  $GS^\infty$  e  $k$ , do modelo proposto por Azuara et al. (1992), e dos parâmetros estatísticos ( $R^2$  e RMSE) utilizados na avaliação dos ajustes matemáticos, para as cinéticas de PA e GS, durante o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu, são apresentados na Tabela 21. Os valores do coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,98$ ) e do erro médio relativo quadrático ( $RMSE < 0,23$ ) indicam que o de Azuara apresentou um bom ajuste aos dados experimentais de PA e GS, o que pode ser observado na Figura 19.

**Tabela 21.** Valores dos parâmetros do modelo proposto por Azuara et al. (1992) e dos parâmetros estatísticos do ajuste do modelo aos dados experimentais da perda de água e do ganho de sólidos, para o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu.

Perda de água (PA)				Ganho de sólidos (GS)			
$PA^\infty$	$k_1$	$R^2$	RMSE	$GS^\infty$	$k_2$	$R^2$	RMSE
<b>36,41</b>	0,095	0,998	0,204	13,06	0,227	0,988	0,228



**Figura 19.** Ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) às cinéticas de perda de água e de ganho de sólidos, durante a desidratação osmótica do filé de pirarucu.

A partir do valor de  $k$  pode ser avaliada a taxa com a qual o processo atingiu o estado de equilíbrio. Quanto maior o valor de  $k$ , maior é a difusão da água ou dos sólidos por unidade de tempo. Dessa forma, o maior valor de  $k$  para GS (0,227) indica que este processo atingiu o estado de equilíbrio mais rápido que a PA (0,095), o que já havia sido observado na Figura 18.

Os valores da difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) foram de  $3,77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para PA e  $3,50 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para GS, durante o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu. De acordo com Azoubel e Silva (2008), uma comparação dos valores de difusividade apresentados na literatura é difícil devido aos diferentes métodos de estimativa e modelos empregados, e também por causa da variação da composição e estrutura física dos alimentos. Além disso, durante o processo o gradiente osmótico de umidade desenvolvido não é uniforme e a difusividade efetiva não é constante, em todo o tempo de processo (MERCALI et al., 2011). Corzo e Bracho (2007) encontraram valores de  $D_{\text{eff}}$  para a desidratação osmótica de sardinha, de  $1,46 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para PA e  $2,41 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para GS, respectivamente.

## 5.8 CARACTERIZAÇÃO DO PIRARUCU DESIDRATADO OSMOTICAMENTE

A caracterização físico-química do filé de pirarucu desidratado osmoticamente na condição ótima de processo é apresentada na Tabela 22. Comparando os valores de umidade do pirarucu fresco (75,24%) com o osmoticamente desidratado (56,76%) é possível observar que a desidratação osmótica provocou uma redução de aproximadamente 20% neste parâmetro. Porém, o nível de umidade atingido não permitiu classificar o produto como pescado salgado, de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2000), que permite um máximo de 55% de umidade para o produto.

**Tabela 22.** Caracterização físico-química do filé de pirarucu desidratado osmoticamente na condição ótima.

Propriedade	Valor
Umidade (%)	$56,76 \pm 0,56$
Proteínas (%)	$21,45 \pm 0,26$
Lipídeos (%)	$2,31 \pm 0,08$
Cinzas (%)	$17,39 \pm 0,26$
Cloretos (% NaCl)	$14,24 \pm 0,03$
$a_w$	$0,79 \pm 0,01$

O aumento no teor de cinzas em relação ao peixe fresco é atribuído a impregnação do NaCl no produto, o qual atingiu um valor superior ao mínimo de 10%, recomendado pelo padrão de identidade e qualidade para o peixe salgado (BRASIL, 2000). O balanço entre a perda de água e a impregnação de sal fez com que os teores de proteínas e de lipídeos tenham se mantido praticamente invariáveis

no produto, após a desidratação osmótica. O valor de  $a_w$  apresentado pelo produto não assegura a sua estabilidade microbiológica ( $a_w < 0,6$ ). Dessa forma é recomendada que o pirarucu osmoticamente desidratado seja submetido a um processo de secagem complementar, para que possa ser armazenado a temperatura ambiente.

Os parâmetros da cor instrumental avaliados no filé de pirarucu, após a desidratação osmótica na condição ótima são apresentados na Tabela 23, juntamente como a diferença total de cor entre o filé *in natura* e desidratado osmoticamente. A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) entre o filé *in natura* e desidratado osmoticamente (7,63) é atribuída a diferença da luminosidade e dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  após a desidratação osmótica.

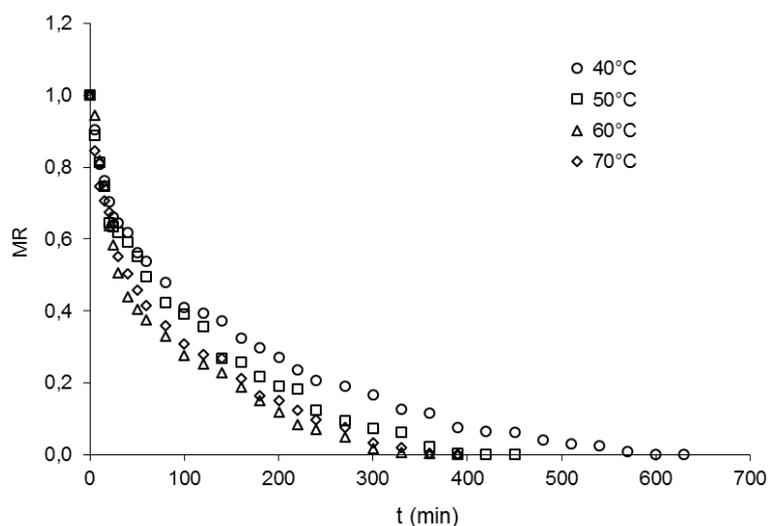
**Tabela 23.** Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e valores do croma ( $C^*$ ), do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) e da diferença de cor ( $\Delta E$ ), para o filé de pirarucu desidratado osmoticamente.

Parâmetro	Valor
$L^*$	$78,62 \pm 0,43$
$a^*$	$0,37 \pm 0,09$
$b^*$	$13,55 \pm 0,25$
$C^*$	$14,60 \pm 0,25$
$h^\circ$	$89,82 \pm 0,23$
$\Delta E$	$7,63 \pm 0,10$

## 5.9 SECAGEM DO FILÉ DE PIRARUCU DESIDRATADO OSMOTICAMENTE EM CONDIÇÃO ISOTERMICA

### 5.9.1 Cinética de secagem

As curvas de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado na condição ótima de processo, evidenciando o efeito do tempo de secagem sobre a relação de umidade (MR), para os diferentes processos isotérmicos (40 a 70°C), são apresentadas na Figura 20. De acordo com o comportamento das curvas, o aumento do tempo de secagem provocou a redução no valor de MR, o que é um comportamento padrão para curvas de secagem. Foi possível observar também um comportamento linear para a relação  $MR \times t$ , nos primeiros 20 min de processo, o que indica um curto período de secagem a taxa constante.



**Figura 20.** Curvas de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, para as diferentes condições isotérmicas.

Em relação a temperatura foi observado um aumento nas taxas de secagem, com o aumento da temperatura de 40°C para 60°C; enquanto para a secagem realizada a 70°C as taxas foram praticamente as mesmas do processo realizado a 60°C. O comportamento observado pode ser atribuído a desnaturação de proteínas, no processo de secagem realizado a 70°C, produzindo estruturas químicas com maior afinidade pela água, e dificultando assim a difusão de umidade (GARCIA-TORCHELSEN; JACOB-LOPES; QUEIROZ, 2011). Djendoubi et al. (2009) observaram que a cinética de secagem de músculos de sardinha (*Sardina pilchardus*) não apresentou período de taxa constante, e que a taxa de secagem aumentou com a temperatura.

Na secagem realizada a 40°C o produto atingiu uma umidade de equilíbrio de 27,1%, após 10 horas de processo. Quando a condição isotérmica de secagem foi de 50°C, o tempo de processo reduziu para 6,5 horas e a umidade de equilíbrio reduziu para 21,1%. Para os processos realizados a 60°C e 70°C o tempo de equilíbrio foi de 6 horas, mas as umidades foram de 14,7% e 12,7%, respectivamente. De maneira geral, o aumento da temperatura acelera o processo de secagem, fazendo com que a amostra sofra maior redução de umidade, especialmente no início do processo, o que provoca a redução do tempo de secagem (FIORENTIN et al., 2010).

Os valores da difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ) calculados para as diferentes condições de secagem isotérmicas são apresentadas na Tabela 24. Os valores estão na faixa geral observada para alimentos ( $10^{-11}$  e  $10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s), relatada por

Panagiotou et al. (2004), porém foram superiores aos observados por Ortiz et al. (2013) para secagem de filés de salmão (*Salmo salar* L.), a 40°C ( $1,08 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s), 50°C ( $1,56 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s) e 60°C ( $1,90 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s). O valor de  $D_{\text{eff}}$  aumentou com a temperatura de secagem até 60°C, mas no processo realizado a 70°C,  $D_{\text{eff}}$  apresentou um valor intermediário, entre as secagens realizadas a 50°C e 60°C. Este comportamento corrobora com o que foi observado na Figura 20.

**Tabela 24.** Valor da difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) dos processos de secagem do filé de pirarucu, nas condições isotérmicas.

Temperatura (°C)	$D_{\text{eff}} \times 10^9$ (m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>
40	2,66	0,979
50	3,56	0,979
60	5,48	0,963
70	4,33	0,973

Martins, Martins e Pena (2015) realizaram secagem a 50°C do filé de pirarucu com diferentes concentrações de sal (até 40%), e constaram que a  $D_{\text{eff}}$  aumentou com a concentração de sal. De acordo com os autores o aumento do teor de sal favoreceu a difusão de água do produto. O valor de  $D_{\text{eff}}$  observados pelos autores, para as diferentes condições estudadas, variou de  $1,33 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s a  $1,49 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s.

O valor da energia de ativação ( $E_a$ ), calculada a partir dos valores de  $D_{\text{eff}}$  para as secagens nas temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C, foi de 31,31 kJ/mol. Toujani et al. (2013) relataram valores de  $E_a$  entre 35,64 a 37,26 kJ/mol durante a secagem de peixe-rei (*M. Menidia*), para uma faixa de temperatura de 45°C a 70°C. Valores inferiores de  $E_a$  foram observados por Guan et al. (2013) (17,66 kJ/mol) e Ortiz et al. (2013) (24,57 kJ/mol) para a secagem de filés de tilápia (35-55°C) e salmão (40-60°C), respectivamente.

### 5.9.2 Modelagem da secagem

Na Tabela 25 são apresentados os valores das constantes dos modelos matemáticos semi-empíricos ajustados aos dados de secagem, nas diferentes condições de processo; juntamente com os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e do erro médio relativo quadrático RMSE. Valores de  $R^2$  próximos da unidade e os pequenos valores de  $\chi^2$  e de RMSE indicaram que, exceto o modelo de Newton, os demais modelos testados se mostraram eficientes na

predição da cinética de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, nas diferentes condições de temperatura. Em uma avaliação mais criteriosa, os modelos Dois termos, Aproximação da difusão e Verma foram os que apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais ( $R^2 > 0,99$ ;  $\chi^2 < 8,6 \times 10^{-4}$  e  $RMSE < 0,027$ ), seguido pelos modelos de Page, Page modificado e Midilli ( $R^2 > 0,98$ ;  $\chi^2 < 8,2 \times 10^{-4}$  e  $RMSE < 0,036$ ), pelo modelo Dois termos exponencial ( $R^2 > 0,97$ ;  $\chi^2 < 2,4 \times 10^{-3}$  e  $RSME < 0,048$ ), e finalmente pelos modelos Henderson e Pabis e Logarítmico ( $R^2 > 0,96$ ;  $\chi^2 < 3,7 \times 10^{-3}$  e  $RSME < 0,058$ ).

Entre os modelos que apresentaram os melhores ajustes, destacam-se os modelos de Page e Page modificado, por apresentam apenas dois parâmetros, o que permite a linearização dos mesmos e a fácil solução matemática, por regressão linear. Os modelos Aproximação da difusão e Verma possuem três parâmetros, enquanto o modelo de Midilli têm quatro parâmetros, o que demandará regressão não linear para a solução matemática dos mesmos. Como o modelo de Page modificado é derivado do modelo de Page, recomenda-se a utilização deste último na predição das curvas de secagem do filé de pirarucu osmoticamente desidratado.

O modelo de Page tem sido largamente utilizado para representar curvas de secagem de alimentos e de produtos agrícolas (PACHECO et al., 2011). Sobukola e Olatunde (2011) observaram bons ajustes do modelo de Page aos dados de secagem de bagre africano (*Clarias gariepinus*), enquanto Darvish et al. (2012) e Martins; Martins e Pena (2015) verificaram que o modelo de Midilli foi o que melhor predisse as curvas de secagem de sardinha (*Sardine laurite*) e de pirarucu (*Arapaima giggas*), respectivamente.

**Tabela 25.** Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem do filé de pirarucu nas diferentes condições de processo.

Modelo	T (°C)	a	b	c	k	k <sub>o</sub>	k <sub>1</sub>	n	g	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE
Newton	40	-	-	-	0,0081	-	-	-	-	0,9357	5,6x10 <sup>-3</sup>	0,074
	50	-	-	-	0,0105	-	-	-	-	0,9464	4,9x10 <sup>-3</sup>	0,069
	60	-	-	-	0,0155	-	-	-	-	0,9506	4,7x10 <sup>-3</sup>	0,067
	70	-	-	-	0,0134	-	-	-	-	0,9346	5,6x10 <sup>-3</sup>	0,073
Page	40	-	-	-	0,0391	-	-	0,6797	-	0,9909	8,2x10 <sup>-4</sup>	0,028
	50	-	-	-	0,0384	-	-	0,7189	-	0,9876	1,2x10 <sup>-3</sup>	0,033
	60	-	-	-	0,0474	-	-	0,7283	-	0,9855	1,4x10 <sup>-3</sup>	0,036
	70	-	-	-	0,0528	-	-	0,6832	-	0,9919	7,3x10 <sup>-4</sup>	0,026
Page modificado	40	-	-	-	0,0084	-	-	0,6797	-	0,9909	8,2x10 <sup>-4</sup>	0,028
	50	-	-	-	0,0107	-	-	0,7189	-	0,9876	1,2x10 <sup>-3</sup>	0,033
	60	-	-	-	0,0152	-	-	0,7283	-	0,9855	1,4x10 <sup>-3</sup>	0,036
	70	-	-	-	0,0133	-	-	0,6832	-	0,9919	7,3x10 <sup>-4</sup>	0,026
Henderson e Pabis	40	0,8491	-	-	0,0063	-	-	-	-	0,9789	1,9x10 <sup>-3</sup>	0,042
	50	0,8691	-	-	0,0084	-	-	-	-	0,9790	2,0x10 <sup>-3</sup>	0,043
	60	0,9028	-	-	0,0130	-	-	-	-	0,9629	3,7x10 <sup>-3</sup>	0,058
	70	0,8528	-	-	0,0103	-	-	-	-	0,9735	2,4x10 <sup>-3</sup>	0,047
Logarítmico	40	0,8383	-	0,0173	0,0067	-	-	-	-	0,9794	1,9x10 <sup>-3</sup>	0,042
	50	0,8667	-	0,0037	0,0085	-	-	-	-	0,9790	2,1x10 <sup>-3</sup>	0,043
	60	0,8844	-	0,0572	0,0166	-	-	-	-	0,9696	3,2x10 <sup>-3</sup>	0,053
	70	0,8327	-	0,0379	0,0119	-	-	-	-	0,9755	2,3x10 <sup>-3</sup>	0,045
Midilli	40	1,0085	-0,0002	-	0,0594	-	-	0,5714	-	0,9979	2,0x10 <sup>-4</sup>	0,013
	50	1,0063	-0,0003	-	0,0593	-	-	0,5959	-	0,9957	4,5x10 <sup>-4</sup>	0,019
	60	1,0450	-0,0001	-	0,0658	-	-	0,6535	-	0,9876	1,4x10 <sup>-3</sup>	0,034
	70	1,0067	-0,0003	-	0,0734	-	-	0,5855	-	0,9997	2,8x10 <sup>-4</sup>	0,015

**Tabela 25.** Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem do filé de pirarucu nas diferentes condições de processo (*Continuação*).

Modelo	T (°C)	a	b	c	k	k <sub>o</sub>	k <sub>1</sub>	n	g	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE
Dois termos	40	0,5920	0,4477	-	-	0,0081	0,0568	-	-	0,9928	2,3x10 <sup>-4</sup>	0,014
	50	0,7742	0,2345	-	-	0,0073	0,1152	-	-	0,9946	5,6x10 <sup>-4</sup>	0,022
	60	0,5920	0,4477	-	-	0,0081	0,0568	-	-	0,9928	7,9x10 <sup>-4</sup>	0,026
	70	0,2840	0,7052	-	-	0,0877	0,0082	-	-	0,9948	5,1x10 <sup>-4</sup>	0,021
Aproximação da Difusão	40	0,2597	0,0620	-	0,0860	-	-	-	-	0,9976	2,2x10 <sup>-4</sup>	0,014
	50	0,2261	0,0655	-	0,1117	-	-	-	-	0,9946	5,4x10 <sup>-4</sup>	0,022
	60	0,4138	0,1595	-	0,0508	-	-	-	-	0,9917	8,6x10 <sup>-4</sup>	0,027
	70	0,2908	0,0877	-	0,0934	-	-	-	-	0,9947	5,0x10 <sup>-4</sup>	0,021
Verma	40	0,2597	-	-	0,0860	-	-	-	0,0053	0,9976	2,2x10 <sup>-4</sup>	0,014
	50	0,2261	-	-	0,1117	-	-	-	0,0073	0,9946	5,4x10 <sup>-4</sup>	0,022
	60	0,5861	-	-	0,0081	-	-	-	0,0051	0,9917	8,6x10 <sup>-4</sup>	0,027
	70	0,2908	-	-	0,0934	-	-	-	0,0082	0,9947	5,0x10 <sup>-4</sup>	0,021
Dois Termos Exponencial	40	0,1634	-	-	0,0406	-	-	-	-	0,9730	2,4x10 <sup>-3</sup>	0,048
	50	0,1566	-	-	0,0549	-	-	-	-	0,9788	2,0x10 <sup>-3</sup>	0,043
	60	0,2211	-	-	0,0527	-	-	-	-	0,9790	2,1x10 <sup>-3</sup>	0,044
	70	0,1846	-	-	0,0569	-	-	-	-	0,9735	2,4x10 <sup>-3</sup>	0,047

## 6 CONCLUSÕES

O músculo do pirarucu estudado atendeu aos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira. O peixe apresentou um bom rendimento em filé (>40%), com alta umidade (>75%), atividade de água (0,99) e pH (>6), e tendo a proteína como constituinte majoritário (>15%).

As condições de processo: temperatura, tempo e concentração de NaCl na solução osmótica apresentaram efeitos significativos sobre a perda de peso (PP), a perda de água (PA) e o ganho de sólidos (GS) durante a desidratação osmótica do filé de pirarucu, enquanto a relação massa de produto/volume de solução apresentou efeito não significativo.

Solução osmótica com 30% de NaCl, temperatura de 40°C, tempo de contato de 240 min e uma relação massa de produto/volume de solução de 1/20 foram definidas com condições ótimas para o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu.

O modelo proposto por Azuara e colaboradores predisse com boa precisão a cinética de PA e de GS durante o processo de desidratação osmótica do filé de pirarucu, cuja difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) foi de  $3,77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para PA e de  $3,50 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  para GS.

O filé de pirarucu osmoticamente desidratado apresentou 56,8% de umidade, 21,4% de proteínas, 2,3% de lipídeos, 17,4% de cinzas e 14,2% de cloretos, e uma  $a_w$  de 0,79.

O modelo de Page predisse com excelente precisão a cinética de secagem convectiva isotérmica do filé de pirarucu osmoticamente desidratado, na faixa de temperatura estudada (40-70°C), para a qual foram observados valores de  $D_{\text{eff}}$  na faixa de  $2,66 \times 10^{-9}$  a  $5,48 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKMAN, R. G. Nutritional composition of fats in sea foods. **Progress in Food Nutrition Science**, v.13, p. 161-241, 1989.
- AKHANAZAROVA S; KAFAROV V. **Experiment Optimization in Chemistry and Chemical Engineering**, Mir Publishers, Moscow. 1982.
- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.99-104, 2003.
- ALAM, M.S.; AMARJIT, S.; SAWHNEY, B. K. Response surface optimization of osmotic dehydration process for aonla slices. **Journal Food Science Technology**. v.47, n.1, p.47–54, 2010.
- ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.
- ALMÁS, K.A. **Chemical and microbiology of fish and fish processing**. Norway: University of Throndein, 1981. 123p.
- ALMEIDA, F.A.C.; RIBEIRO, C.F.A.; TOBINAGA, S.; GOMES, J. Otimização do processo de secagem osmótica na obtenção de produtos secos da manga Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.576-584, 2005.
- AI-MUHTASEB, A. H.; HARARAH, M. A.; MEGAHEY, E. K., MCMINN, W. A. M.; MAGGE, T. R. A. Moisture adsorption isotherms of microwave-baked Madeira cake. **LWT – Food Science and Technology**. London, v. 43, n.7, p. 1042-1049, 2010.
- AL-MUHTASHEB, A.H.; AL-HARAHSEH, M.; HARARAH, M.; MAGEE, T.R.A. Drying characteristics and quality change of unutilized-protein rich-tomato pomace with and without osmotic pre-treatment. **Industrial Crops and Products**, v.31, n.1, p.171–177, 2010.
- ALVES, C.C.O.; RESENDE, J.V.; CRUVINEL, R.S.R.; PRADO, M.E.T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.28, n. 4, p. 830-839, 2008.
- ALVES, D. G.; BARBOSA Jr, J.L.; ANTONIO, G. C.A.; MURR, F.E.X. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.) .**Journal of Food Engineering**, Oxford, v.1, n.68, p. 99-103,2005.
- AMAMI, E.; KHEZAMI, L.; VOROBIEV, E.; KECHAOU, N. Effect of pulsed electric field and osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of carrot tissue. **Drying Technology**, London, v. 26, n.2, p. 231 – 238, 2008.
- ANDRADE, S.A.C.; BARROS NETO, B. de; SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B. Influência de revestimentos comestíveis na redução de ganho de sólidos em jenipapos desidratados osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.1, n.27, 39-43, 2007.
- ANTONIO, G.A.; KUROZAWA, L.E; MURR, F.E.X.; PASK, K.J. Otimização da desidratação osmótica de batata doce (*Ipomoea batatas*) utilizando metodologia de superfície de resposta. **Brazilian Journal of Food Technology**, Lavras, v.9, p.135-141, 2008.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 16.ed. 3.rev. 1141p., Washington, 1997.

ARTEAGA, G.E. Systematic experimental designs for product formula optimization. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v.5, n.8, p.243-254, 1994.

AYALA, C. L. **Manual de piscicultura del paiche (*Arapaima gigas* Cuvier)**. Tratado de Cooperacion Amazonica, Secretaria pro Tempore. Caracas, Venezuela, 1999.

AZEREDO, H.M.C.; JARDINE, J.G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n.1, p.78-82, 2000.

AZOUBEL, P. M., MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v.61, n.3, p.291-295, 2004.

AZOUBEL, P. M.; DA SILVA, F. O. Optimisation of osmotic dehydration of "Tommy Atkins" mango fruit. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 1276-1280, 2008.

AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Optimisation of Osmotic Dehydration of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) in Sugar Solutions. **Food Science and Technology International**, v.9, n.6, p.427-433, 2010.

AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, Reino Unido, v. 27, p. 409-418, 1992.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEGA-MERCADO, H. **Deshidratación de alimentos**. Espanha: Editorial ACRIBIA, 2000. 297p.

BARD. J.; IMBIRIBA, E. P. **Piscicultura do pirarucu**, Arapaima gigas, Belém: Embrapa - CPATU, 1986. 17p.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S., BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, p.285-298, 2010.

BCHIR, B.; BESBES, S.; ATTIA, H.; BLECKER, C. Osmotic dehydration of pomegranate seeds: mass transfer kinetics and differential scanning calorimetry characterization. **International Journal of Food Science and Technology**, v.44, n.11, p.2208–2217, 2009.

BETORET, N.; ANDRÉS, A.; ALEXANDRE, B. B.; MARTÍNEZ, L.; FITO, P. Kinetics of osmotic dehydration of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) slices. Influence of temperature and sodium chloride concentration. In: 9TH International congress on engineering and food (icef 9), Montpellier, France, **Proceedings**, CD-Rom, 2004.

BOERI, C.; SILVA, N. F.; FERREIRA, J.; SARAIVA, J.; SALVADOR, A. Predicting the drying kinetics of salted codfish (*Gadus Morhua*) semi-empirical, diffusive and neural network models. **International Journal of Food Science and Technology**, v.46, n.3, p.509–515, 2011.

BOHUON, P.; Deshydratation-impregnation par immersion en solutions ternaires: Etude des transports d'eau et de solutes sue gel et produits d'origine animale. **These Doctorat**. Universite Montpellier II; 1995.

BORGES, S.V.; MANCINI, M.C.; CORRÊA, J.G.; LEITE, J. Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.3, p.605-612, 2010.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analyses, and Model Building**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 653p.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, n.9, 1973.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v.25, n.1, p. 38-41, 2003.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional da Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos em alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 jan. 2001. Seção 1, p.45.

BRASIL. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura – Brasil 2012**. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 185, de 13 de maio de 1997: Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (Inteiro e Eviscerado). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 15 mai 1997. Seção I, n. 158. p. 102-8.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. Resolução – RDC n.40, de 21 de março de 2003. Regulamento técnico para rotulagem nutricional de alimentos e bebidas embaladas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2003.

BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria 451 de 19 de Setembro de 1997. Princípios Gerais para o Estabelecimento de Critérios e Padrões Microbiológicos para Alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília: ANVISA, 1997.

BRASIL. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Animal. Pescado fresco. Métodos Analíticos Oficiais para o Controle de Produtos de Origem Animal e seus Ingredientes. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília: Ministério da Agricultura, 1981, v. 2, cap. 11.

CARNEIRO, P.C.F.; MIKOS, J.D.; BENDHACK, F.; IGNÁCIO, S.A. Processamento do jundiá *Rhamdia quelen*: rendimento de carcaça. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.2, n.3, p. 11-17, 2004.

CASTRO-GIRÁLDEZ, M.; TYLEWICZ, U.; FITO, P.J.; DALLA ROSA, M.; FITO, P. Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.105, n.4, p.599–608, 2011.

CHECMAREV, G.; CASALES, M. R.; YEANNES, M. I. Analysis of applicability of Peleg model to the cooking-infusion of mackerel (*Scomber japonicus*) slices. **Food Science and Technology**, v.33, n.4, p. 685-689, 2013.

- CHIRALT, A. FITO, P. Transport Mechanisms in Osmotic Dehydration: The Role of the Structure. **Food Science and Technology International**, London, v.1, n.9; p.179- 186, 2003.
- COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; PLIGNE, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 143-162, 2001.
- CONNELL JJ. Methods of assessing and selecting for quality. *In: Control of Fish Quality*. 2. ed. Oxford: Fishing News Books; 1990.
- CONTRERAS-GUZMÁN, E.S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP, 1994.
- CORREA, J. L. G.; SILVA FILHO, E. D.; BATISTA, M. B.; AROLA, F.; FIORENZE, R. Desidratação Osmótica de Tomate Seguida de secagem. **Revista brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p. 35-42, 2008.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 8, p. 1452-1458, out. 2007.
- COSTA, C. M. L. Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (*Spilanthes oleracea*) em leite fluidizado. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- CZERNER, M.; YEANNES, M. I. Brining kinetics of different cuts of anchovy (*Engraulis anchoita*). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 10, p. 2001-2007, 2010.
- DALLA ROSA, M.; GIROUX, F. Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.49, p.223-236,2001.
- DARVISHI, H; AZADBAKHT, M; REZAEIASL; FARHANG, A. Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 12, n.2, p. 121-127, june.2013.
- DAUDIN, J. D. Calculus des cinétiques de sechage par l'air chaud des. **Sci. Aliments**. v.3, n.1, p.1-36, 1983.
- DEL VALLE, F. R.; NICKERSON, J. T. Studies on salting and drying fish I: Equilibrium considerations in salting. **Journal of Food Science**, v.32, p.173-179, 1967a.
- DEL VALLE, F. R.; NICKERSON, J. T. Studies on salting and drying fish II: Dynamic Aspects of the Salting of Fish. **Journal of Food Science**, v.32, p.218-224, 1967b.
- DEL VALLE, J. M.; CUADROS, T. R. M.; AGUILERA, J. M. Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. **Food Research International**, Oxford, v.31, n.3, p.191-204, 1998.
- DERMESONLOUOGLOU, E.K.; POURGOURI, S.; TAOUKIS, P.S. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.9, n.4, p.542-549, 2008.
- DEROSSI, A.; PILLI, T. de; SEVERINI, C.; McCARTHY, M. J. Mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, Oxford, n.86, p.519-528, 2008.

DHINGRA, D.; SINGH, J., PATIL, R.T., UPPAL, D.S. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science Technology**, London, v.45, n.3, p.209–217, 2008.

DIAS, A. F. Salga e secagem de pirarucu (*Arapaima gigas*, Curvier, 1929) com aplicação de coletores solares. Manaus, p.150 f. **Dissertação de Mestrado** (Programa de Pós-graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA / FUA, Manaus, 1983.

DIONELLO, R. F.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O.; QUEIROZ, V. A. V. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p.701-709, 2007.

DJENDOUBI, N; BOUDHRIQUA, N; BONAZZI, C; KECHAOU, N. Drying of sardine muscles: Experimental and mathematical investigations. **Food and Bioproducts Processing**, v.87, n.2, p.115-123, 2009.

DOWNES, F.P; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological. Examinations of Foods**. 4th. ed. Washington (DC): APHA. 2001.

EL-AOUAR, N.A.; AZOUBEL, P.M.; BARBOSA, J.L.L; MURR, F.E.X. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*carrioca papaya* L.) **Journal of Food Engineering**, Oxford, n.75, p.267-274, 2006.

EREN, I.; KAYMAK-ERTEKIN, F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.1, p.344-352, 2007.

ESCOBAR, M. P; GALINDO, F. G.; WADSÖ, L.; NÁJERA, J. R.; SJOHOLM, I. Effect of long-term storage and blanching pré-treatments on the osmotic kinetics of carrots (*Daucus carota* L. cv. Nerac). **Journal of Food Engineering**. Oxford, v.81, p.313-317, 2007.

FALCÃO, R. S.; FILHO, R. S.; GUSMÃO, R. P.. Otimização da desidratação osmótica da haste central de abacaxi pérola utilizando a metodologia de superfície de resposta. **Holos**, v.4, n. 28, 2012.

FAO. Food and agriculture organization of the united nations. The state of world fisheries and aquaculture, p. 27, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 602, 2006.

FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 795-802, 2005.

FIORENTIN, L. D.; MENON, B. M.; ALVES, J.A.; BARROS,S.T. D DE.; PEREIRA, N. C.; MÓDENES, N. A. Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagoço da laranja. **Acta Scientiarum Technology**. v. 32, n. 2, p.147-152, 2010.

FOGAÇA, S.H.F; OLIVEIRA, G.E; CARVALHO, Q. E. S; SANTOS, S. J. F. Yield and composition of pirarucu fillet in diferente weight classes. **Acta scientiuarum. Animal Sciences**, Maringá, v.33, n.1, p.95-99, 2011.

FONTENELE, O. Contribuição para o conhecimento da biologia do pirarucu, (*Arapaima gigas*, Cuvier), em cativoiro (*Actinopterygii*, *Osteoglossidae*). **Revista Brasileira de Biologia**, v.8, n.4, p.445-459, 1948.

- GALLART-JORNET, L.; BARAT, J. M.; RUSTAD, T.; ERIKSON, U.; ESCRICHE, I.; FITO, P. comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Journal of Food Engineering**, Londres, v.79, n.1, p. 261-270, 2007.
- GARCIA-TORCHELSEN, L.; JACOB-LOPES, E.; QUEIROZ, M. I. Avaliação funcional de bases proteicas desidratadas de anchoita (*Engraulis anchoita*). **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 4, p. 283-293, 2011.
- GERMER, S.P.M.; QUEIROZ, M.R.; AGUIRRE, J.M.; BERBARI, S.A.G.; ANJOS, V.D. Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.161-169, 2011.
- GOMES, A. T.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura família. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v.3, n.3, p.212-226, 2007.
- GONZAGA JÚNIOR, M. A, Avaliação da qualidade de filés de pirarucu (*Arapaima gigas*, CUVIER 1829), refrigerados e embalados sob atmosfera modificada. Rio Grande do Sul. **Dissertação de Mestrado**, 2010.
- GOULA, A. M.; LAZARIDES, H. N. Modeling of mass and heat transfer during combined processes of osmotic dehydration and freezing (Osmo-Dehydro- Freezing). **Chemical Engineering Science**, New York, v. 82, n. 12, p. 52-61, 2012.
- GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E. J. G. **The Smithsonian atlas of the Amazon**. Washington, DC: Smithsonian Institution, v.1, n.69, p. 253, 2003.
- GRAEFF, A.; TOMAZELLI, A. Fontes e níveis de óleos na alimentação de carpa comum (*Cyprinus carpio* L.) na fase de crescimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, 2007.
- GUAN, Z.; WANG, X.; LI, M.; JIANG, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer fresh tilapia fillets. **Polich Journal Food Nutrition. Sciences**, v.63, n.1, p. 25-34, 2103.
- HAWKES, J.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p.265-284, 1978.
- HUBBARD, M.R. **Statistical quality control for the food industry: Design of Experiments**. 3.ed. New York: Kluwer Academic, Cap.12, p.232-252, 2003.
- HUSS, H. H. El pescado fresco: su calidad y câmbios de su calidad. **FAO documentário Técnico de Pesca**, Roma, v.1, n.348, p.202, 1998.
- IMBIRIBA, E. P.; LOURENÇO JÚNIOR, J. de B.; DUTRA, S. Rendimento da carne do pirarucu *Arapaima gigas* (Cuvier). **Boletim de Pesquisa**. EMBRAPA – CPATU 150, p.21, 1994.
- IMBIRIBA, E.P. Potencial de criação do pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. **Acta Amazônica**, v.31, n.2, p.299-316, 2001.
- IMBIRIBA, E.P.; LOURENÇO JÚNIOR, J.B.; MOURA CARVALHO, L.O.D.; GOES, L.B.; ULIANA, D.; BRITO FILHO, L. Criação de pirarucu. **Boletim de Pesquisa (Coleção Criar)**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Belém: EMBRAPA - CPATU. p.93, 1996.

ISPIR, A.; TOĞRUL, I.T. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. **Chemical Engineering Research and Design**, v.87, n.2, p.166-180, 2009.

JOCKIC, A. ; GYURA, J.; LEVIC, L.; ZAVARGO, Z. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.1 n.78, p. 47-51. 2007.

JÚNIOR, P.C.A.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.349-353, 1999.

KHOYI, M. R., HESARI, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.4, p.1355 - 1360, 2007.

KONICA MINOLTA, Konica Minolta Sensing, Inc. Precise color communication. Color control from perception to instrumentation. **Daisennishimachi, Sakai**. Osaka, Japan. p. 59, 1998.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, n.1, p.391-413, 1996.

LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. **Journal of Food Technology**, London, v.1, n.19, p.65-89, 1984.

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, M.; DALLA ROSA, M. e BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on drying behaviour and products quality. **Journal of Food Science**, London, v.50, p. 1217-1219, 1985.

LIMA, M. M.; MUJICA, P.I.C.; LIMA, A.M. Caracterização química e avaliação do rendimento em filés de caranha (*Piaractus mesopotamicus*). **Brazilian Journal Food Technology**, v.15, n.1, p.41- 46, 2012.

LIU, R.S.; TANG, T.J. Tuber melanosporem fermentation optimization by placket-burman desing coupled with draper – lin small composite design and desirability function. **Bioresoure Technology**, v.101, n.1, p.3139-3146, 2010.

LOMBARD, G. E. ; OLIVEIRA, J. C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v.85, n.2, p. 277–284, 2008.

MACIEL, A. R; VIANA, C. M. C.; SIMÕES, G. M.; FONTELLES, P. J. M.; Desidratação osmótica de filés de pirarucu (*Arapaima Gigas*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.6, n.1, p.618-629, 2012.

MALDONADO, S.; SANTAPAOLA, J. E., SINGH, J., TORREZ, M.; GARAY, A. Cinética de la tranferencia de massa durante la deshidratacion osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.1, n.28, p.251-256, 2008.

MARCHESE, J.A.; FIGUEIRA, G.M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista brasileira de plantas medicinais**, Botucatu, v.7, n.3, p.86-96, 2005.

MARTINAZZO, A.P.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MELO, E.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.301–306, 2007.

- MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 144-151, 2015.
- MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples - Effects of agitation and raw materials. **Journal of Food Engineering**, v. 35, p. 191-209, 1998.
- MAYOR, L.; MOREIRA R.; SERENO, A.M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, v.103, n.1, p.29-37, 2011.
- MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 1, p. 29-37, 2011.
- MEDINA- VIVANCO, M. L. Estudo da difusão de cloreto de sódio no filé de tilápia (*Oreochromis (O.) niloticus*) utilizando volumes limitados de salmoura. Campinas, **Dissertação de Mestrado** – Universidade Estadual de Campinas. 1998.
- MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, Oxford, v.86, p.199-205, 2002.
- MENDONÇA, K.; JACOMINO, A. P.; MELHEM, T. X.; KLUGE, R. A. Concentração de etileno e tempo de exposição para desverdecimento de limão “Siciliano”. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 179-183, 2003.
- MERCALI, G. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C.; NOREÑA, C. P. Z. Evaluation of water, sucrose and NaCl effectivediffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 82-91, jan. 2011.
- MORENO, J.; SIMPSON, R.; SAYAS, M.; SEGURA, I.; ALDANA, O.; ALMONACID, S. Influence of omic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham’s Triumph). **Journal of Food Engineering**, v.104, n.4, p.621–627, 2011.
- MUÑOZ-RAMIREZ, P. A; COROMADO, A. J.; FRANCO, W. A.G.; Caracterizacion nutricional y sensorial de filetes de pirarucu (*Arapaima gigas*) em colombia. **Revista Tilapia & Camarones**, Ecuador, v.5, n18, 2013.
- NAKAMURA, Y.; ANDO, M.; SEOKA, M.; KAWASAKI, K.; TSUKAMASA, Y. Changes of proximate and fatty acid compositions of the dorsal and ventral ordinary muscles of the full-cycle cultured Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* with the growth. **Food Chemistry**, v. 103, n. 1, p. 234-241, 2007.
- NEVES, A. M. B. Conhecimento atual sobre o pirarucu, *Arapaima gigas*. In: Recursos Pesqueiros Do Médio Amazonas: Biologia E Estatística Pesqueira. **Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Pesca**, Brasília: Edições IBAMA, v.1 n. 22, p.89-113, 2000.
- OGAWA, M. Alterações da carne do pescado por processamento e estocagem. In: OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de pesca (Ciência e tecnologia do pescado)**. São Paulo: Livraria Varela, 1999, p. 221-249.
- OLIVEIRA, P. R. de. Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) procedente de piscicultura, estocado em gelo, congelado e de seus produtos derivados. Manaus, 2007. 119 f. **Tese (Doutorado em Biologia Tropical e**

**Recursos Naturais da Amazônia)** – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2007.

OLIVEIRA, P. R. Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) procedente de piscicultura, estocado em gelo, congelado e de seus produtos derivados. **Tese Doutorado**. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

ONO, E. A.; HALVERSON, M. R.; KUBTIZA, F. Pirarucu, o gigante esquecido. **Revista Panorama de Aquicultura**. v.14, n.81, p. 14-25. 2004.

ORDÓÑEZ, J.A. **Tecnologia de alimentos de origem animal**, v.2., São Paulo: Artmed, 2005.

ORTIZ, J.; LEMUS-MONDACA, R.; VEGA-GALVEZ, A.; AH-HEN, K.; PUENTE-DIAZ, L.; ZURA-BRAVO, L.; AUBOURG, S. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. **Food Chemistry**, v.139, p.162-169, 2013.

OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E. de; GONÇALVES, L. A. P. Teste de TBA aplicado a carne e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 655-663, 2005.

PACHECO, A.C.W.; LUZ, G.R.; POLON, P.E.; JORGE, L.M.M.; PARAÍSO, P.R. Modeling of Drying and Adsorption Isotherms of the Fish Feed. **Brazilian archives of biology and technology**, v.54, n.3, p.577-588, 2011.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Estudo da secagem de pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 21, p.288-292, 2001.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R.; PARK, H. K. B. P. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v.52, n.3, p.293-298, 2002.

PEREIRA-FILHO, M.; CAVEIRO, B. A. S.; ROUBACH, R.; ITUASSU, D. R.; GANDRA, A. L.; CRECÊNCIO, R.; **Resultados preliminares da engorda do pirarucu (*Arapaima gigas*) em viveiro escavado**. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Aquicultura, Goiânia- GO. 24 a 29 de junho de 2002. 18p.

PHISUT, N. MiniReview: Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **International Food Research Journal**, v.19, n.1, p.7-18, 2012.

PINTO, L. A. A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **Vetor**, Rio Grande, n.6, p.33 – 49, 1996.

PIZARRO, C.; GONZÁLEZ-SÁIZ, J.M.; PÉREZ-DEL-NOTARIO, N. Multiple response optimization based on desirability functions of a microwave-assisted extraction method for the simultaneous determination of chloanisoles and chlophenols in oak barrel sawdust. **Journal of Chromatography A**, v.1132, n.1. p.8-14, 2011.

PONTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v.10, n.10, p.125-128, 1966.

**Processing**, v. 89 n.3, p.170-177, 2011.

QUEIROZ, V.A.V.; BERBERT, P.A. BERBERT-MOLINA, M.A.; GRAVINA, G.A.; QUEIROZ, L.R.; DELIZA, R. Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, p.1479-1486, 2007.

- RAMOS, I.N.; SILVA, C.L.M.; SERENO, A.M.; AGUILERA, J.M. Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. **Journal of Food Engineering**, v.1 n.62, p.159-164, 2004.
- RAOULT-WACK, A L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science e Technology**, Cambridge, v.5, n.8, p.225-260, 1994.
- RAOULT-WACK, A. L.; RIOS, G.; SAURE L, R.; GIROUX, F; GUILBERT, S. Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). **Food Research International**, v.27, n.4, p. 207-209, 1994.
- RAOULT-WACK, A.L.; GUILBERT, S.; LE MAGUER, M.; RIOS, G. Simultaneous water and solute transport in shrinking media - Part 2: a compartmental model for the control of dewatering and impregnation soaking processes. **Drying Technology**, v.9, n.6, p.613-630, 1991.
- RASMUSSEN, R. S.; OSTENFELD, T. H. Effect of growth rate on quality traits and feed utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*), **Aquaculture**, Londres, v. 184, n.1, p. 327-337, 2000.
- RASTOGI, N.; RAGHAVARAO, K. Mass transfer during osmotic dehydration: determination of moisture and solute diffusion coefficients from concentration profiles. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 1, p. 44-48, mar. 2004.
- REYES, GENARA; CORZO, OTONIEL; BRACHO, NELSON. Optimización de La deshidratación osmótica de sardina mediante la metodología de superficies de respuesta. **Revista Científica**, Maracaibo, v.15, n.4, p.377-384. 2005.
- RIBEIRO, C.F.A.; PARK, K.J.; HUBINGER, M.D.; RIBEIRO, S.C.F.; BUCCI, C.G.C. Influência das variáveis de processo na desidratação osmótica de peixe piraiíba (*brachyplatystoma filamentosum*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**.Campina Grande, v.15, n.3, p. 335-347, 2013.
- RIBEIRO, S. da C. A. **Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*)**. 2005. 288 p. Tese - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- RIBEIRO, S. C. A.; PARK, K. J.; HUBINGER, M D.; RIBEIRO, C. de F. A.; ARAUJO, E. A. F.; TOBINAGA, S. Otimização da desidratação osmótica de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) através da metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.2, p.485-492, 2008.
- SANTOS, G. M. dos; MÉRONA, B. de; JURAS, A. A.; JÉGU, M. **Peixes do baixo rio Tocantins: 20 anos depois da usina hidrelétrica de Tucuruí**. Brasília: Eletronorte, v.1, n.25, p. 216, 2004.
- SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Efeito da impregnação a vácuo na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.2, p.366-372, 2008.
- SHIGEMATSU, E.; EIK, N.M.; KIMURA, M.; MAURO, M.A. Influência do pré-tratamento sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.3, p.536-545, 2005.
- SILVA, L. G.; FERREIRA, L. A. S.; RIBEIRO, I. A.; RIBEIRO, C. F. A.; SILVA, J. T. M.; SANTOS, L. F. C. Caracterização do cultivo de pirarucu no município de conceição do Araguaia – estado do Pará. Amazônia: **Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v.8, n.15, p.56-59, 2012.

- SIMÕES, M. R. Desidratação osmótica, secagem e defumação líquida de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade Tailandesa. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. 184p. Campinas, 2007.
- SIMÕES, M. R.; RIBEIRO, C. de F. A.; RIBEIRO, S. da C. A.; PARK, K. J.; MURR, F. E. X. Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 608-613, 2007.
- SINGH, B.; KUMAR, A.; GUPTA, A.K. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration on carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.79, n.3, p. 471- 480, 2007.
- SINGH, B.; PANESAR, P.S.; NANDA, V.; KENNEDY, J.F. Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. **Food Chemistry**, n.123, p.590–600, 2010.
- SOBUKOLA, O. P.; OLATUNDE, S. O. Effect of salting techniques on salt uptake and drying kinetics of African catfish (*Clarias gariepinus*). **Food and Bioproducts Processing**, v.89, n.3, p.170-177, 2011.
- SOUSA, R. H. S., VAL, A. L. O gigante das águas doces. **Ciência Hoje**, Manaus, v.11, n.64, p.9-13, 1990.
- STANSBY, M.E. Proximate Composition of Fish. In. HEE, E.; KREUEER, R (ed). **Fish in Nutrition**. London, Fishing News (Books), p.447, 1962.
- STATSOFT. **Statistica for windows**. Tulsa, USA, 1997.
- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v.82, n.5, p.509-517, 2007.
- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v.82, n.5, p. 509-517, 2007.
- TONON, R.V.; BARONI, A.F.; HUBINGER, M.D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.3, p.715-723, 2006.
- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, Monticello, v.26, n.1, p.59-68, 1993.
- TORTOE, C. A review of osmodehydration for food industry. **African Journal of Food Science**, v.4, n.6, p.303–324, 2010.
- TOUJANI, M.; HASSINI, L.; AZZOUZ, Z.; BELGHITH, A. Experimental study and mathematical modeling of silverside fish convective drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, p. 930-938, 2013.
- TSIRONI, N. T.; TAOUKIS, S. P. Modeling microbial spoilage and quality of gilthead seabream fillets: combined effect of osmotic pretreatment, modified atmosphere packaging, and nisin on shelf life. **Journal of Food Science**, v.75, n.4, p. 243-251, 2010.

- TSIRONI, T.; SALAPA, I.; TAOUKIS, P. Shelf life modelling of osmotically treated chilled gilthead seabream fillets. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.10, n.2, p.23-31, 2009.
- TSIRONI, T.N.; TAUUKIS, P. S. Effect of processing parameters on water activity and shelf life of osmotically dehydrated fish filets. **Journal of Food Engineering**, v.123, n.1, p.188-192, 2014.
- UDDIN, M.B.; AINSWORTH, P.; IBANOĞLU, Ş. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.65, n.4, p.473-477, 2004.
- VAN ARSDEL, W. B.; Drying phenomena. In: VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J; MORGAN Jr., A. I. **Food dehydration**, 2 ed., Westorp., AVI publishig Co., v.1, cap. 3, p.22-57, 1973.
- VARZAKAS, T.H.; LEACH, G.C.; ISRAILIDES, C.J.; ARAPOGLOU, D. Theoretical and experimental approaches towards the determination of Solute effective diffusivities in foods. **Enzymes and Microbial Technology**, Cambridge, v.37, n.1, p.29-41, 2005.
- VEGA GÁLVEZ, A.; TELLO, I.C.; LEMUS, M.R. Mathematical simulation of drying process of chilean gracilaria (*Gracilaria chilensis*). **Revista Chilena de Ingeniería**, v.15, n.1, p.55-64, 2007.
- VENTURIERI, R.; BERNARDINO, G. Pirarucu. Espécie ameaçada pode ser salva através do cultivo. **Revista Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 53, p. 13-21, 1999.
- VOSKRESENSKY, N. A. Salting of herring. In: BORGSTROM, G. **Fish as Food**. Academic Press, New York, v.3. p.107-131, 1965.
- VYNCKE, B.W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette Seifen Anstrichm**, v.72 n.12, p.1084-1087, 1970.
- WANG, D.; TANG, J.; CORREIA, L. Salt diffusivities and salt diffusion in farmed atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. **Journal of Food Engineering**, Londres, v.43, n.2, p.115-123. 2000.
- YANG, D. C.; LE MAGUER, M. Osmotic dehydration of strawberry in a batch recirculation system. **Journal of Food quality**, v.15, p.387-397, 1992.
- ZAITSEV, V.; KIZEVETTER, I.; LOGUNOV, L.; MAKAROVA, L.; MENDER, L.; PODSIVALOV, V. **Fish curing and Processing**. Moscow: Ed. Mir Publisher, 1969. 722p.