



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

**RENAN DE ALMEIDA MACIEL**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA À VÁCUO DO FILÉ DE  
MAPARÁ (*Hypophthalmus edentatus*)**

**BELÉM**  
**2014**



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

**RENAN DE ALMEIDA MACIEL**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA À VÁCUO DO FILÉ DE  
MAPARÁ (*Hypophthalmus edentatus*)**

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

Co-Orientador: Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues

**BELÉM**  
**2014**

**RENAN DE ALMEIDA MACIEL**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA À VÁCUO DO FILÉ DE MAPARÁ (*Hypophthalmus edentatus*)**

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: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues  
(FEA/ITEC/UFPA – Co-Orientador)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro  
(DETA/UEPA – Membro)

---

Prof. Dr. Eder Augusto Furtado Araujo  
(FEA/ITEC/UFPA – Membro)

## DEDICATÓRIA

A Deus por estar sempre abençoando e  
iluminado meu caminho.

Aos meus pais Graciete Maciel e Afonso  
Maciel por todo amor, apoio e dedicação voltados a  
mim e aos meus estudos.

À Neliane Silva por todo amor ao longo dessa  
caminhada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora de Nazaré por terem estado presentes em todos os momentos desta caminhada, me dando coragem pra seguir nos momentos de dificuldade e abençoando todos os meus passos.

À minha mãe, Gracite Maciel, por sempre acreditar em meus sonhos e em minhas decisões. Pelo apoio incondicional durante o decorrer deste trabalho, por todo carinho e amor de mãe.

Ao meu pai, Afonso Maciel, pelo amor e por nunca ter medido esforços e orações para que eu pudesse concluir mais esta caminhada.

Ao meu irmão Renato Maciel e minha cunhada Andreza pelo companheirismo e amizade.

Ao meu afilhado José Guilherme, por ser minha “válvula de escape” desse mundo cheio de compromissos e obrigações.

À minha namorada, Neliane Silva. Por todo amor e companheirismo! E principalmente por saber entender os momentos de ausência.

Aos demais familiares, aos tios e primos de Santa Maria do Pará, por me proporcionarem os melhores finais de semana.

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.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Antônio Manoel Rodrigues, pelo grande auxílio durante a parte experimental do trabalho.

Aos professores Dra. Suezilde Amaral Ribeiro e Dr. Eder Augusto Araújo pela participação na minha banca de mestrado e por todas as suas contribuições.

Aos amigos do LAFAMI: Mayara, Flávia, Leilane, Cláudia, Diego, Silvana, Brenda, Aline, Thaise, Luciana, Juliana e Gilciane. Pela convivência diária, pelo companheirismo e amizade e por toda ajuda dada. Sentirei saudades da família LAFAMI.

Aos amigos do LAPESCA: Luã, Rafaela, Bruno, Cleide, Milena, Wanessa, Allena, Fabiele e Francylla, por todo apoio, receptividade e auxílio no desenvolvimento do trabalho. Em especial, a Paula Mória, pelo auxílio nas determinações de atividade de água.

À minha turma de mestrado, em especial, Francília e Deusa, duas grandes amigas e exemplos de determinação.

À Wanessa e seu namorado Leomax, pela presteza e auxílio na aquisição das amostras de mapará.

À Embrapa Amazônia Oriental, na pessoa da Dra. Ana Vânia Carvalho, pela disponibilidade na realização da análise de cor.

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

À CAPES pelo apoio financeiro.

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

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o processo de desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*). Filés de mapará com dimensões de 5 x 2 x 0,5 cm foram submetidos a desidratação osmótica a vácuo, de acordo com um delineamento composto central rotacional  $2^4$ , no qual foram avaliados os efeitos das variáveis independentes temperatura, tempo, pressão de vácuo e concentração de NaCl, sobre as variáveis dependentes perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água ( $a_w$ ), visando obter uma condição ótima de processo com maior PA, menor GS e menor  $a_w$ . A cinética da desidratação osmótica do mapará foi realizada nas condições ótimas, onde foram acompanhados os parâmetros PA, GS e  $a_w$ , em função do tempo de processo. O modelo empírico proposto por Azuara et al. foi utilizado para representar a cinética de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica. O filé de mapará apresentou 76,70% de umidade, 15,57% de proteínas, 5,38% de lipídeos e 0,93% de cinzas. A concentração de NaCl (linear) foi a variável que apresentou maior efeito sobre as variáveis dependentes, sendo positivo sobre a PA e o GS e negativo sobre a  $a_w$ . Os modelos obtidos para PA, GS e  $a_w$  foram significativos a 95% de confiança e apresentaram falta de ajuste não significativa, sendo úteis para fins preditivos. Foi determinada como condição ótima para o processo: concentração de NaCl de 25%, temperatura de 25°C e tempo de 120 min. O modelo proposto por Azuara et al. apresentou bons ajustes aos dados experimentais de PA e GS da cinética de desidratação osmótica do filé de mapará. O filé de mapará sofreu redução de umidade após desidratação osmótica nas condições ótimas, entretanto não atendeu a umidade recomenda pela legislação para pescado salgado, já o teor de cloretos aumentou e atendeu a legislação para pescado salgado. Em relação a cor instrumental, foram observadas, após desidratação osmótica, diferenças estatisticamente significativas para luminosidade ( $L^*$ ) que diminuiu, indicando que o mapará escureceu e para o ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) que aumentou, mas ainda indicou tendência ao amarelo.

**Palavras-chave:** *Hypophthalmus edentatus*, transferência de massa, planejamento experimental, cinética.

## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the process of vacuum osmotic dehydration of mapará fillet (*Hypophthalmus edentatus*). Mapará fillets with dimensions of 5 x 2 x 0.5 cm were subjected to vacuum osmotic dehydration in accordance with a rotational central composite design  $2^4$ , in which were evaluated the effects of the independent variables temperature, time, vacuum pressure and NaCl concentration on the dependent variables water loss (WL), solids gain (GS) and water activity ( $a_w$ ), order to obtain optimal condition of process with greater PA, lower GS and lower  $a_w$ . The kinetics of osmotic dehydration of mapará was performed under optimal conditions, where were monitored the parameters PA, GS and  $a_w$  as a function of process time. The empirical model proposed by Azuara et al. was used to represent the kinetics of mass transfer during the process of osmotic dehydration. The mapará fillet presented 76.70% moisture, 15.57% protein, 5.38% fat and 0.93% ash. The NaCl concentration (linear) was the variable that presented the greatest effect on the dependent variables, being positive on WL and GS and negative about the  $a_w$ . The models obtained for PA, GS and  $a_w$  were significant at 95% confidence and showed no significant lack of fit, being useful to predictive purposes. Was determined as optimum condition for the process: NaCl concentration 25%, temperature of 25 ° C and time of 120 min. The model proposed by Azuara et al. showed fit good to the experimental data of PA and GS kinetics of osmotic dehydration of mapará fillet. The fillet mapará had a reduction moisture after osmotic dehydration in optimal conditions, however did not meet the humidity recommended by law for salted fish, since the chloride content increased and attended law for salted fish. In relation the instrumental color were observed, after osmotic dehydration, significant statistically differences in lightness ( $L^*$ ) that decreased, indicating that the mapará darkened and the hue angle ( $h^\circ$ ) that increased, but still showed a tendency to yellow.

**Keywords:** *Hypophthalmus edentatus*, mass transfer, experimental design, kinetics.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Processo de transferência de massa durante a desidratação osmótica.....	21
<b>Figura 2.</b> Mapará ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) .....	30
<b>Figura 3.</b> Superfície de resposta e curva de nível para perda de água, relacionando concentração de NaCl (%) e temperatura (°C) para um tempo de 90 min e pressão de 52,7 kPa.....	49
<b>Figura 4.</b> Superfície de resposta e curva de nível para perda de água, relacionando concentração de NaCl (%) e tempo (min) para uma temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa.....	50
<b>Figura 5.</b> Superfície de resposta e curva de nível para perda de água, relacionando temperatura (°C) e tempo (min) para uma pressão de 52,7 (kPa) e concentração de 25%.....	51
<b>Figura 6.</b> Superfície de resposta e curva de nível para ganho de sólidos, relacionando concentração de NaCl (%) e temperatura (°C), para um tempo de 90 minutos e pressão de 52,7 kPa. ....	54
<b>Figura 7.</b> Superfície de resposta e curva de nível para ganho de sólidos, relacionando concentração de NaCl (%) e tempo (min), para uma temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa.....	54
<b>Figura 8.</b> Superfície de resposta e curva de nível para ganho de sólidos, relacionando temperatura (°C) e tempo (min), para uma concentração de 15% e pressão de 52,7 KPa.....	55
<b>Figura 9.</b> Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando concentração de NaCl (%) e tempo (min), para uma temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa.....	58
<b>Figura 10.</b> Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando concentração de NaCl (%) e temperatura (°C), para um tempo de 90 minutos e pressão de 52,7 kPa. ....	58
<b>Figura 11.</b> Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando temperatura (°C) e tempo (min), para uma concentração de 15% e pressão de 52,7 kPa. ....	59

<b>Figura 12.</b> Sobreposição das curvas de contorno de perda de água e ganho de sólidos no tempo de 90 min e pressão de 52,7 kPa. ....	60
<b>Figura 13.</b> Sobreposição das curvas de contorno de perda de água e ganho de sólidos na temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa. ....	60
<b>Figura 14.</b> Sobreposição das curvas de contorno de perda de água e ganho de sólidos a concentração de 25% e pressão de 52,7 kPa. ....	61
<b>Figura 15.</b> Cinéticas da perda de água, do ganho de sólidos e da atividade de água do filé de mapará na desidratação osmótica a 25°C, com concentração de NaCl de 25% e a pressão atmosférica padrão. ....	63
<b>Figura 16.</b> Ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) para cinética de perda de água na desidratação osmótica de filés de mapará. ....	65
<b>Figura 17.</b> Ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) para cinética de ganho de sólidos na desidratação osmótica de filés de mapará. ....	65

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Composição centesimal do mapará, segundo diferentes autores.....	20
<b>Tabela 2.</b> Delineamento composto central rotacional para as variáveis independentes (temperatura, tempo, pressão de vácuo e concentração de NaCl), na forma codificada e padrão.....	35
<b>Tabela 3.</b> Análise microbiológica do filé de mapará <i>in natura</i> .....	41
<b>Tabela 4.</b> Caracterização física do mapará.....	41
<b>Tabela 5.</b> Caracterização físico-química do mapará.....	42
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros de cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) e valor de croma ( $C^*$ ) e do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) para o filé de mapará. ....	44
<b>Tabela 7.</b> Resultados da perda de água (PA%), ganho de sólidos (GS%) e $a_w$ obtidos experimentalmente através da desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará utilizando solução de NaCl + água.....	46
<b>Tabela 8.</b> Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo codificado, para perda de água na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará em solução de NaCl + água.....	47
<b>Tabela 9.</b> Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta perda de água. ....	48
<b>Tabela 10.</b> Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo codificado, para ganho de sólidos na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará em solução de NaCl + água.....	52
<b>Tabela 11.</b> Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta ganho de sólidos. ....	53
<b>Tabela 12.</b> Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo codificado, para atividade de água ( $a_w$ ) na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará em solução de NaCl + água. ....	56
<b>Tabela 13.</b> Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta atividade de água. ....	57
<b>Tabela 14.</b> Resultados de perda de água, ganho de sólidos e atividade de água obtidos experimentalmente e através dos modelos de predição para desidratação osmótica de filé de mapará nas condições ótimas.....	62

<b>Tabela 15.</b> Valores dos parâmetros estimados pelo 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 de filés de mapará. ....	64
<b>Tabela 16.</b> Caracterização físico-química do filé de mapará desidratado osmoticamente na condição ótima. ....	67
<b>Tabela 17.</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 mapará desidratado osmoticamente. ....	68

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 GERAL .....	17
2.2 ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
3.1 MAPARÁ .....	18
<b>3.1.1 Características gerais .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.2 Interesse econômico.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.3 Composição química .....</b>	<b>19</b>
3.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	20
<b>3.2.1 Condições gerais.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2 Efeito da composição .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.3 Efeito da temperatura.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.4 Efeito dos agentes osmóticos.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.5 Efeito da concentração da solução .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.6 Efeito da agitação.....</b>	<b>25</b>
3.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA À VÁCUO .....	25
<b>3.3.1 Desidratação osmótica a vácuo à pressão reduzida constante (VOD).....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2 Desidratação osmótica a vácuo à pressão reduzida inicial por pulso (PVOD).....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.3 Desidratação osmótica a vácuo a pressão reduzida por pulsos periódicos (PPVOD) .....</b>	<b>28</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
4.1 MATÉRIA-PRIMA.....	30
4.2 MÉTODOS .....	30
<b>4.2.1 Caracterização física do mapará.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.2 Preparo da matéria-prima.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.3 Avaliação microbiológica do mapará .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.4 Análises físico-químicas do mapará.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.5 Desidratação osmótica a vácuo.....</b>	<b>33</b>
4.2.5.1 Planejamento experimental .....	34

4.2.5.2 Determinação das variáveis dependentes.....	36
4.2.5.3 Determinação da condição ótima .....	37
4.2.5.4 Validação da condição ótima da desidratação osmótica do mapará .....	37
4.2.5.5 Cinética do processo de desidratação osmótica do mapará .....	37
4.2.5.6 Modelagem matemática .....	38
<b>4.2.6 Caracterização físico e química do produto .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.7 Análise estatística .....</b>	<b>39</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
5.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO MAPARÁ .....	41
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO MAPARÁ .....	41
5.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO MAPARÁ.....	42
5.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA A VÁCUO .....	45
<b>5.4.1 Perda de água.....</b>	<b>46</b>
<b>5.4.2 Ganho de sólidos .....</b>	<b>51</b>
<b>5.4.3 Atividade de água (<math>a_w</math>) .....</b>	<b>55</b>
<b>5.4.4 Determinação da condição ótima .....</b>	<b>59</b>
5.5 VALIDAÇÃO DA CONDIÇÃO ÓTIMA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE MAPARÁ.....	61
5.6 CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE MAPARÁ .....	62
5.7 MODELAGEM DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE MAPARÁ .....	64
5.8 CARACTERIZAÇÃO DO MAPARÁ DESIDRATADO OSMOTICAMENTE.....	66
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mapará (*Hypophthalmus edentatus*) é um peixe de ampla distribuição na América do Sul (ALCÂNTARA-NETO, 1994), sendo que em 2011 foi o nono peixe de maior produção da pesca extrativa Brasileira, com 9.622,9 toneladas. O estado do Pará se destacou como sendo o segundo maior produtor da pesca extrativa continental em 2011, com 55.402,7 toneladas (BRASIL, 2013).

Do ponto de vista nutricional, a importância do pescado está baseada em seu conteúdo de proteínas de alto valor biológico, vitaminas, principalmente A e D, e na qualidade da fração lipídica, rica em ácidos graxos insaturados e baixo teor de colesterol (LUZIA et al., 2003; GUINAZI et al., 2006; SIMÕES et al., 2007). A garantia da qualidade do pescado depende de um manuseio correto, desde a captura até a comercialização. Durante o processamento e o armazenamento do pescado e de seus subprodutos, a rancificação e a contaminação por microrganismos diminuem a vida comercial do produto e podem causar efeitos indesejáveis ao produto e à saúde do consumidor (STEVANATO et al., 2007).

No processamento de peixes é comum o uso da combinação de métodos de conservação. 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, entretanto apresenta algumas desvantagens, como alto consumo de energia e temperaturas elevadas (RIBEIRO et al., 2008; SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2008).

A desidratação osmótica é uma operação unitária que tem sido utilizada como tratamento preliminar, principalmente, para melhorar a qualidade do alimento desidratado, reduzir custos de energia e obter novas formulações de produtos (SERENO et al., 2001; FERNANDES et al., 2006). O processo consiste na imersão do alimento, inteiro ou em pedaços, em soluções aquosas hipertônicas com alta pressão osmótica, as quais promovem a remoção da água presente no alimento, reduzindo assim a sua atividade de água (RAOULT-WACK, 1994; SERENO; MOREIRA; MARTINEZ, 2001).

Geralmente, a desidratação osmótica ocorre à pressão atmosférica, entretanto diversos autores têm destacado o uso de vácuo como uma alternativa

inovadora para os processos osmóticos, tendo em vista que sob esta condição ocorre um aumento na velocidade da transferência de massa (BARAT; CHIRALT; FITO, 2001; ESCRICHE et al., 2000; MÚJICA-PAZ et al., 2002, PANADÉS et al., 2006; ITO et al., 2007; OCCHINO et al., 2011).

Além de tornar o processo mais rápido, o uso de baixas pressões possibilita o uso de temperaturas menores, na obtenção da mesma taxa de transferência de massa, quando a desidratação é realizada à pressão atmosférica. Dessa forma, os danos causados pelo calor à estrutura do tecido são menores, o que favorece a manutenção da qualidade do alimento desidratado com maior retenção de cor, aroma, sabor e textura original do alimento (ALZAMORA et al., 2000; ZHAO; XIE, 2004).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Avaliar o processo de desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*), visando apresentar uma alternativa de aproveitamento tecnológico, capaz de agregar valor a esse pescado abundante na Região Amazônica.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização microbiológica e físico-química do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*);
- Estudar a influência das variáveis: concentração da solução salina, temperatura, tempo e pressão sobre a desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará, visando estabelecer condições ótimas para o processo;
- Validar a condição ótima para o processo de desidratação osmótica do filé de mapará e realizar a caracterização físico-química do produto obtido nessa condição;
- Avaliar a cinética de desidratação osmótica do filé de mapará na condição ótima.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 MAPARÁ

##### 3.1.1 Características gerais

Os maparás são siluriformes de porte médio e pertencem à família *Hypophthalmidae*. As três espécies do gênero *Hypophthalmus*: *H. edentatus*, *H. fimbriatus* e *H. marginatus* são encontradas na Américas Central, bem como no rio Amazonas e seus afluentes (ARAÚJO-LIMA; RUFFINO, 2003).

O mapará (*Hypophthalmus edentatus*) é um peixe de ampla distribuição na América do Sul, sendo encontrado na Bacia Amazônica, na Bacia do Prata, na Bacia do Orinoco e em águas costeiras do Pará (foz do Amazonas), até o Suriname (ALCÂNTARA-NETO, 1994). Também conhecido como mapurá, peixe gato, mapará de cameté ou oleiro, o mapará apresenta uma carne saborosa e chega a alcançar até 3 kg, com um rendimento em filé superior a 60% (RIBEIRO et al., 2008).

De acordo com Santos, Ferreira e Zuanon (2006), os maparás apresentam os olhos voltados para baixo, o que os diferem dos demais peixes lisos. Em relação a sua plasticidade trófica, os maparás são classificados como especialistas, apresentando um espectro alimentar restrito por organismos planctônicos, o que indica que a morfologia de seu aparelho filtrador apresenta alto grau de seleção. São peixes reólicas, pois dependem da correnteza dos rios para realizar suas funções reprodutivas (ABELHA et al., 2001).

O rendimento da parte comestível do pescado é influenciado por diversos fatores, como a forma do peixe, o tamanho da cabeça e das escamas, a idade do peixe, entre outros. A determinação do rendimento do pescado permite à indústria dimensionar sua produção e ao mercado conhecer o potencial dos recursos disponíveis (SOUZA; MARANHÃO, 2001). Costa, Oshiro e Silva (2010) observaram rendimentos de 53,04%(±1,40) para filé, 38,84%(±1,81) para carcaça e 6,60%(±1,75) para ventrecha de mapará.

##### 3.1.2 Interesse econômico

O extrativismo pesqueiro é uma atividade tradicional, praticada desde antes da colonização pelas comunidades indígenas. A partir da década de 60 ela se tornou

uma atividade profissional relevante, devido ao incentivo do governo para a instalação de indústrias pesqueiras, principalmente no município de Belém (IBAMA, 2007).

Em 2011, a produção de pescado do Brasil foi de 1.431.974,4 t, verificando-se um aumento de 13,2% em relação a 2010, quando foram produzidas 1.264.765 t. Em relação à produção de pescado por Unidade da Federação, para o ano de 2011, o Pará foi o segundo maior produtor, com 10,7% do total nacional. Esses dados confirmam o importante papel que o Estado do Pará desempenha no cenário da atividade pesqueira do Brasil (BRASIL, 2013).

A produção da pesca extrativa continental nacional, em 2011, foi de 249.600,2 t, e a região Norte liderou o cenário dessa modalidade de pesca, com 54,95% da produção, a qual foi fortemente impulsionada pelos estados do Amazonas (63.743,3 t) e do Pará (55.402,7 t), que juntos foram responsáveis por 47,3% do total capturado. O mapará foi o nono peixe de maior produção desse tipo de pesca, com 9.622,9 t (3,86% da produção nacional); o que representou um pequeno aumento em relação a 2010, quando foram produzidos 9.573,2 t (BRASIL, 2013).

### **3.1.3 Composição química**

O pescado e seus produtos representam importantes alternativas alimentares para a população humana, pois são fontes de proteínas de alta qualidade e boa digestibilidade, apresentado em sua composição todos os aminoácidos essenciais, além de lipídeos, minerais e vitaminas lipossolúveis (GUINAZI et al., 2006; SIMÕES et al., 2007). O pescado se destaca ainda por ser uma boa fonte de ácidos graxos polinsaturados, principalmente os da série ômega-3, que são importantes para a promoção e manutenção da saúde (LUZIA et al., 2003; BAYIR et al., 2006).

A composição química dos peixes é bastante variável, ocorrendo inclusive variações entre indivíduos da mesma espécie. Além da espécie, uma série de outros fatores afeta a composição química dos peixes, como: idade, temperatura e salinidade do meio em que vivem, tipo de alimentação, época de captura, peso, entre outros (BANDARRA et al., 2001; LUZIA et al., 2003; OLIVEIRA; AGOSTINHO; MATSUSHITA, 2003; ZLATANOS; LASKARIDIS, 2007). Diferentes estudos avaliaram a composição do mapará e uma síntese dos resultados é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição centesimal do mapará, segundo diferentes autores.

Referência	Parte	Composição (%)			
		Umidade	Proteína	Lipídeos	Cinzas
Ribeiro et al. (2008)	NE	64,01	16,35	17,85	0,91
Costa, Oshiro e Silva (2010)	Filé	65,18	12,85	21,21	0,75
Costa, Oshiro e Silva (2010)	Ventrecha	63,83	11,72	23,87	0,58
Cordeiro (2012)	NE	74,86	10,04	13,91	0,85

NE: não especificada.

De acordo com Pigott e Tucker (1990), o mapará é classificado quanto ao teor de gordura como gordo, por apresentar quantidade superior a 5%. Em relação ao teor de proteínas e segundo critérios do mesmo autor, o mapará é considerado um peixe de baixo teor proteico, por apresentar menos de 15% do constituinte.

O mapará apresenta uma relação especial entre os teores de gordura e proteínas, pois apresenta maior teor do primeiro constituinte. Essa relação é justificável, pois a espécie não forma um depósito específico de gordura, sendo a mesma difundida em todo o tecido muscular. No mapará, bem como em todos os pescados Siluriformes, a gordura é essencial para a flutuação, pois eles apresentam uma bexiga natatória bastante reduzida (AGOSTINHO; JÚLIO; PETRERE, 1994).

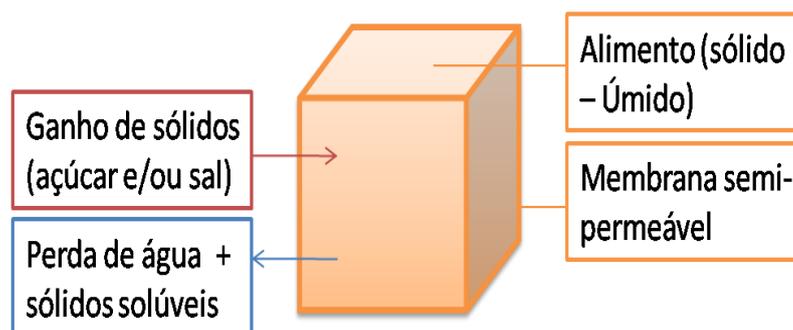
### 3.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

#### 3.2.1 Condições gerais

A desidratação osmótica, também denominada de impregnação por imersão, consiste na imersão do alimento, inteiro ou em pedaços, em soluções aquosas hipertônicas com alta pressão osmótica, as quais promovem a remoção da água presente no alimento, com conseqüente entrada de sólidos, reduzindo assim sua disponibilidade no alimento à deterioração química, microbiológica e sensorial (RAOULT-WACK, 1994; SERENO; MOREIRA; MARTINEZ, 2001).

Devido à diferença de concentração entre o agente osmótico e o alimento, dois fluxos simultâneos e em contra corrente são criados através das paredes celulares (Figura 1): um de saída da água do produto para solução e um de migração de solutos da solução para o alimento, permitindo assim uma significativa

remoção de água, com uma controlada incorporação de sólidos (RAOULT-WACK, 1994). Através do segundo fluxo pode ser incorporada uma quantidade desejada de um princípio ativo, agente conservante ou qualquer outro soluto de interesse nutricional ou que seja capaz de conferir ao produto uma melhor qualidade sensorial (LENART; FLINK, 1984; TORREGGIANI, 1993).



**Figura 1.** Processo de transferência de massa durante a desidratação osmótica.

Como a membrana celular não é perfeitamente seletiva, um terceiro fluxo, envolvendo a perda de alguns sólidos naturais, como açúcares, minerais, ácidos orgânicos e vitaminas, também pode ocorrer durante o processo. Mesmo sendo insignificante em relação aos dois fluxos principais, esse fluxo representa importância para as qualidades sensoriais (aroma, cor e textura) e nutricionais (minerais e vitaminas) do produto (RAOULT-WACK, 1994; LEWICKI; LENART, 2007).

O uso da desidratação osmótica como tratamento preliminar é direcionado, principalmente, para melhorar a qualidade do alimento desidratado, reduzir custos de energia e obter novas formulações de produtos (SERENO et al., 2001; FERNANDES et al., 2006). Outra vantagem desse processo é a diminuição da injúria térmica provocada pelos longos tempos de secagem, melhorando a textura, aumentando a retenção das vitaminas, permitindo sabor mais suave e doçura, além da estabilização da cor sem adição do sulfito (TORREGGIANI, 1993; KROKIDA; KARATHANOS; MAROULIS, 2000; RODRIGUES; CUNHA; HUBINGER, 2003).

Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm estudado os efeitos que parâmetros, como: o tipo e a concentração do soluto empregado, o tempo e a temperatura do processo, a relação volumétrica entre a solução e o produto, o grau de agitação e a pressão de trabalho exercem sobre a taxa de transferência de massa durante a desidratação osmótica e sobre a qualidade de produtos

desidratados osmoticamente (MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002; ALVES et al., 2005; FERNANDES et al., 2006; SOUZA et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; MONNERAT et al., 2010).

Ribeiro et al. (2008) otimizaram a transferência de massa durante a desidratação osmótica de mapará, através da metodologia de superfície de resposta. Foram realizados um total de 17 ensaios, nos quais foi avaliada 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, perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), GS/PA e TBA. Os autores definiram como condição ótima de 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**

Nos tecidos animais a transferência de água e de solutos é altamente dependente das propriedades intrínsecas dos tecidos biológicos (MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

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 filé do peixe, ocorre a diminuição da perda de água e do ganho de sólidos (GALLART-JORNET et al., 2007).

Outro estudo mostrou que a carne bovina e o filé de peixe, com mesmo conteúdo de gordura, embora apresentem diferença significativa nas suas matrizes proteicas, apresentaram um comportamento semelhante em relação à transferência de massa, durante o processo de desidratação osmótica, indicando assim que em relação à composição do alimento, o conteúdo de gordura é o fator que pode modificar a transferência de massa durante os processos de desidratação osmótica (COLLIGNAN; RAOUT WACK, 1994).

O efeito direto da fase lipídica na transferência de massa não é linear. Os fluxos de água e sal parecem ser muito mais limitados pela presença de lipídios em produtos magros do que em produtos gordos. O aumento da tortuosidade do meio é, provavelmente, o principal fator responsável pela limitação direta de transferências pela fase lipídica (COLLIGNAN et al., 2001).

### 3.2.3 Efeito da temperatura

A temperatura é uma variável muito importante na desidratação osmótica, pois apresenta efeito sobre a cinética do processo, a viscosidade da solução, a taxa de osmose e o coeficiente de difusão da água e dos solutos (ALVES et al., 2005; CORZO; BRACHO, 2007; RIBEIRO et al., 2008).

O aumento da temperatura potencializa o processo de transferência de massa, entretanto a partir de um valor limite pode ativar os mecanismos de autólises, que deterioram o alimento; assim temperaturas muito altas não são desejadas (LENART; FLINK, 1984; SOUZA et al., 2007). Por outro lado, temperaturas mais elevadas permitem melhor circulação da solução osmótica, por diminuírem a sua viscosidade (MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

Maciel et al. (2012) observaram na desidratação osmótica de pirarucu que o aumento da temperatura, potencializou a transferência de massa, aumentando tanto a perda de água como o ganho de sólidos.

O uso de altas temperaturas potencializa a desnaturação proteica do músculo do peixe, o que diminui sua capacidade de retenção de água (CRA) e conseqüentemente possibilita uma maior perda de água (BIRKELAND et al., 2005). Entretanto alguns peixes podem apresentar características termolábeis, como a carpa Indiana, que apresenta desnaturação proteica em temperaturas relativamente baixas (20°C) (SANKAR; RAMACHANDRAN, 2005).

### 3.2.4 Efeito dos agentes osmóticos

Na desidratação osmótica podem ser utilizados todos os solutos altamente solúveis em água e os solventes miscíveis em água, desde que desprovidos de substâncias tóxicas (RAOULT-WACK, 1994). A solução osmótica utilizada deve apresentar uma baixa atividade de água e os solutos devem ser inócuos, além de conferirem um sabor agradável ao alimento (UDDIN; AINSWORTH; IBANOGLU, 2004).

Carne e peixes são geralmente processados em soluções aquosas, onde o sal é o principal agente osmótico (COLLIGNAN et al., 2001). O sal comum é essencial para a alimentação humana, sendo um importante ingrediente alimentar, desde o início da civilização. O sal, em concentração suficientemente elevada, atrai

osmoticamente a água, fazendo com que ela não possa ser aproveitada pelos micro-organismos. A baixa disponibilidade de água provoca a redução ou interrupção total dos processos vitais (GONÇALVES, 2011).

Pesquisas sobre a desidratação osmótica, que utilizaram soluções aquosas com a combinação de açúcar e sal, verificaram que a presença do açúcar favoreceu a perda de água e limitou a incorporação do sal, devido à formação de uma camada concentrada de açúcar na superfície do produto, o que reduziu substancialmente o coeficiente de difusão do sal (SACCHETTI; GIANOTTI; ROSA, 2001; BORIN et al., 2008; MARTINS; CUNHA; SILVA, 2008). A alta viscosidade de soluções ternárias também contribui para diminuição do coeficiente de difusão do sal (COLLIGNAN et al., 2001).

O peso molecular do soluto tem influencia direta em seu coeficiente de difusão. Solutos com menor peso molecular possuem maior coeficiente de difusão que solutos de maior peso molecular. A perda de água aumenta e o ganho de soluto diminui, com o aumento do peso molecular do soluto (COLLIGNAN; RAOULT-WACK, 1994; COLLIGNAN et al., 2001).

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

O aumento da concentração da solução osmótica promove um aumento na taxa de perda de água e um maior ganho de sólidos durante o processo de desidratação osmótica, devido ao aumento na pressão osmótica na solução (LIMA et al., 2004; TELES et al., 2006).

Gallart-Jornet et al. (2007) verificaram que alta concentração de sal provocou desnaturação proteica do músculo de salmão e bacalhau, reduzindo sua capacidade de retenção de água (CRA) e aumentando conseqüentemente a perda de água. O uso de alta concentração de sal também contribui para diminuir o inchaço da amostra, devido a menor CRA (BARAT et al., 2002).

Em um estudo utilizando soluções ternárias de xarope de amido de milho e sal, Bohuon et al. (1998) verificaram a existência de uma concentração crítica, na qual o aumento da concentração de xarope de amido de milho não apresentou efeito sobre o ganho de sal e a perda de água, devido a limitação da transferência de massa.

O uso de soluções osmóticas concentradas pode diminuir as perdas de solutos hidrossolúveis, como o ácido ascórbico, devido à formação de uma camada periférica concentrada em soluto, a qual previne tais perdas (MARTINS; CUNHA; SILVA, 2008).

### **3.2.6 Efeito da agitação**

Na desidratação osmótica o processo de transferência de massa aumenta com a agitação. Porém é necessário tomar cuidado para que não haja danos no material a ser desidratado, além de se levar em consideração os custos decorrentes de equipamentos e de energia (RASTOGGI et al., 2002).

Para as soluções binárias de água-sal, a solução não precisa ser agitada porque a convecção natural é suficiente para renovar a camada de barreira na interface produto/solução. Em contraste, em soluções aquosas ternárias altamente concentradas, contendo sal e açúcar, em temperatura baixa, a convecção natural, apesar de muito elevada, não é suficiente para renovar a camada limite e a transferência de massa na interface é limitada. Em tais casos, a agitação é necessária para aumentar a cinética de mistura entre a fase diluída e a fase viscosa concentrada, restabelecendo, assim, um gradiente de concentração favorável para a transferência de massa (COLLIGNAN et al., 2001).

Tonon, Baroni e Hubinger (2007) verificaram, durante a desidratação osmótica de tomates em bandas, que a agitação apresentou influência significativa sobre o coeficiente global de transferência de massa da água, mas não do sal e da sacarose. De acordo com os autores, isso indica que no caso da água, a transferência de massa não é governada apenas por um mecanismo interno de difusão, ao contrário do que parece acontecer com os solutos.

### **3.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA À VÁCUO**

A desidratação osmótica é geralmente conduzida à pressão atmosférica, entretanto diversos autores têm dado destaque à impregnação de alimentos sob vácuo, como uma alternativa inovadora para os processos osmóticos, tendo em vista que sob essa condição ocorre um aumento na velocidade de transferência de massa (BARAT; CHIRALT; FITO, 2001; ESCRICHE et al., 2000; MÚJICA-PAZ et al., 2002,

PANADÉS et al., 2006; ITO et. al., 2007; OCCHINO et al., 2011). O uso de baixas pressões, além de tornar o processo mais rápido, possibilita o uso de temperaturas menores na obtenção de uma mesma taxa de transferência de massa (ZHAO; XIE, 2004).

Outra vantagem desse processo está relacionada à melhoria da qualidade do alimento, devido ao uso de um tratamento mais brando, com menor temperatura, minimizando assim os danos causados pelo calor à estrutura do tecido e permitindo um maior grau de retenção da coloração, sabor e aroma original do alimento. A impregnação à vácuo mostrou-se eficiente na prevenção da perda de coloração de frutos devido à oxidação ou ação enzimática, o que foi atribuído a remoção do oxigênio dos poros do produto (ALZAMORA et al., 2000; ZHAO; XIE, 2004).

Fito et al. (2001) afirmam que o enriquecimento de frutas e vegetais com minerais, vitaminas e outros componentes fisiologicamente ativos pode ser uma boa escolha para desenvolver alimentos funcionais. A impregnação a vácuo permite introduzir quantidades controladas de uma solução dentro da estrutura dos poros das frutas e vegetais (matriz). Essa solução pode conter componente fisiologicamente ativo, depressores da  $a_w$ , pH e elementos antimicrobianos, com o intuito de obter um produto funcional e estável.

Escriche et al. (2000) estudaram a desidratação osmótica com pulso de vácuo de Kiwi (*Actinidia chinensis*) usando dois tipos de solução osmótica: sacarose (65°Brix) e concentrado de suco de uva (63°Brix), três temperaturas (25, 35 e 45°C) e quatro tempos de pulso de vácuo (0, 5, 10 e 15 minutos). A impregnação das amostras empregando vácuo de 50 mbar foi alta, quando foi usado concentrado de suco de uva como solução osmótica, o que foi atribuído à menor viscosidade dessa solução. Não foi observado diferença em relação ao tempo de tratamento por pulso de vácuo (5-15 minutos).

Panadés et al. (2006) avaliaram a influência dos parâmetros temperatura (30, 40 e 50°C), tempo (30, 60, 90, 120, 150 e 180 min) e pressão (atmosférica, pulso de vácuo e vácuo contínuo) na desidratação osmótica de pedaços de goiaba, em solução de sacarose a 65° Brix. Os autores verificaram maior perda de água a 50°C, nos processos com pulso de vácuo (10,7 kPa) e vácuo contínuo (10,7 kPa), devido o mecanismo hidrodinâmico. Os maiores ganhos de sólidos foram verificados no sistema com pulso de vácuo (10,7 kPa) a 40°C, variando de 5,7 a 12,6%.

Ito et al. (2007) estudaram a cinética de desidratação osmótica de fatias de manga, através do acompanhamento, em tempos pré-determinados, das variáveis: perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) a 20 e 30°C, usando soluções de sacarose com 45, 55 e 65 °Brix. Os tratamentos foram realizados a pressão atmosférica e por pulso de vácuo (PVOD) de 50 e 100 mbar. A aplicação de vácuo de 100 mbar, utilizando solução a 45 °Brix, causou maior ganho de sólidos e não alterou a perda de água, em relação ao processo à pressão atmosférica. Na concentração de 55 °Brix houve uma maior perda de água nos tratamentos com aplicação de vácuo (50 e 100 mbar), em relação ao tratamento a pressão atmosférica. A 65 °Brix, o pulso de vácuo de 100 mbar apresentou uma menor perda de água e uma maior incorporação de sólidos até 60 minutos de processo. A partir deste tempo a quantidade incorporada foi semelhante, independentemente do tratamento aplicado.

Schmidt, Carciofi e Laurindo (2008) avaliaram o ganho de massa total (GM), o ganho de água (GA) e o ganho de sal (GS) em cortes de peito de frango submetidos à desidratação osmótica com solução salina de NaCl a 10%. Foram realizados experimentos a pressão atmosférica e com pulso de vácuo de 10 mm Hg por 15 minutos. No processo por pulso de vácuo houve maior GM e GA durante todo o processo e maior GS a partir de 4h de processo.

### **3.3.1 Desidratação osmótica a vácuo à pressão reduzida constante (VOD)**

Nesse processo, a desidratação osmótica a vácuo é realizada mantendo uma pressão constante e reduzida sob a superfície livre da solução desidratante, do início ao final do processo de impregnação (*Vacuum osmotic dehydration*) (FITO, 1994). Na impregnação a vácuo de alimentos estruturados há liberação parcial de gás dos poros das células e uma substituição pelo líquido externo. Assim, ocorrem mudanças físico-químicas e nas propriedades estruturais do alimento, o que afeta o comportamento nas operações de secagem (secagem com ar e/ou desidratação osmótica). (FITO et al., 2001).

### **3.3.2 Desidratação osmótica a vácuo à pressão reduzida inicial por pulso (PVOD)**

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD – *pulsed vacuum osmotic dehydration*) consiste na aplicação de vácuo no sistema sólido-solução, por um curto período no início do processo (FITO; CHIRALT, 2000). Nesse primeiro passo submete-se o sistema a uma pressão subatmosférica ( $P_1$ ), por um dado período de tempo ( $t_1$ ), no qual o gás ocluído nos poros se expande até o equilíbrio com a pressão imposta ao sistema, saindo do produto e drenando parte do líquido nativo presente no interior dos poros. Uma vez alcançado o equilíbrio das pressões do sistema, uma quantidade de líquido penetra nos poros devido à ação das forças capilares.

Após a primeira etapa, se restabelece o processo a pressão atmosférica ( $P_2$ ) e o produto é mantido imerso na solução por um tempo adicional ( $t_2$ ). Com a recuperação da pressão do sistema, o líquido que está em contato com o alimento penetra no interior dos poros, devido aos gradientes macroscópicos de pressão e à capilaridade. Esse processo envolve uma rápida alteração na composição do alimento, com consequências sobre propriedades físicas e de transporte do tecido do alimento (FITO, 1994; FITO et al., 1996).

O processo de imersão por pulsos de vácuo (PVOD) pode ser usado quando os tempos de processamento são longos, como na formulação de pedaços de carne à pressão atmosférica ou quando a difusão de soluto é lenta (alto peso molecular e/ou uma forte interação da proteína na matriz) (COLLIGNAN et al., 2001).

Quando aplicado em carnes, o tratamento osmótico usando pulso de vácuo (PVOD) tem como objetivo acentuar a impregnação, através da expansão das fibras musculares, associada à evacuação dos gases ocluídos, induzindo uma movimentação de filtração, quando se retorna à pressão atmosférica (MAROUZÉ et al., 2001).

### **3.3.3 Desidratação osmótica a vácuo a pressão reduzida por pulsos periódicos (PPVOD)**

Em alguns casos o produto pode ser imerso em uma solução concentrada e processado por fases alternadas de vácuo parcial e de pressão atmosférica,

recebendo o nome de desidratação osmótica a vácuo a pressão reduzida por pulsos periódicos (PPVOD) (ZHAO; XIE, 2004).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATÉRIA-PRIMA

Foram obtidas 30 unidades de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) (Figura 2) no município de Cametá (PA), no mês de junho de 2013. Após captura, os peixes foram transportados, em caixas térmicas com gelo ( $\approx 0^{\circ}\text{C}$ ), para o laboratório de Engenharia de Alimentos da UFPA (Belém – PA).



**Figura 2.** Mapará (*Hypophthalmus edentatus*)

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Caracterização física do mapará

Foi realizada em um lote de 30 peixes, nos quais foram determinados o comprimento, a largura e a espessura, com auxílio de paquímetro, além dos pesos do peixe inteiro e dos filés de cada unidade, em balança analítica. A partir desses pesos foi calculado o rendimento em filé.

#### 4.2.2 Preparo da matéria-prima

No Laboratório de Pescado da UFPA, os peixes foram submetidos à higienização, através de lavagem com água corrente, seguida de imersão em água clorada (5 ppm de cloro livre) por 15 minutos. Posteriormente, os peixes foram eviscerados e filetados, manualmente, com auxílio de lâminas de aço inox.

Os filés foram separados em três frações representativas: a primeira para a realização da composição centesimal, a segunda para realização das demais análises de caracterização da matéria-prima, e a terceira para a realização dos ensaios de desidratação osmótica. A primeira fração foi submetida à liofilização, seguida de moagem e armazenamento em sacos de polietileno sob vácuo. A

segunda fração foi triturada, homogeneizada, acondicionada em embalagens de polietileno sob vácuo e armazenadas a  $-18^{\circ}\text{C}$ . Os filés utilizados nos ensaios de desidratação osmótica foram acondicionados em embalagens de polietileno sob vácuo, envolvidos em papel alumínio e mantidos a  $-18^{\circ}\text{C}$ , até a realização dos experimentos.

#### **4.2.3 Avaliação microbiológica do mapará**

Para avaliação da qualidade microbiológica da matéria-prima foram realizadas as análises de pesquisa de *Salmonella* e Estafilococos coagulase positivo, de acordo com as determinações da RDC N° 12, de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001).

Devido à manipulação dos peixes, antes de chegarem ao laboratório, foi realizada a análise complementar de Coliformes termotolerantes, de acordo com a Portaria 451 de 19/09/1997 do Ministério da Saúde, para verificar a sanidade do lote recebido (BRASIL, 1997). As análises foram realizadas em triplicata, de acordo com metodologia descrita por Downes e Ito (2001).

#### **4.2.4 Análises físico-químicas do mapará**

As seguintes análises físico-químicas foram realizadas, em triplicata, no filé de mapará:

##### ***Umidade***

Determinada por secagem em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$ , 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  $550^{\circ}\text{C}$ , de acordo com o método 938.08 da AOAC (1997).

##### ***Proteínas***

Determinadas pelo método Kjeldahl, com base na determinação do nitrogênio total contido na amostra, seguido da conversão em proteína, de acordo com o

método 940.25 da AOAC (1997). O resultado foi expresso em proteína bruta ou total, utilizando para o cálculo o fator de conversão nitrogênio/proteína de 6,25.

### ***Lipídios***

Determinados pelo método Soxhlet, utilizando éter de petróleo como 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).

### ***Atividade de água***

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

### ***pH***

Determinado em potenciômetro da marca Hanna Instruments, modelo HI9321, de acordo com o método 981.12 da AOAC (1997). Inicialmente foi realizada a calibração do pHmetro com tampão pH 4 e 7 a  $20^\circ\text{C}$ , e em seguida 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 do peixe utilizado. A amostra foi submetida à extração com solução de ácido tricloroacético a 5%. Após filtração, foram recolhidos 10 mL do extrato, os quais foram submetidos à destilação. O destilado foi titulado com ácido sulfúrico 0,01N.

### **Número de ácido tiobarbitúrico (TBA)**

O TBA foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Vyncke (1970). Primeiramente foi obtido um extrato ácido-aquoso da amostra, com o uso de solução de ácido tricloroacético, propil galato e EDTA. Esse extrato foi submetido à reação com a solução de TBA, sob aquecimento, para a formação de um complexo colorido, e em seguida foi feita a leitura da solução em espectrofotômetro a 532 nm e 600 nm.

### **Cor instrumental**

A avaliação da cor foi realizada por colorimetria *Tristímulos* 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 pela Equação 3.

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

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

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

#### **4.2.5 Desidratação osmótica a vácuo**

Os ensaios de desidratação osmótica a vácuo foram realizados em um equipamento construído especificamente para esta operação. O equipamento é composto de um dessecador de polipropileno, com termo regulação própria, através de um sistema de camisa que contém um fluido térmico. O fluido térmico é ligado a um banho termostático para aquecimento e/ou resfriamento. O sistema é provido de

um sensor de temperatura, para controlar a temperatura da solução osmótica. Para assegurar as condições de pressão negativa (vácuo) foi utilizada uma bomba de vácuo conectada ao sistema, e para proporcionar a agitação da solução foi utilizada uma mesa agitadora, sob a qual o sistema foi disposto.

Os filés foram preliminarmente descongelados a 5°C em estufa de refrigeração, e posteriormente até a temperatura ambiente ( $\approx 25^\circ\text{C}$ ). Foram então obtidas amostras no formato de placa plana, com auxílio de cortador manual, com 5 cm de comprimento, 2 cm de largura e 0,5 cm de espessura. Para a realização dos ensaios de desidratação osmótica, duas unidades dessas amostras foram pesadas e colocadas dentro do equipamento, contendo a solução de NaCl na concentração de trabalho, onde foram submetidos nas condições de temperatura e pressão, definidas pelo delineamento experimental. Uma relação amostra/solução de 1:80 (v/v) foi utilizada para garantir que as amostras fossem totalmente cobertas pela solução osmótica e para evitar mudanças significativas na concentração de NaCl na solução osmótica, durante os ensaios.

Foi adotada uma agitação constante de 60 rpm, uma vez que esta condição assegurava uma agitação mínima da solução, sem favorecer o choque da amostra contra as paredes do equipamento. O objetivo da agitação foi apenas provocar a homogeneização da solução.

Após os tempos estabelecidos no planejamento experimental, as amostras foram retiradas do equipamento, lavadas com 10 mL de água destilada, para retirar o excesso da solução desidratante, secas em papel absorvente e novamente pesadas.

#### 4.2.5.1 Planejamento experimental

Para avaliar os efeitos das variáveis independentes: temperatura, tempo, pressão de vácuo e concentração de NaCl, sobre as variáveis dependentes ou respostas: perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água ( $a_w$ ), foi utilizado um delineamento composto central rotacional  $2^4$ , com 27 (vinte e sete) ensaios, sendo 16 (dezesseis) ensaios lineares nos níveis -1 e +1, 8 (oito) ensaios axiais (uma variável nos níveis  $\pm\alpha$  e três em 0) e 3 (três) ensaios no ponto central (as quatro variáveis independentes no nível 0) (Tabela 2). Os valores das variáveis temperatura, tempo, pressão e concentração de NaCl foram pré-definidos em

ensaios preliminares e de acordo com a literatura científica. Através do planejamento experimental buscou-se obter maior perda de água, menor ganho de sólidos e menor  $a_w$ .

**Tabela 2.** Delineamento composto central rotacional para as variáveis independentes (temperatura, tempo, pressão de vácuo e concentração de NaCl), 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)	Pressão (kPa)	Concentração de NaCl (%)
1	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	15,0	60	29,6	10
2	-1,00	-1,00	-1,00	+1,00	15,0	60	29,6	20
3	-1,00	-1,00	+1,00	-1,00	15,0	60	75,7	10
4	-1,00	-1,00	+1,00	+1,00	15,0	60	75,7	20
5	-1,00	+1,00	-1,00	-1,00	15,0	120	29,6	10
6	-1,00	+1,00	-1,00	+1,00	15,0	120	29,6	20
7	-1,00	+1,00	+1,00	-1,00	15,0	120	75,7	10
8	-1,00	+1,00	+1,00	+1,00	15,0	120	75,7	20
9	+1,00	-1,00	-1,00	-1,00	25,0	60	29,6	10
10	+1,00	-1,00	-1,00	+1,00	25,0	60	29,6	20
11	+1,00	-1,00	+1,00	-1,00	25,0	60	75,7	10
12	+1,00	-1,00	+1,00	+1,00	25,0	60	75,7	20
13	+1,00	+1,00	-1,00	-1,00	25,0	120	29,6	10
14	+1,00	+1,00	-1,00	+1,00	25,0	120	29,6	20
15	+1,00	+1,00	+1,00	-1,00	25,0	120	75,7	10
16	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	25,0	120	75,7	20
17	-2,00	0,00	0,00	0,00	10,0	90	52,7	15
18	+2,00	0,00	0,00	0,00	30,0	90	52,7	15
19	0,00	-2,00	0,00	0,00	20,0	30	52,7	15
20	0,00	+2,00	0,00	0,00	20,0	150	52,7	15
21	0,00	0,00	-2,00	0,00	20,0	90	6,5	15
22	0,00	0,00	+2,00	0,00	20,0	90	98,8	15
23	0,00	0,00	0,00	-2,00	20,0	90	52,7	5
24	0,00	0,00	0,00	+2,00	20,0	90	52,7	25
25 (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	20,0	90	52,7	15
26 (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	20,0	90	52,7	15
27 (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	20,0	90	52,7	15

X<sub>1</sub>: Temperatura (°C); X<sub>2</sub>: Tempo (min); X<sub>3</sub>: Pressão de vácuo (kPa); X<sub>4</sub>: Concentração de NaCl (%).

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 a ampliação do modelo linear, tornando-o quadrático.

O planejamento permite a obtenção de um modelo quadrático, onde o valor das variáveis dependentes (perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água ( $a_w$ )) é função das variáveis independentes (temperatura, tempo, pressão de vácuo e concentração de sal), conforme descreve a Equação 5.

$$Y = f(T, t, P, C) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_{11} T^2 + \beta_2 t + \beta_{22} t^2 + \beta_3 P + \beta_{33} P^2 + \beta_4 C + \beta_{44} C^2 + \beta_{12} Tt + \beta_{13} TP + \beta_{14} TC + \beta_{23} tP + \beta_{24} tC + \beta_{34} PC \quad (5)$$

Os coeficientes da Equação 5 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 ( $p$ ). 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 obtidos, 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  $R^2$ .

#### 4.2.5.2 Determinação das variáveis dependentes

##### ***Ganho de sólidos e perda de água***

Na desidratação osmótica, o transporte de massa (água e solutos) pode ser acompanhado pela determinação da perda de água (PA) e pelo ganho de sólidos (GS), os quais podem ser calculados de acordo com as Equações 6 e 7.

$$PA(\%) = \frac{MA_o - (M_t - MS_t)}{M_o} \times 100 \quad (6)$$

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_o}{M_o} \times 100 \quad (7)$$

onde, PA = perda de água (%); GS = ganho de sólidos (%); MA<sub>o</sub> = massa de água inicial da amostra (g); MS<sub>o</sub> = massa de sólidos inicial na amostra (g); M<sub>o</sub> = massa inicial da amostra (g); M<sub>t</sub> = massa da amostra em um tempo t (g); MS<sub>t</sub> = massa de sólidos em um tempo t (g).

### **Atividade de água**

Determinada de acordo com a rotina descrita no item 4.2.4.

#### 4.2.5.3 Determinação da condição ótima

A condição ótima para desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará foi determinada utilizando Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), realizando a sobreposição dos gráficos de perda de água e ganho de sólidos para obter maior perda de água e menor ganho de sólidos.

#### 4.2.5.4 Validação da condição ótima da desidratação osmótica do mapará

Foi realizada a repetição do processo de desidratação osmótica na condição ótima. Foram determinados os parâmetros: ganho de sólidos, perda de água e atividade de água do produto, para avaliar a reprodutibilidade do processo, através do cálculo do desvio relativo (Equação 8).

$$DR(\%) = \left( \frac{|V_{exp} - V_{pred}|}{V_{exp}} \right) * 100 \quad (8)$$

Onde, DR = desvio relativo; V<sub>exp</sub> = valor experimental; V<sub>pred</sub> = valor predito.

#### 4.2.5.5 Cinética do processo de desidratação osmótica do mapará

Amostras do produto foram submetidas à desidratação osmótica na condição ótima. Os ensaios foram realizados em tempos crescentes. Foram acompanhados os parâmetros: ganho de sólidos (GS), perda de água (PA) e  $a_w$  do produto.

#### 4.2.5.6 Modelagem matemática

Para representar a cinética de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica foi utilizado o modelo empírico proposto por Azuara et al. (1992). O modelo foi desenvolvido para representar a cinética de processos osmóticos e estimar a concentração de equilíbrio a partir do balanço de massa no produto. O balanço de massa (água, sólidos ou massa total) no produto pode ser expresso por meio da Equação 9.

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

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

A perda de água ou ganho de sólidos no equilíbrio ( $GX^{\infty}$ ) depende da temperatura e da concentração da solução, enquanto  $GX$  e  $GX^*$  dependem do tempo de processo. O valor do  $GX$  aumenta e o valor do  $GX^*$  diminui durante o processo osmótico, permitindo que seja estabelecida uma relação entre essas variáveis, representada por um parâmetro  $K$ . Por sua vez, esse parâmetro é função do tempo e da taxa de perda de água ou 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 10 na Equação 9 e rearranjando os termos, obtém-se a Equação 11.

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

A Equação 11 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 11 aos dados experimentais da PA e do GS foi realizado com o auxílio do software STATISTICA 7.0.

Os valores de perda de água ou ganho de sólidos no equilíbrio ( $GX^{\infty}$ ), e do parâmetro  $k$  foram calculados através da regressão linear do modelo proposto por Azuara et al. (1992) (Equação 12), utilizando os dados experimentais de perda de água e ganho de sólidos obtidos no processo osmótico.

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

O ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) (Equação 11) aos dados experimentais foi avaliada pelo coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e pelo erro médio quadrático (MSE), conforme a Equação 13.

$$MSE = \frac{\sum (GX_{pred} - GX_{exp})^2}{n} \quad (13)$$

onde,  $GX_{pred}$  e  $GX_{exp}$  são os valores de perda de água ou ganho de sólidos, predito e experimental, respectivamente, e  $n$  o número de medidas experimentais.

#### 4.2.6 Caracterização físico e química do produto

O filé de mapará, após desidratação osmótica na condição ótima, foi avaliado através dos parâmetros: umidade, cinzas, proteína bruta, lipídios, cloretos, atividade de água, cor instrumental e número de ácido tiobarbitúrico, determinados de acordo com o item 4.2.4.

#### 4.2.7 Análise estatística

Os resultados das análises de cor foram submetidos à análise de variância e teste complementar de comparação de médias, de Tukey, utilizando o software STATISTICA 7.0.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO MAPARÁ

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises microbiológicas do filé de mapará *in natura*.

**Tabela 3.** Análise microbiológica do filé de mapará *in natura*.

Análises	Mapará <i>in natura</i>	Legislação (BRASIL, 2001)
<i>Salmonella spp.</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Staphylococcus aureus</i>	< 1 x 10 <sup>1</sup> UFC/g	Máx. 10 <sup>3</sup> UFC/g
Coliformes termotolerantes a 45°C	9 NMP/g	Máx. 10 <sup>2</sup> NMP/g

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

De acordo com a Tabela 3, o filé de mapará utilizado para o processo de desidratação osmótica a vácuo apresentou um padrão microbiológico dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Os resultados das análises indicam que condições higiênico-sanitárias adequadas e satisfatórias foram adotadas, desde a captura do pescado até a chegada no Laboratório.

### 5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO MAPARÁ

A caracterização física do lote de mapará utilizado no estudo é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.** Caracterização física do mapará.

Propriedade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Peso total (g)	150,1	268,1	212,96	29,71
Filé com pele (g)	61,1	149,9	99,14	22,44
Rendimento em filé (%)	34,04	56,23	46,39	7,12
Comprimento (cm)	31,5	37,5	34,97	1,71
Largura (cm)	5,0	7,7	5,98	0,57
Espessura (cm)	1,3	2,7	2,29	0,25

Comparando com outros estudos, verificou-se que o mapará avaliado apresentou menores valores para os parâmetros analisados, indicando que as

amostras utilizadas eram de peixes mais jovens. Ribeiro (2005) trabalhou com um lote de mapará com peso médio de  $676,44 \pm 113,49$  g, comprimento de  $42,02 \pm 2,44$  cm, largura de  $13,21 \pm 2,11$  cm e espessura de  $3,77 \pm 0,38$  cm.

O rendimento em filé obtido para o mapará foi de  $46,39 \pm 7,12\%$ , o que demonstra que o peixe apresentou um bom aproveitamento de filé. Este valor foi inferior ao observado por Costa, Oshiro e Silva (2010), que determinaram rendimento em filé para o mapará de 53,04%.

Em relação a outros peixes, o mapará 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) e ao jundiá (34,75%) (CARNEIRO et al., 2004).

### 5.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO MAPARÁ

#### ***Caracterização físico-química***

Os resultados da caracterização físico-química do filé de mapará são apresentados na Tabela 5. Os teores de gordura (5,38%) e de proteínas (15,57%) apresentados pelo filé de mapará, permitem classificar o produto como um peixe gordo (teor de gordura > 5%) e de alto teor de proteína (>15%), segundo classificação proposta por Pigot e Tucker (1990).

**Tabela 5.** Caracterização físico-química do mapará.

<b>Propriedade</b>	<b>Valor</b>
Umidade (%)	$76,90 \pm 0,27$
Proteínas (%)	$15,57 \pm 0,64$
Lipídeos (%)	$5,38 \pm 0,09$
Cinzas (%)	$0,93 \pm 0,02$
Cloretos (%)	$0,10 \pm 0,01$
$a_w$	$0,997 \pm 0,02$
pH	$6,76 \pm 0,04$
nBVT (mg nBVT/100g)	$9,62 \pm 0,30$
TBA (mg malonaldeído/kg)	$0,18 \pm 0,01$

Comparando a composição química do mapará avaliado com os dados apresentados para a mesma espécie por Ribeiro et al. (2008) e Costa, Oshiro e Silva (2010), verifica-se uma grande diferença em relação ao teor de umidade e lipídeos,

pois tais autores determinaram umidade de 64,01% e 65,18% e lipídeos de 17,85% e 21,21%, respectivamente.

Geromel e Forster (1982) relataram que peixes gordos apresentam grande variação no teor de água, em função da época do ano e, em geral, o aumento do teor de gordura no músculo, diminui o teor de água na mesma proporção. Os autores relataram ainda que o teor de água no filé do pescado gordo situa-se, de modo geral, na faixa de 60-75%, dependendo do pescado e da época do ano. O mapará avaliado apresentou umidade ligeiramente superior a esta faixa.

O valor de proteínas foi próximo ao observado por Ribeiro et al. (2008), (17,85%) e superior aos determinados por Cordeiro (2012) (10,04%) e por Costa, Oshiro e Silva (2010) (11,72%), no filé de mapará. O teor de cinzas está de acordo como o observado por Ribeiro et al. (2008) (0,91%), mas foi ligeiramente superior ao observado por Cordeiro (2012) (0,85%).

De acordo com o Regulamento da inspeção industrial sanitária de produtos de origem animal – DIPOA, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (aprovado pelo Decreto nº 2.244 de 04-06-97), o valor das bases voláteis totais (BVT) para pescado fresco deve ser inferior a 30 mg de nitrogênio por 100g de carne, assim verifica-se que o mapará utilizado apresentou-se dentro das normas previstas nesse regulamento, pois obteve 9,62 de nitrogênio por 100g de amostra.

O teste de TBA quantifica o malonaldeído, um dos principais produtos de decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poli-insaturados, sendo um método que fornece informações valiosas e essenciais a respeito do estado oxidativo, na predição da rancidez do alimento analisado (OSAWA; FELÍCIO; GONÇALVES, 2005). AL-KAHTANI et al. (1996) avaliando a oxidação de tilápia, observaram que peixes em bom estado de oxidação apresentaram um valor de TBA inferior a 3,0 mg de malonaldeído/kg de amostra, o que foi observado para o mapará utilizado. A Legislação brasileira não apresenta limites para esse parâmetro.

### ***Cor instrumental***

Os resultados da análise de cor são apresentados na Tabela 6. O principal pigmento responsável pela coloração marrom avermelhada do músculo do peixe é a mioglobina (Mb). A hemoglobina (Hb) também está presente no músculo 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 (MAIA; OGAWA, 1999).

**Tabela 6.** Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e valor de croma ( $C^*$ ) e do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) para o filé de mapará.

Parâmetro	Valor
$L^*$	$54,17 \pm 1,32$
$a^*$	$-0,71 \pm 0,06$
$b^*$	$6,34 \pm 0,69$
$C^*$	$6,38 \pm 0,69$
$h^\circ$	$96,49 \pm 1,06$

O parâmetro  $L^*$  (luminosidade) indica a intensidade do brilho da amostra, varia de 100, que representa um perfeito difusor refletindo (branco) até 0 que constitui o preto. Verifica-se que o filé de mapará apresentou leve tendência a cor branca, o que indica uma quantidade pequena de Mb + Hb no músculo do peixe.

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 não indica tendência da amostra ao verde ou ao vermelho, enquanto o valor de  $b^*$  indica tendência da amostra ao amarelo.

Os valores de  $L^*$  e  $b^*$  obtidos para o filé de mapará foram inferiores ao observado por Ribeiro (2005), que determinou para o mapará  $L^*$  de 69,82 e  $b^*$  de 17,59. Essa diferença está relacionada ao teor de gordura, pois o autor determinou gordura de 17,85%, enquanto que neste trabalho foi de apenas 5,58%. Autores como Paneras, Bloukas e Filis (1996) e Yunes et al. (2013) relatam que a redução do conteúdo de gordura reduz os valores de  $L^*$  e de  $b^*$ .

O croma ( $C^*$ ) é um parâmetro que 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 mapará indica que a cor do produto caracteriza-se por ser uma cor neutra. Ribeiro (2005) determinou  $C^*$  em mapará de 17,62; valor esse bem superior ao encontrado neste trabalho. Novamente a justificativa é baseada no maior conteúdo de gordura presente na amostra desse autor, o qual propiciou maior valor do parâmetro  $b^*$  e conseqüentemente de  $C^*$ .

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

#### 5.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA A VÁCUO

Os valores obtidos experimentalmente para os ensaios de desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará, para perda de água (PA%), ganho de sólidos (GS%) e atividade de água ( $a_w$ ), segundo o delineamento composto central rotacional utilizado, são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Resultados da perda de água (PA%), ganho de sólidos (GS%) e  $a_w$  obtidos experimentalmente através da desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará utilizando solução de NaCl + água.

Ensaio	Variável codificada				Variável padrão				Resposta		
	T (°C)	t (min)	P (kPa)	C (%)	T (°C)	t (min)	P (kPa)	C (%)	PA (%)	GS (%)	$a_w$
1	-1	-1	-1	-1	15	60	29,6	10	-5,653	1,877	0,969
2	-1	-1	-1	+1	15	60	29,6	20	2,496	2,453	0,943
3	-1	-1	+1	-1	15	60	75,7	10	-8,085	0,445	0,965
4	-1	-1	+1	+1	15	60	75,7	20	0,643	4,503	0,933
5	-1	+1	-1	-1	15	120	29,6	10	-9,364	2,909	0,954
6	-1	+1	-1	+1	15	120	29,6	20	1,868	6,032	0,923
7	-1	+1	+1	-1	15	120	75,7	10	-10,821	1,790	0,955
8	-1	+1	+1	+1	15	120	75,7	20	3,726	7,330	0,908
9	+1	-1	-1	-1	25	60	29,6	10	-10,058	0,201	0,966
10	+1	-1	-1	+1	25	60	29,6	20	4,978	6,231	0,921
11	+1	-1	+1	-1	25	60	75,7	10	-4,284	1,474	0,962
12	+1	-1	+1	+1	25	60	75,7	20	2,884	6,743	0,923
13	+1	+1	-1	-1	25	120	29,6	10	-9,346	2,513	0,963
14	+1	+1	-1	+1	25	120	29,6	20	8,346	8,846	0,894
15	+1	+1	+1	-1	25	120	75,7	10	-8,230	3,104	0,949
16	+1	+1	+1	+1	25	120	75,7	20	7,174	8,213	0,922
17	-2	0	0	0	10	90	52,7	15	-3,941	4,046	0,941
18	+2	0	0	0	30	90	52,7	15	-2,714	5,483	0,935
19	0	-2	0	0	20	30	52,7	15	-0,982	2,895	0,959
20	0	+2	0	0	20	150	52,7	15	1,176	7,139	0,928
21	0	0	-2	0	20	90	6,5	15	-3,994	6,080	0,934
22	0	0	+2	0	20	90	98,8	15	-2,044	2,707	0,939
23	0	0	0	-2	20	90	52,7	5	-10,613	0,418	0,984
24	0	0	0	+2	20	90	52,7	25	10,082	9,071	0,895
25 (C)	0	0	0	0	20	90	52,7	15	-2,950	4,709	0,939
26 (C)	0	0	0	0	20	90	52,7	15	-2,410	5,356	0,942
27 (C)	0	0	0	0	20	90	52,7	15	-1,896	4,249	0,944

#### 5.4.1 Perda de água

Os resultados da análise estatística, aplicada aos dados experimentais da perda de água (PA) foram determinados através do erro puro e são apresentados na Tabelas 8. 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 8.** Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo codificado, para perda de água na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará em solução de NaCl + água.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
<b>Efeitos principais</b>				
<b>Temperatura (L)</b>	<b>1,591</b>	<b>0,215</b>	<b>7,391</b>	<b>0,018</b>
Temperatura (Q)	-0,613	0,228	-2,688	0,115
Tempo (L)	0,394	0,215	1,832	0,208
<b>Tempo (Q)</b>	<b>1,099</b>	<b>0,228</b>	<b>4,813</b>	<b>0,040</b>
Pressão (L)	0,302	0,215	1,402	0,296
Pressão (Q)	-0,459	0,228	-2,012	0,182
<b>Concentração (L)</b>	<b>11,610</b>	<b>0,215</b>	<b>53,945</b>	<b>&lt;0,001</b>
Concentração (Q)	0,917	0,228	4,018	0,057
<b>Efeito das interações</b>				
Temper. x Tempo	1,054	0,264	3,999	0,057
Temper. x Pressão	0,941	0,264	3,569	0,070
<b>Temper. x Conc.</b>	<b>1,583</b>	<b>0,264</b>	<b>6,033</b>	<b>0,027</b>
Tempo x Pressão	0,121	0,264	0,459	0,691
<b>Tempo x Conc.</b>	<b>2,476</b>	<b>0,264</b>	<b>9,394</b>	<b>0,011</b>
Conc. x Pressão	-0,781	0,264	-2,961	0,098

O efeito estimado demonstra o quanto cada fator influi nas respostas estudadas. O valor de t(2) indica a grandeza da variável em relação ao seu desvio, ou seja, quanto maior o valor de t(2), 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, 2002). Neste estudo foi escolhido como intervalo de confiança, o valor de 95%. Assim, pode-se afirmar que, para valores de  $p \leq 0,05$ , a variável é considerada estatisticamente significativa.

Na Tabela 8 é possível verificar que os fatores significativos para PA foram a temperatura (L), o tempo (Q), a concentração (L) e as interações temperatura x concentração e tempo x concentração; todos com efeito positivo. Vivanco-Pezantes (2006) estudou a desidratação osmótica por pulso de vácuo de filés de bonito, em temperatura de 5 a 25°C, tempo de 150 a 300 min, concentração de 5 a 25%, pressão de 0 a 200 mbar, e observou que o parâmetro pressão (L) apresentou efeito significativo sobre a PA, o que não foi observado no presente estudo. O parâmetro

concentração (L) foi o que apresentou o maior efeito sobre a PA, o que também foi observado por Vivanco-Pezantes (2006).

Após a eliminação dos parâmetros com efeitos não significativos, 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 9.

**Tabela 9.** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta perda de água.

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	867,052	5	173,410	63,41	2,68	23,70	0,94
Resíduo	57,425	21	2,735				
Falta de ajuste	56,870	19	2,993	10,77	19,45	0,55	
Erro puro	0,556	2	0,278				
Total	924,478	26					

Uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F, pode não ser útil para realizar previsões, por cobrir uma faixa de variação pequena dos fatores estudados (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001). Box e Wetz (1973) sugerem 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, enquanto o F da falta de ajuste em relação ao erro puro, pelo contrário, deve apresentar o menor valor possível, pois um alto F indica que há uma grande falta de ajuste dos dados ao modelo obtido.

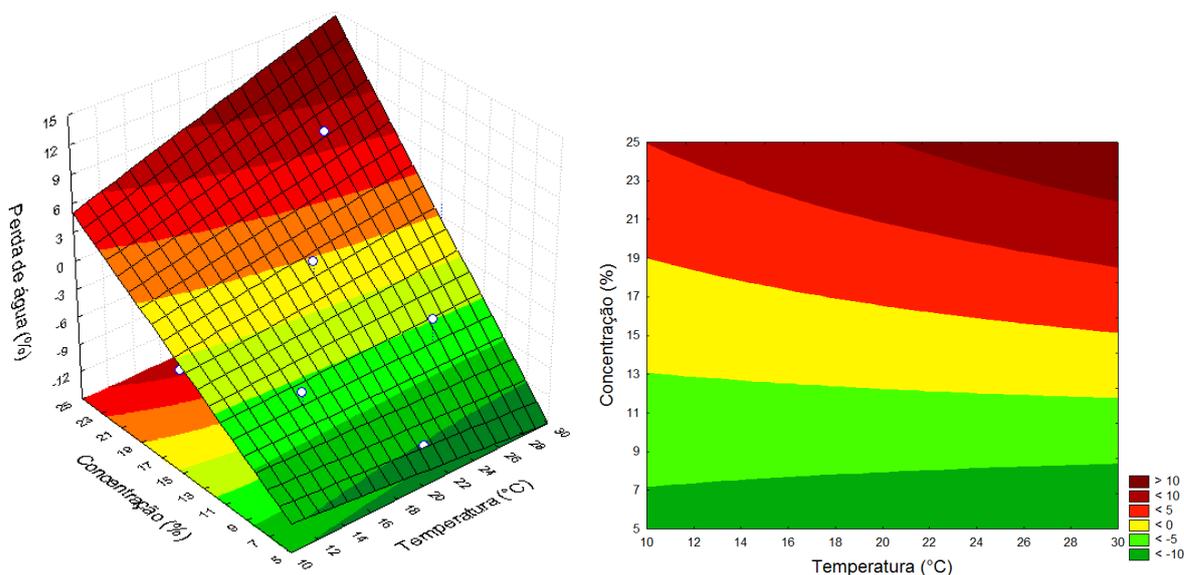
A partir dos valores dos coeficientes de regressão, o modelo codificado proposto para representar a PA na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará em solução de NaCl é o apresentado na Equação 12.

$$\%PA = -10,8247 + 0,1828C - 0,3157T - 0,0003t^2 + 0,0038Ct + 0,0316TC \quad (12)$$

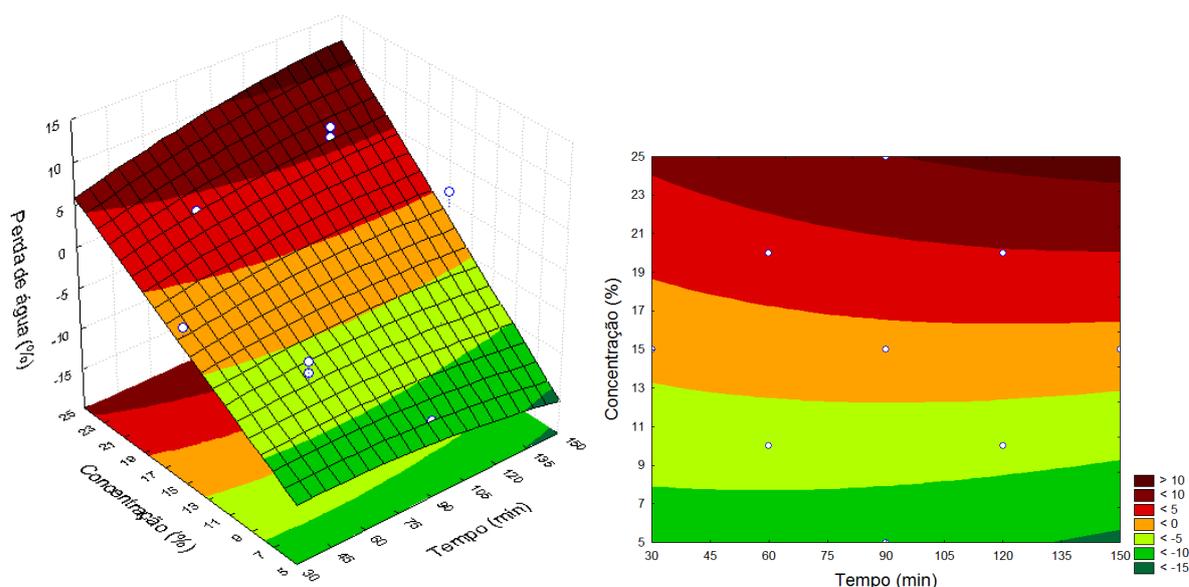
onde: C = concentração de NaCl (%); T = temperatura (°C); t = tempo (min).

O modelo apresentado para a perda de água foi significativo com 95% de confiança, pois o F calculado para regressão (Tabela 9) foi 23,7 vezes maior que o F tabelado. Observa-se também que a falta de ajuste não foi significativa no mesmo nível de confiança, assim o modelo pode ser utilizado também para fins preditivos. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,94, ou seja, o modelo explica 94% da variação dos dados observados.

A superfície de resposta e a curva de nível da Figura 3 (concentração e temperatura) e da Figura 4 (concentração e tempo) foram geradas através do modelo proposto (Equação 12).



**Figura 3.** Superfície de resposta e curva de nível para perda de água, relacionando concentração de NaCl (%) e temperatura (°C) para um tempo de 90 min e pressão de 52,7 kPa.

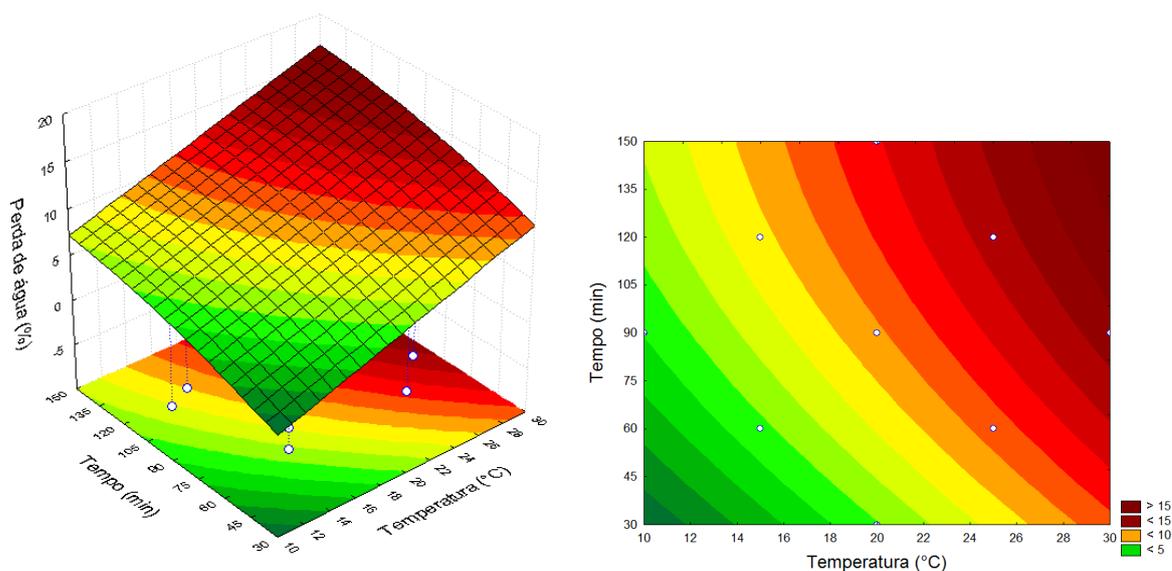


**Figura 4.** Superfície de resposta e curva de nível para perda de água, relacionando concentração de NaCl (%) e tempo (min) para uma temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa.

Observando as Figuras 3 e 4 é possível verificar que valores de perda de água superiores a 10% foram obtidos quando a concentração variou de 22 a 25%, a temperatura variou de 21 a 30°C e o tempo variou de 95 a 150 min. Verifica-se também que o efeito da concentração sobre a resposta PA foi bem mais representativo que o efeito da temperatura e do tempo. 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 a PA.

Quando a concentração da solução salina foi inferior a 16%, houve ganho de água pelo filé do pescado, evidenciando a ocorrência do fenômeno de intumescimento. Esse comportamento é semelhante ao verificado por Zaitzev et al. (1969), em relação a mudança de peso e de volume do pescado durante a salga. Segundo o autor, quando uma solução de salmoura é usada em baixa concentração, após um ganho inicial de NaCl, ocorre a peptização e solubilização das proteínas, seguida da absorção de parte da água pelo pescado, observando-se assim um intumescimento. Vivanco-Pezantes (2006) verificou o mesmo efeito na desidratação osmótica a vácuo de bonito, quando trabalhou com concentração de 10%, em tempos inferiores a 50 min.

A superfície de resposta e a curva de nível da Figura 5 foram geradas a partir das variáveis tempo e temperatura, através do modelo proposto (Equação 14).



**Figura 5.** Superfície de resposta e curva de nível para perda de água, relacionando temperatura (°C) e tempo (min) para uma pressão de 52,7 (kPa) e concentração de 25%.

Verifica-se na Figura 5 que quando foi utilizada salmoura com concentração de 25%, ocorreu um aumento na PA com o aumento do tempo e da temperatura de processo, o qual alcançou valores superiores a 15%, para tempos superiores a 101 min e temperaturas superiores a 27 °C. É importante destacar que nesse nível de concentração, não foi observado o fenômeno do intumescimento, independentemente da temperatura e do tempo de processo.

#### 5.4.2 Ganho de sólidos

Os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e das interações sobre o ganho de sólidos (GS) do filé de mapará, durante a impregnação a vácuo, foram determinados através do erro puro e são apresentados na Tabela 10. Os efeitos em negrito são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 10.** Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo codificado, para ganho de sólidos na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará em solução de NaCl + água.

<b>Fatores</b>	<b>Efeito estimado</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(2)</b>	<b>Significância estatística (p)</b>
<b>Efeitos principais</b>				
<b>Temperatura (L)</b>	<b>1,072</b>	<b>0,227</b>	<b>4,718</b>	<b>0,042</b>
Temperatura (Q)	-0,233	0,241	-0,967	0,436
<b>Tempo (L)</b>	<b>2,108</b>	<b>0,227</b>	<b>9,282</b>	<b>0,011</b>
Tempo (Q)	-0,107	0,241	-0,443	0,701
Pressão (L)	-0,350	0,227	-1,542	0,263
Pressão (Q)	-0,418	0,241	-1,736	0,225
<b>Concentração (L)</b>	<b>4,445</b>	<b>0,227</b>	<b>19,572</b>	<b>0,003</b>
Concentração (Q)	-0,243	0,241	-1,008	0,420
<b>Efeito das interações</b>				
Temper. x Tempo	-0,094	0,278	-0,339	0,767
Temper. x Pressão	0,118	0,278	0,425	0,712
Temper. x Conc.	0,181	0,278	4,244	0,051
Tempo x Pressão	-0,283	0,278	-1,018	0,416
Tempo x Conc.	0,526	0,278	1,874	0,202
Conc. x Pressão	0,489	0,278	1,759	0,221

Na Tabela 10 é possível observar que os efeitos lineares da concentração de NaCl, da temperatura e do tempo de processo apresentaram efeito significativo sobre a resposta GS. Novamente todos os efeitos foram positivos, indicando que um aumento em um dos fatores provocou um aumento no ganho de sólidos.

Assim como foi verificado por Vivanco-Pezantes (2006) na desidratação osmótica por pulso de vácuo de filé de bonito, a aplicação de vácuo não apresentou efeito significativo sobre o GS. Schmidt, Carciofi e Laurindo (2008) observaram na salga de cortes de peito de frango, um aumento no ganho de sal com a aplicação de vácuo, em relação ao processo a pressão atmosférica, quando trabalhou com as concentrações de sal de 15 e 20%. Deve-se ressaltar que estes autores só observaram diferença significativa no ganho de sal entre o processo de impregnação a vácuo e o de impregnação a pressão atmosférica, a partir da 4ª hora de trabalho. No presente estudo o tempo máximo avaliado foi de 2 horas e meia.

Eliminado os fatores com efeitos não significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o teste F, na análise de variância (ANOVA), conforme apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11.** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta ganho de sólidos.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> (p≤0,05)	F <sub>c</sub> /F <sub>t</sub> (>4)	R <sup>2</sup>
Regressão	152,135	3	50,712	48,87	3,03	16,13	0,86
Resíduo	23,867	23	1,038				
Falta de ajuste	23,248	21	1,107	3,58	19,45	0,18	
Erro puro	0,619	2	0,309				
Total	176,002	26					

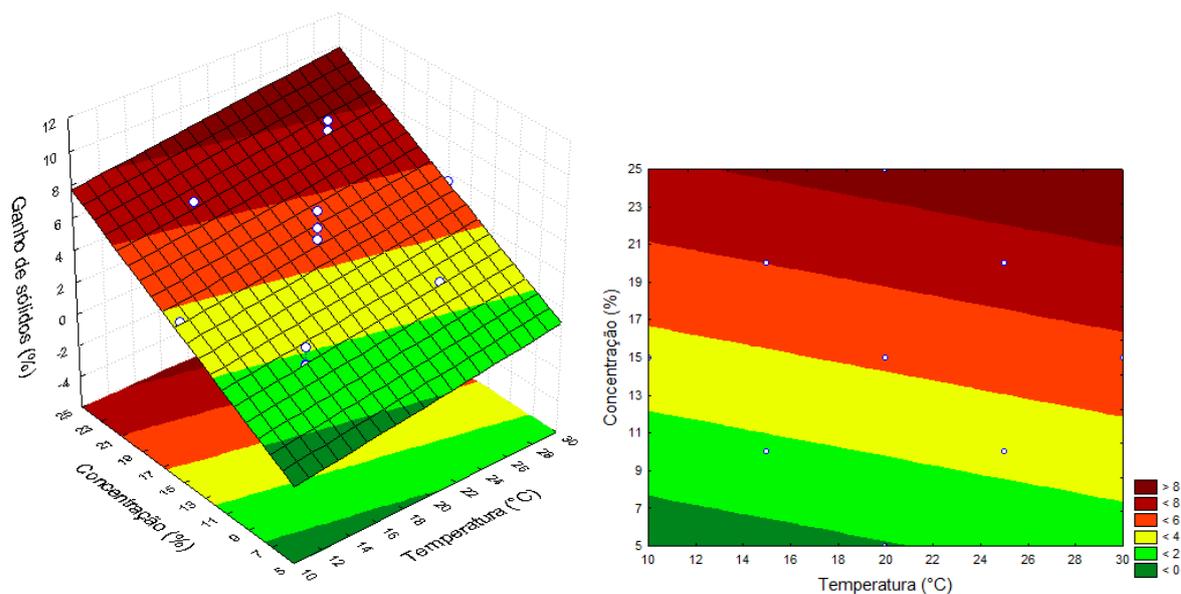
O modelo codificado proposto para representar o ganho de sólidos na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará, em solução aquosa de NaCl é o apresentado na Equação 15.

$$\%GS = -7,6474 + 0,4445C + 0,1072T + 0,0351t \quad (15)$$

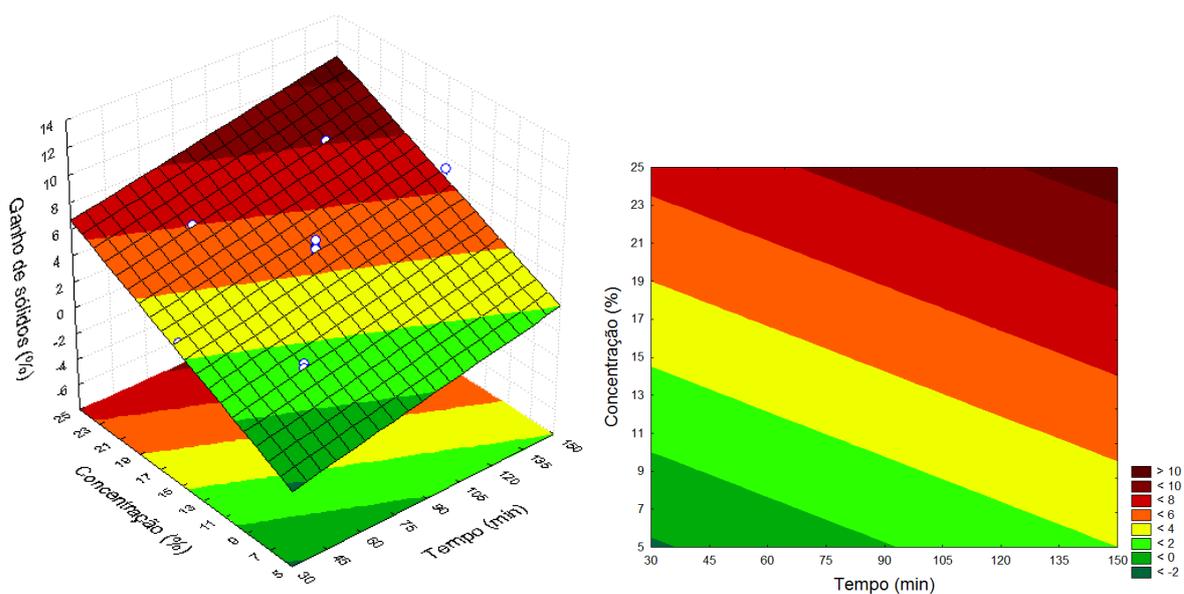
onde: C = concentração de NaCl (%); T = temperatura (°C); t = tempo (min).

O modelo apresentou regressão significativa com 95% de confiança, uma vez que o F calculado para regressão foi 16,13 vezes superior ao F tabelado e a falta de ajuste não foi significativa no mesmo nível de confiança, já que o F calculado da falta de ajuste foi inferior ao F tabelado. Dessa forma esse modelo também pode ser utilizado para fins preditivos. A ANOVA (Tabela 11) apresentou um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,86 indicando que o modelo explicou 86% da variação dos dados observados.

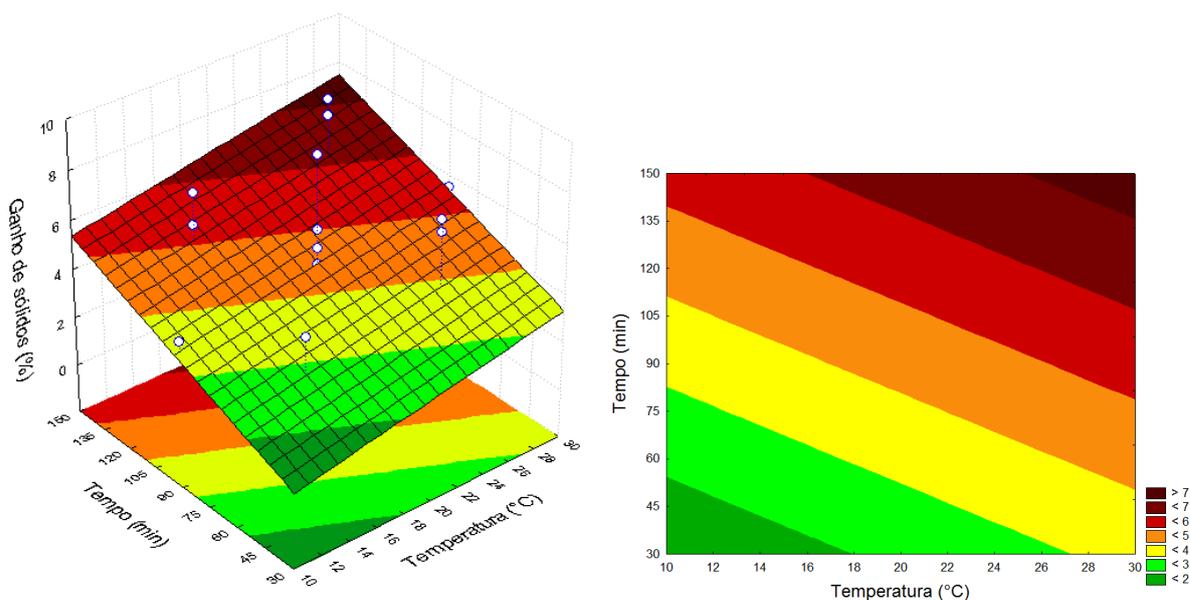
Através do modelo proposto (Equação 15) foram geradas a superfície de resposta e a curva de nível das variáveis concentração e temperatura (Figura 6), concentração e tempo (Figura 7) e tempo e temperatura (Figura 8).



**Figura 6.** Superfície de resposta e curva de nível para ganho de sólidos, relacionando concentração de NaCl (%) e temperatura (°C), para um tempo de 90 minutos e pressão de 52,7 kPa.



**Figura 7.** Superfície de resposta e curva de nível para ganho de sólidos, relacionando concentração de NaCl (%) e tempo (min), para uma temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa.



**Figura 8.** Superfície de resposta e curva de nível para ganho de sólidos, relacionando temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e tempo (min), para uma concentração de 15% e pressão de 52,7 KPa

Analisando as Figuras 6 a 8 é possível constatar que o parâmetro concentração da salmoura foi também o que exerceu maior influência sobre a resposta GS. O GS aumentou à medida que houve o aumento da concentração, do tempo e da temperatura. Vivanco-Pezantes (2006) também verificou dependência do ganho de sólidos em relação a temperatura, a concentração e ao tempo, ao estudar a desidratação osmótica por pulso de vácuo de filés de bonito.

Na Figura 7 é possível observar que o GS alcançou valores superiores a 10% na faixa de concentração de 24 a 25% e de tempo de 130 a 150 min. Os menores valores de GS foram obtidos quando se trabalhou com concentração de 5 a 12%, temperatura de 10 a 23 $^{\circ}\text{C}$  e tempo de 30 a 70 min.

#### 5.4.3 Atividade de água ( $a_w$ )

Os efeitos lineares(L), quadráticos(Q) e das interações das variáveis independentes sobre a variável de resposta atividade de água ( $a_w$ ), assim como os resultados da análise estatística, podem ser observados na Tabela 12. Estes valores foram determinados através do erro puro. Os parâmetros em negrito nessa tabela são significativos, com 95% de confiança.

**Tabela 12.** Efeito estimado, erro puro, coeficiente (t) e significância estatística, para cada fator no modelo codificado, para atividade de água ( $a_w$ ) na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará em solução de NaCl + água.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
<b>Efeitos principais</b>				
<b>Temperatura (L)</b>	<b>-0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>-4,517</b>	<b>0,046</b>
Temperatura (Q)	-0,001	0,001	-1,234	0,342
<b>Tempo (L)</b>	<b>-0,014</b>	<b>0,001</b>	<b>-12,934</b>	<b>0,006</b>
Tempo (Q)	0,001	0,001	1,054	0,402
Pressão (L)	-0,001	0,001	-0,448	0,698
Pressão (Q)	-0,002	0,001	-1,766	0,219
<b>Concentração (L)</b>	<b>-0,041</b>	<b>0,001</b>	<b>-37,263</b>	<b>0,001</b>
Concentração (Q)	-0,001	0,001	-0,625	0,596
<b>Efeito das interações</b>				
Temper. x Tempo	0,003	0,001	2,390	0,139
Temper. x Pressão	0,005	0,001	3,740	0,064
Temper. x Conc.	-0,006	0,001	-4,096	0,054
Tempo x Pressão	0,002	0,001	1,488	0,275
Tempo x Conc.	-0,004	0,001	-2,899	0,101
Conc. x Pressão	0,003	0,001	2,292	0,149

Os fatores temperatura (L), tempo (L) e concentração (L) também apresentaram efeito significativo sobre a resposta  $a_w$  (Tabela 12). Este efeito foi negativo, ou seja, um aumento na temperatura da solução, no tempo de imersão e na concentração da salmoura provocou uma diminuição na  $a_w$ . Ribeiro et al. (2008) realizaram a desidratação osmótica de filés de mapará e também verificaram efeito significativo negativo da concentração, da temperatura e do tempo sobre a  $a_w$ . A concentração de NaCl novamente foi o fator que causou o maior efeito sobre a  $a_w$ , o que também foi observado por Vivanco-Pezantes (2006), na desidratação osmótica a vácuo de filé de bonito.

Eliminado os fatores não significativos, foi realizada a análise de variância (ANOVA) para verificar a significância da regressão e da falta de ajuste a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), através do teste F, conforme apresenta a Tabela 13.

**Tabela 13.** Análise de Variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta atividade de água.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> (p≤0,05)	F <sub>c</sub> /F <sub>t</sub> (>4)	R <sup>2</sup>
Regressão	0,012	3	0,004	84,66	3,03	27,94	0,92
Resíduo	0,001	23	4,58 x 10 <sup>-5</sup>				
Falta de ajuste	0,001	21	4,95 x 10 <sup>-5</sup>	6,71	19,45	0,34	
Erro puro	1 x 10 <sup>-5</sup>	2	7,38 x 10 <sup>-6</sup>				
Total	0,013	26					

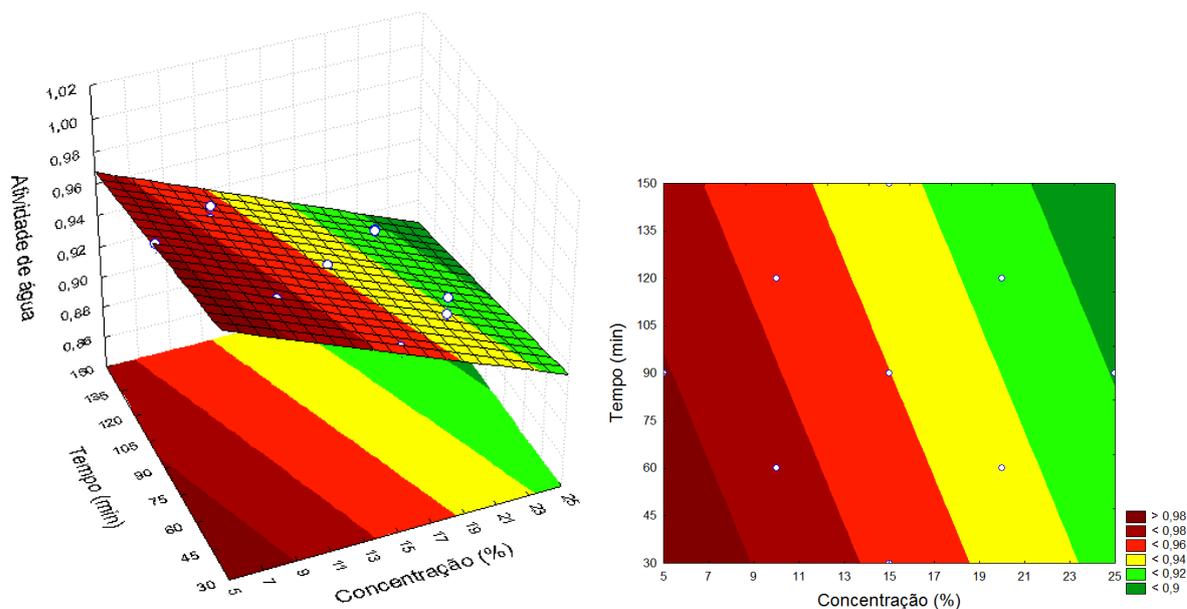
A Equação 16 é o modelo codificado proposto para descrever a  $a_w$  do produto, na desidratação osmótica a vácuo do filé de mapará, em solução de NaCl.

$$a_w = 1,0339 - 0,0002t - 0,0041C - 0,005T \quad (16)$$

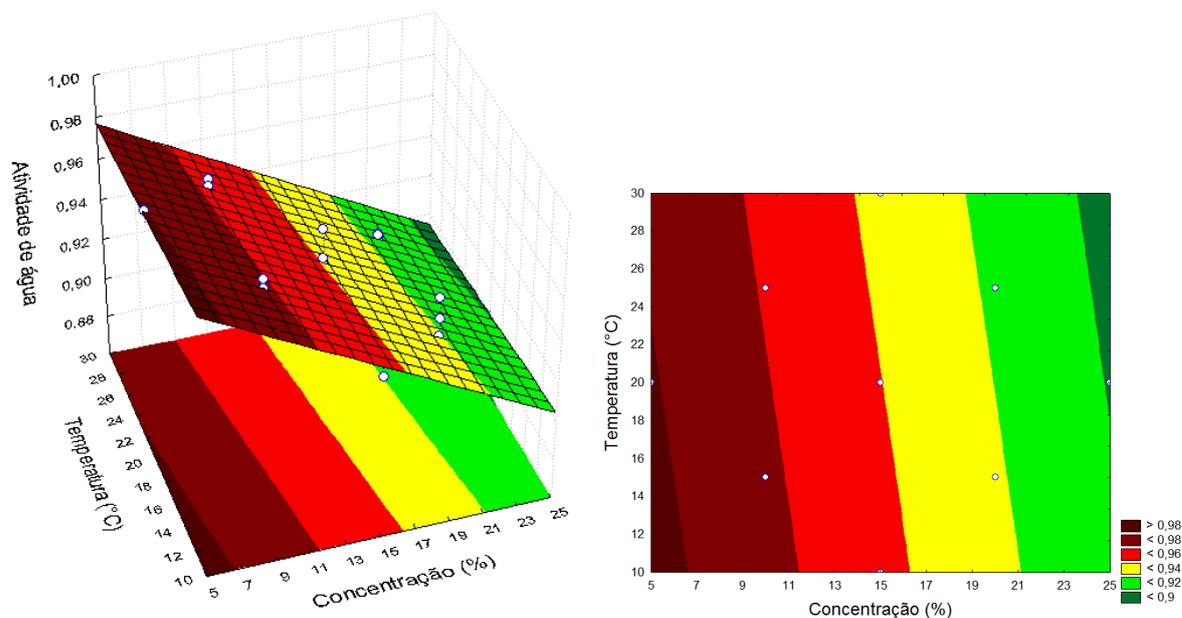
onde: C = concentração de NaCl (%); T = temperatura (°C); t = tempo (min).

Analisando os valores apresentados na Tabela 13 é possível observar que o F calculado para regressão foi 27,94 vezes superior ao F tabelado, enquanto o F calculado para falta de ajuste foi inferior ao F tabelado. Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo apresentou regressão significativa com 95% de confiança, sendo útil também para fins preditivos. O modelo explicou 92% da variação dos dados experimentais.

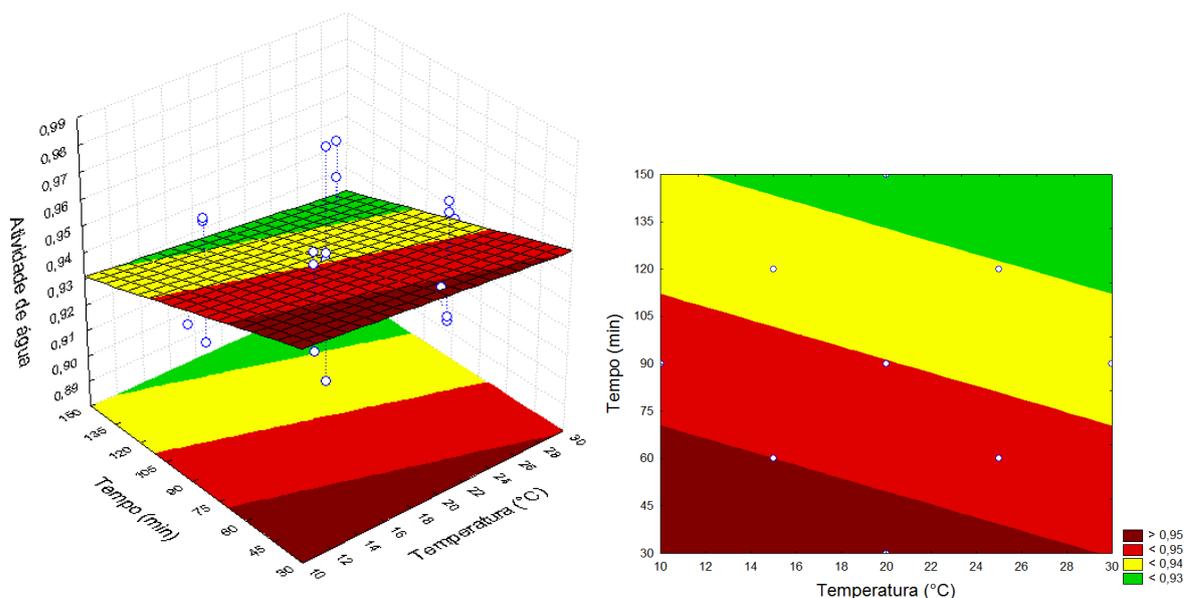
As Figuras 9 a 11 apresentam a superfície de resposta e a curva de nível geradas pelo modelo proposto (Equação 16), onde é possível perceber que a  $a_w$  diminuiu à medida em que ocorreu um aumento do tempo, da temperatura e da concentração da salmoura.



**Figura 9.** Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando concentração de NaCl (%) e tempo (min), para uma temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa.



**Figura 10.** Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando concentração de NaCl (%) e temperatura (°C), para um tempo de 90 minutos e pressão de 52,7 kPa.

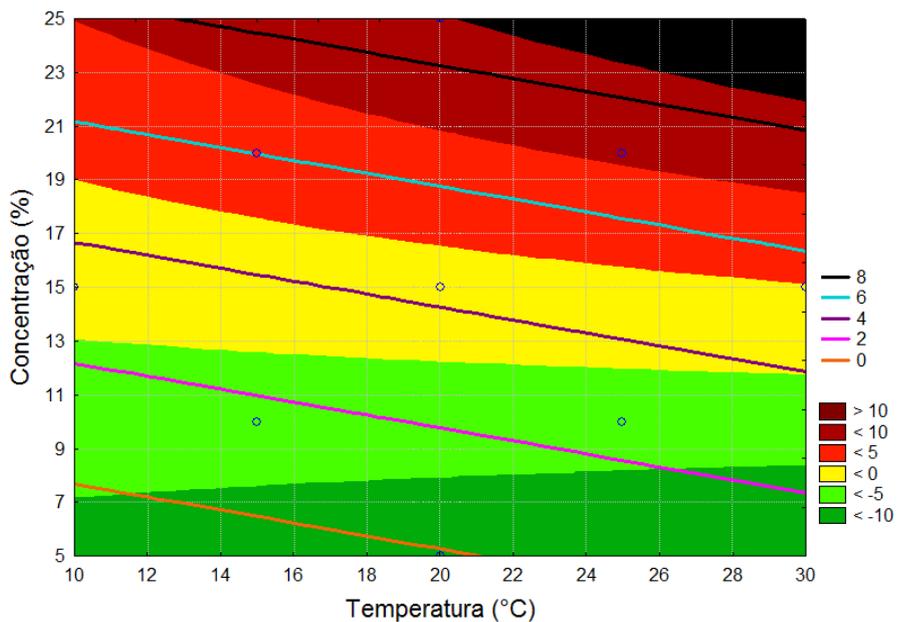


**Figura 11.** Superfície de resposta e curva de nível para atividade de água, relacionando temperatura (°C) e tempo (min), para uma concentração de 15% e pressão de 52,7 kPa.

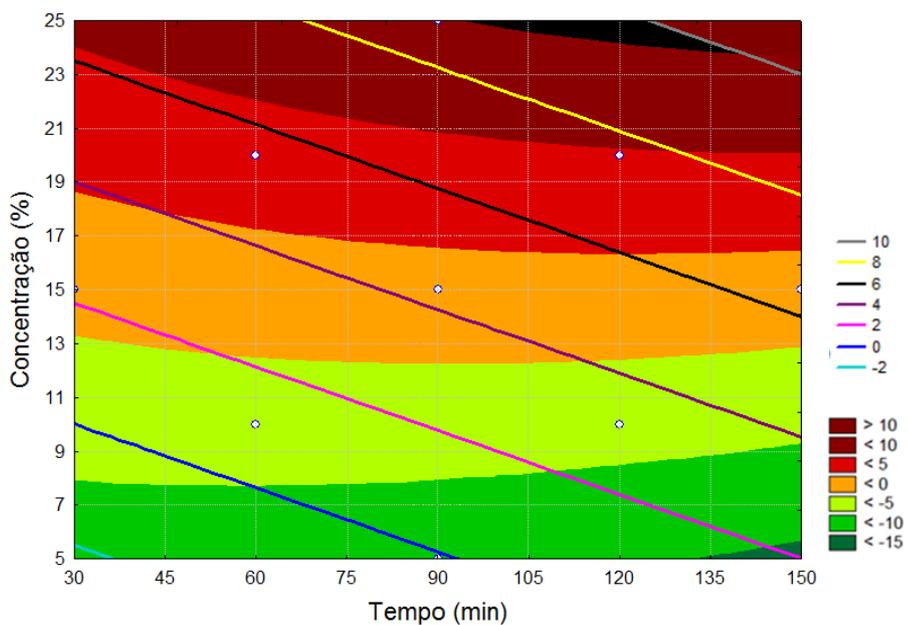
De acordo com as Figuras 9 a 11, os menores valores de  $a_w$  (< 0,9) foram obtidos na faixa de concentração de NaCl de 24 a 25%, de tempo de 135 min a 150 min e de temperatura de 18 a 30°C. A grande maioria das bactérias deterioradoras do peixe salgado é inibida em valores de  $a_w$  próximas a 0,95, sendo que em  $a_w$  igual a 0,92, praticamente todas as bactérias patogênicas são inibidas, com exceção do *Staphylococcus aureus*, que pode se desenvolver em valores de  $a_w$  de até 0,83; porém, para produzir enterotoxina em alimentos necessita-se de níveis de  $a_w$  de 0,93 (JAY, 2005).

#### 5.4.4 Determinação da condição ótima

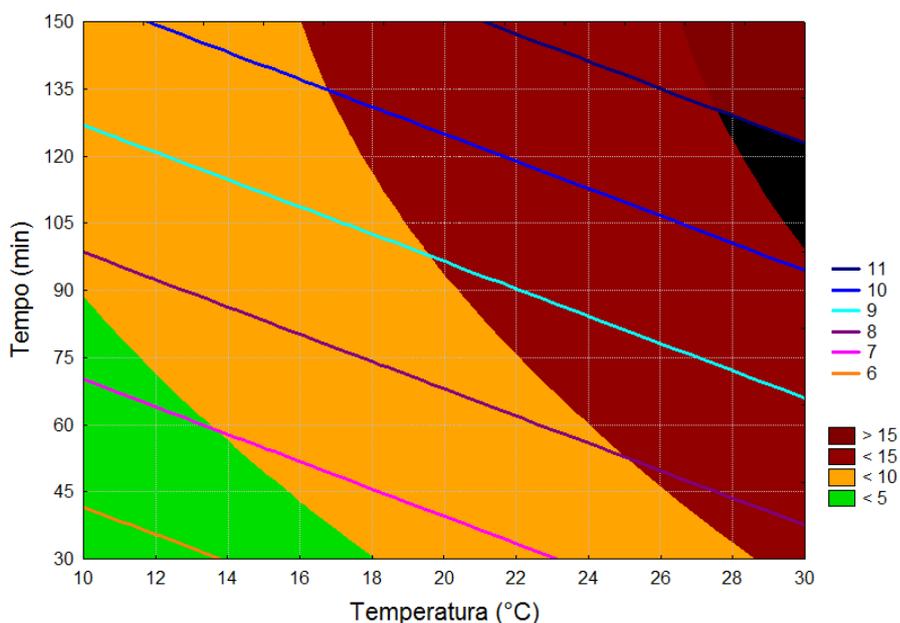
Nas Figuras 12 a 14 o comportamento da perda de água é representado na forma de áreas, enquanto o comportamento do ganho de sólidos está delimitado por linhas, na forma de gráficos sobrepostos. A região destacada em negrito é considerada a condição ótima para os objetivos desse estudo, ou seja, obter um produto com maior PA e menor GS.



**Figura 12.** Sobreposição das curvas de contorno de perda de água e ganho de sólidos no tempo de 90 min e pressão de 52,7 kPa.



**Figura 13.** Sobreposição das curvas de contorno de perda de água e ganho de sólidos na temperatura de 20°C e pressão de 52,7 kPa.



**Figura 14.** Sobreposição das curvas de contorno de perda de água e ganho de sólidos a concentração de 25% e pressão de 52,7 kPa.

A partir das Figuras 12 a 14 foi estabelecido como condição ótima, dentro das condições de trabalho, para o processo de desidratação osmótica do filé de mapará, a concentração de NaCl de 25%, a temperatura de 25°C e o tempo de 120 min, em condições de pressão atmosférica padrão. A concentração da salmoura de 25% foi escolhida, pois o uso da concentração no nível máximo possibilita a diminuição da temperatura e do tempo, dentro da faixa considerada ótima para o estudo. A escolha da temperatura dentro da faixa ótima ocorreu em virtude da possibilidade de se trabalhar com a temperatura ambiente (25°C) e com o objetivo de prevenir o efeito que altas temperaturas podem provocar no pescado, como a oxidação de lipídeos.

Ribeiro et al. (2008) estudando desidratação osmótica de filés de mapará em solução de NaCl, objetivando menor ganho de sólidos, maior perda de umidade e menor oxidação lipídica, determinaram como condição ótima para este processo: temperatura de 46°C, concentração de 22% e tempo de 7 horas.

## 5.5 VALIDAÇÃO DA CONDIÇÃO ÓTIMA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE MAPARÁ

Os resultados obtidos para PA, GS e  $a_w$ , a partir do ensaio realizado nas condições ótimas (concentração de 25%; temperatura de 25°C; tempo de 120 min), são apresentados na Tabela 14. Os desvios relativos entre os valores predito e

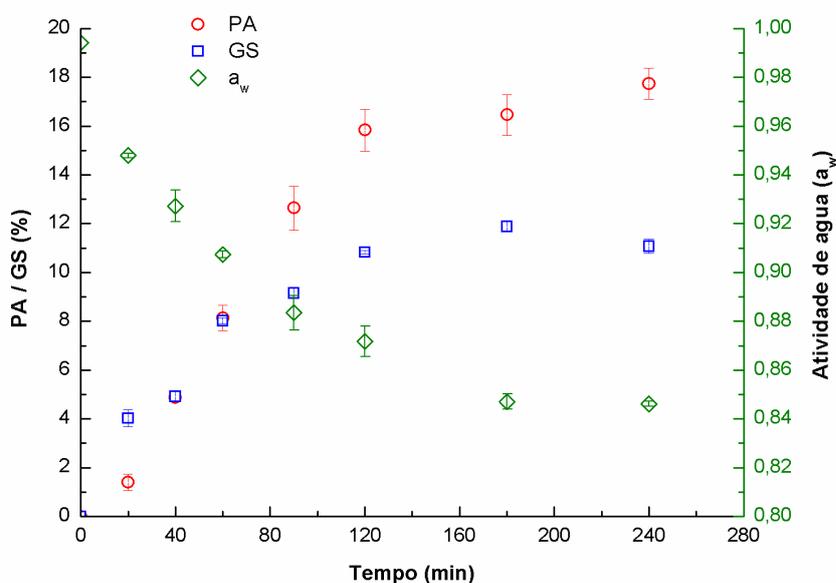
experimental para os parâmetros avaliados foram considerados pequenos (0,67 a 5,57%), garantindo assim a reprodutibilidade da condição experimental. Esses resultados referendam a aplicabilidade dos modelos preditivos para os parâmetros PA, GS e  $a_w$ .

**Tabela 14.** Resultados de perda de água, ganho de sólidos e atividade de água obtidos experimentalmente e através dos modelos de predição para desidratação osmótica de filé de mapará nas condições ótimas.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor experimental</b>	<b>Valor predito</b>	<b>Desvio relativo (%)</b>
Perda de água (%)	15,84	15,73	0,67
Ganho de sólidos (%)	10,83	11,43	5,57
Atividade de água	0,87	0,90	3,45

## 5.6 CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO FILÉ DE MAPARÁ

As cinéticas obtidas na desidratação osmótica do filé de mapará, para os parâmetros PA, GS e  $a_w$ , são apresentadas na Figura 15. Foi acompanhada a variação desses parâmetros em função do tempo de processo a 25°C, em solução salina com 25% de NaCl, e a pressão atmosférica padrão.



**Figura 15.** Cinéticas da perda de água, do ganho de sólidos e da atividade de água do filé de mapará na desidratação osmótica a 25°C, com concentração de NaCl de 25% e a pressão atmosférica padrão.

De acordo com a Figura 15, a PA que aumentou com o tempo, foi de 1,40% em 20 min, 8,14% em 60 min e atingiu 15,84% em 120 min de processo. Nesse intervalo de tempo a PA aumentou linearmente com o tempo, e de forma bem acentuada. Nos próximos 120 min de processo o aumento da PA foi de apenas 1,90%, atingindo 17,74% aos 240 min de processo.

Segundo Rastogi e Raghavarao (1997) 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, provocando altas taxas de perda de água, mas com o avanço do tempo de contato ocorre uma diminuição na taxa de perda de água, devido à diminuição do gradiente de pressão osmótica.

A Figura 15 mostra também que ocorreu um aumento esperado do GS com o tempo de processo, o qual é atribuído a força motriz do sistema, principalmente devido às taxas iniciais de transferência de massa. Até 60 min de processo houve um rápido aumento do GS pelo produto (média de 0,13% por minuto), o qual atingiu 8,02% e se deveu a elevada diferença no gradiente de concentração entre a solução e a fase líquida do produto. Após esse tempo o GS foi bem mais lento (média de 0,03% por minuto) e atingiu 11,88%, em 180 min de processo. A diminuição da velocidade de GS é atribuída à diminuição do gradiente de concentração.

Na difusão de solutos da solução para o alimento, a força motriz é a diferença de concentração (RASTOGI; RAGHAVARAO, 1997). Medina-Vivanco, Sobral e Hubinger (2002) descreveram que no início do processo, a força motriz é maior, devido há uma maior diferença de concentração entre a solução e a amostra. Entretanto essa força diminui enquanto o processo continua, não só devido a um aumento da concentração de NaCl no filé, mas também em consequência da diluição da concentração da salmoura pela migração de água do filé para a solução, até atingir a concentração de equilíbrio.

Schmidt, Carciofi e Laurindo (2008), ao estudarem a cinética de desidratação osmótica de cortes de peito de frango com soluções salinas de 10%, a 5°C, também observaram altas taxas de ganho de sal nas primeiras horas de processo, com posterior diminuição dessas taxas, até atingir a concentração de equilíbrio, quando ocorreu a sua estabilização.

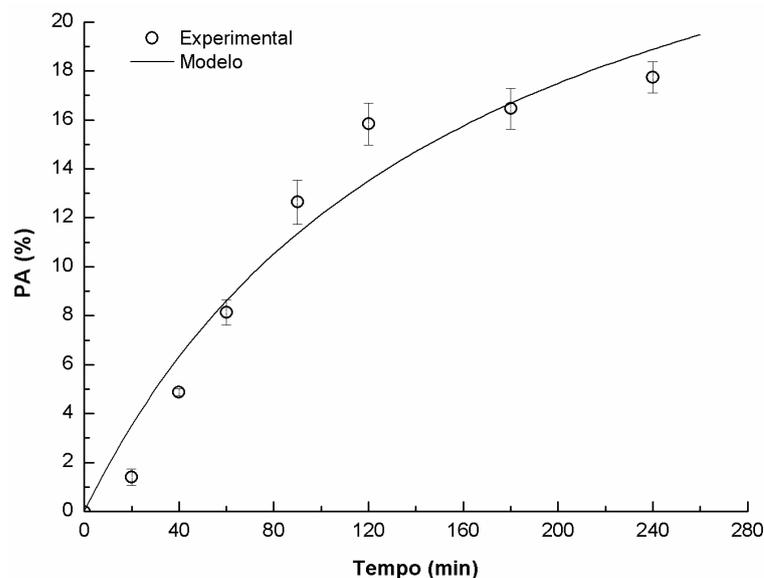
A  $a_w$  do produto sofreu uma grande redução até os 180 min de processo, quando estabilizou em 0,85. Medina-Vivanco, Sobral e Hubinger (2002), estudando a cinética da  $a_w$  durante a desidratação osmótica de filés de tilápia, em solução de NaCl, observaram a mesma tendência. A diminuição da  $a_w$  é devida a perda de água e ao ganho de sólidos do produto, 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 MAPARÁ

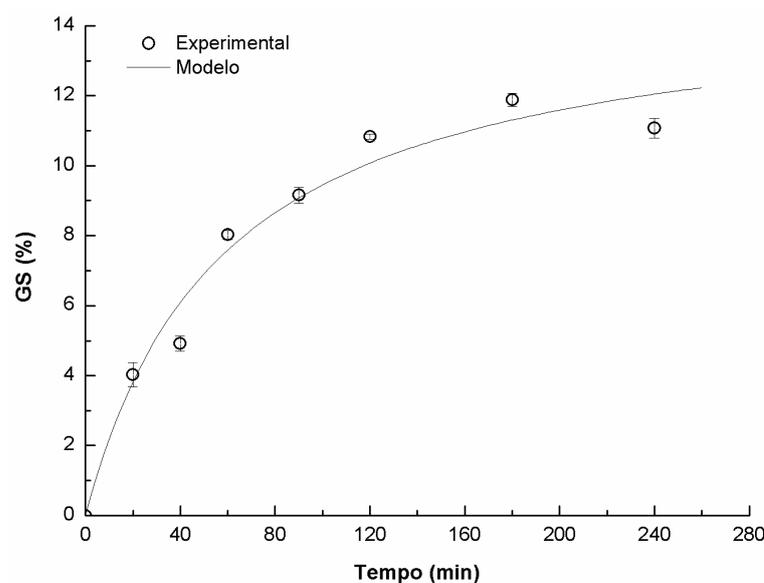
Os valores dos parâmetros  $PA^\infty$ ,  $GS^\infty$  e  $k$ , do modelo proposto por Azuara et al. (1992), e dos parâmetros estatísticos ( $R^2$  e MSE), dos ajustes do modelo aos dados experimentais da cinética de desidratação osmótica, para as propriedades perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), são apresentados na Tabela 15, e as respectivas curvas preditas são apresentadas nas Figuras 16 e 17.

**Tabela 15.** Valores dos parâmetros estimados pelo 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 de filés de mapará.

Perda de água (PA)				Ganho de sólidos (GS)			
$PA^\infty$	K	$R^2$	MSE	$GS^\infty$	k	$R^2$	MSE
31,38	0,006	0,958	1,897	14,97	0,017	0,972	0,431



**Figura 16.** Ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) para cinética de perda de água na desidratação osmótica de filés de mapará.



**Figura 17.** Ajuste do modelo proposto por Azuara et al. (1992) para cinética de ganho de sólidos na desidratação osmótica de filés de mapará.

Os valores do coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,96$ ) e do erro médio quadrático ( $MSE < 1,9$ ) (Tabela 15) indicam que o modelo proposto por Azuara et al. (1992) apresentou um bom ajuste aos dados experimentais. Porém, com base nesses parâmetros é possível afirmar que o modelo se ajustou melhor ao GS, que a PA, o que pode ser constatado nas Figuras 16 e 17.

A partir do valor de  $k$  pode ser avaliada a velocidade com que 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 o ganho de sólidos, em relação à perda de água (Tabela 15), indica que o primeiro processo atingiu o estado de equilíbrio mais rápido que o segundo.

Schmidt, Carciofi e Laurindo (2008), avaliando a cinética de ganho de água e de ganho de sal durante a salga de cortes de peito de frango, com soluções salinas de 10% e a 5°C, verificaram que o ganho de sal atingiu o equilíbrio mais rápido que o ganho de água, ao observarem valores de  $k$  para ganho de água de 0,143 e para ganho de sal de 0,230.

Os parâmetros  $PA^\infty$  e  $GS^\infty$  indicam a PA e o GS no estado de equilíbrio. Os valores 31,38 e 14,97 para  $PA^\infty$  e  $GS^\infty$ , respectivamente, mostraram que tempos de processo superiores a 240 min contribuem para uma maior remoção de água do filé de peixe com uma pequena incorporação de sólidos. Schmidt, Carciofi e Laurindo (2008) determinaram ganho de água no equilíbrio ( $GA^\infty$ ) de 9,881 e ganho de sal no equilíbrio ( $GS^\infty$ ) de 8,818 na salga de cortes de peito de frango, com soluções salinas de 10% e a 5°C.

## 5.8 CARACTERIZAÇÃO DO MAPARÁ DESIDRATADO OSMOTICAMENTE

### ***Caracterização físico-química***

A caracterização físico-química do filé de mapará desidratado osmoticamente na condição ótima de processo (solução salina com 25% de NaCl, temperatura de 25°C e 120 min de processo) é apresentada na Tabela 16.

**Tabela 16.** Caracterização físico-química do filé de mapará desidratado osmoticamente na condição ótima.

<b>Propriedade</b>	<b>Valor</b>
Umidade (%)	62,06 ± 0,68
Proteínas (%)	17,00 ± 0,24
Lipídeos (%)	6,37 ± 0,38
Cinzas (%)	12,80 ± 0,44
Cloretos (%NaCl)	12,21 ± 0,05
$a_w$	0,87 ± 0,02
TBA (mg malonaldeído/kg)	0,66 ± 0,02

Comparando os valores das Tabelas 5 e 16 é possível observar que houve a redução da umidade do filé de mapará, devido a perda de água durante o processo de desidratação osmótica. Porém, o nível de umidade atingido não permite classificar o produto como pescado salgado, pois o padrão de identidade e qualidade para esse tipo de produto (BRASIL, 2000), permite um máximo de 50% de umidade para peixe salgado gordo, como é o caso do mapará. Dessa forma, é indicado que após a desidratação osmótica o filé de mapará seja submetido a um processo complementar, como a secagem, para que possa atingir o nível de umidade desejado.

O padrão de identidade e qualidade para o peixe salgado (BRASIL, 2000) recomenda o mínimo de 10% de NaCl no produto. Dessa forma a concentração final de NaCl no filé de mapará atendeu a legislação. Foi observado um aumento no teor de cinzas, o qual está relacionado com a inserção do NaCl no produto. O aumento observado nos teores de lipídeos e de proteínas do produto, em relação ao filé *in natura*, são atribuídos a uma maior perda de água em relação ao ganho de sólidos, pelo produto desidratado.

A redução da  $a_w$  do filé de mapará, de 0,99 para 0,87, é atribuída à perda de água e ao ganho de sólidos do produto, durante o processo de desidratação osmótica. Por outro lado o valor de TBA do produto sofreu um aumento, de 0,18 para 0,66 mg malonaldeído/kg, o qual é atribuído à ação do sal (NaCl), que acelera o processo de oxidação lipídica, favorecendo a formação do malonaldeído (GONÇALVES, 2011).

### Cor instrumental

Os parâmetros da cor instrumental avaliados no filé de mapará, após a desidratação osmótica na condição ótima (solução salina com 25% de NaCl, temperatura de 25°C e 120 minutos de processo) são apresentados na Tabela 17, juntamente como a diferença total de cor entre o filé *in natura* e desidratado osmoticamente.

**Tabela 17.** 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 mapará desidratado osmoticamente.

Parâmetro	Valor
$L^*$	44,79 ± 1,24
$a^*$	-0,82 ± 0,13
$b^*$	4,97 ± 0,57
$C^*$	5,06 ± 0,57
$h^\circ$	100,51 ± 1,73
$\Delta E$	9,48 ± 0,10

O padrão de cor do mapará desidratado osmoticamente apresentou, em relação ao produto *in natura*, diferença estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) para os parâmetros  $L^*$  (luminosidade) e  $h^\circ$  (ângulo de tonalidade). Houve uma diminuição do valor de  $L^*$ , indicando que amostra perdeu luminosidade durante o processo. Como  $L^*$  varia de branco (máximo) a preto (mínimo) pode-se afirmar que o mapará escureceu após o processo de desidratação osmótica. Ribeiro (2008) relatou que amostras de mapará desidratadas em solução de NaCl e secas a 50 e 60°C, não apresentaram diferença significativa com a matéria-prima, em relação a  $L^*$ . Para o valor de  $h^\circ$  foi observado um aumento de 96,49° para 100,51°, após a desidratação osmótica, porém os dois produtos apresentaram um valor de  $h^\circ$  próximo a 90°, indicando tendência ao amarelo.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas para os parâmetros  $a^*$  (intensidade do vermelho),  $b^*$  (intensidade do amarelo) e  $C^*$  (croma) ( $p \leq 0,05$ ). A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) entre o filé *in natura* e desidratado osmoticamente (9,48) é atribuída principalmente a diferença da luminosidade. Costa (2013) determinou, após secagem de filés de mapará em diferentes condições de temperatura, diferença total de cor ( $\Delta E$ ) de 4,18 a 7,77.

## 6 CONCLUSÃO

O filé de mapará utilizado apresentou padrão microbiológico dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, uma elevada umidade (76,90%), alto teor de proteínas (15,57%), e foi classificado como pescado gordo (5,38% de lipídeos).

As condições de processo: temperatura, tempo e concentração da solução de NaCl apresentaram efeito significativo sobre a perda de água (PA), o ganho de sólidos (GS) e atividade de água ( $a_w$ ) do filé de mapará, porém o efeito da variável pressão não foi significativo.

Os modelos obtidos para PA, GS e  $a_w$  apresentaram regressão significativa a 95% de confiança e falta de ajuste não significativa, podendo ser utilizados para fins preditivos.

Concentração da salmoura de 25% de NaCl, temperatura de 25°C e tempo de 120 min foram as condições ótimas definidas para o processo de desidratação osmótica do filé de mapará.

O modelo proposto por Azuara predisse com boa precisão a cinética de desidratação osmótica do filé de mapará, tanto para PA e quanto para GS, sendo mais eficiente para o segundo.

O filé de mapará desidratado osmoticamente, na condição ótima, atendeu a legislação brasileira para pescado salgado, quanto ao teor de NaCl, mas não atingiu o nível máximo de umidade recomendado, o que sugere a necessidade da aplicação de uma etapa complementar, como a secagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 2, p. 425–434, 2001.
- AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO Jr., H. F.; PETRERE Jr., M. Itaipu reservoir (Brazil): impacts of the impoundment on the fish fauna and fisheries. In: COWX, I. G. (ed.). **Rehabilitation of Freshwater Fisheries**. Oxford: Fishing News Books, p. 171-184. 1994.
- ALCÂNTARA-NETO, C. P. **Ecologia da pesca dos maparás, *Hypophthalmus* spp. (Siluriformes, Hypophthalmidae), no lago Grande de Monte Alegre, Baixo Amazonas, Pará**. 1994. 141 p. Dissertação - Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 1994.
- AL-KAHTANI, H. A.; ABU-TARBOUSH, H. M.; BAJABER, A. S. et al. Chemical changes after irradiation and post-irradiation storage in tilapia and Spanish mackerel. **Journal of Food Science**, Malden, v.61., n. 4, p. 729-733, 1996.
- ALVES, D. G.; BARBOSA JR, J. L.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.). **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 68, n. 1, p. 99-103, 2005.
- 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**, Campinas, v.28, n. 4, p. 830-839, 2008.
- ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M. S.; LEUNDA, A.; GUERRERO, S. N.; ROJAS, A. M.; GERSCHENSON, L. N.; PARADA-ARIAS, E. Minimal preservation of fruits: A cited project. In: LOZANO, J. E.; ANON, C.; PARADA-ARIAS, E.; BARBOSA-CANOVAS G. V. (Eds.). **Trends in food engineering**. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, 2000. p. 205–225.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 16.ed. 3.rev., Washington, 1997. 1141p.
- ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; RUFFINO, M. L. Migratory fishes of the Brazilian Amazon. In: CAROLSFELD, J.; HARVEY, B.; ROSS, C.; BAER, A. (Eds.) **Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status**. Canadá: The World Bank, 2003. p.233–291.
- 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.
- BANDARRA, N. M.; BATISTA, I.; NUNES, M. L.; EMPIS, J. M. Seasonal variation in the chemical composition of horse-mackerel (*Trachurus trachurus*). **European Food Research Technology**, Berlim, v. 212, n. 5, p. 535-539, 2001.
- BARAT, J. M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. **Food Science and Technology International**, Thousand Oaks, v. 7, n. 5, p. 451–456, 2001.

BARAT, J. M.; RODRÍGUEZ-BARONA, S.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Influence of increasing brine concentration in the cod salting process. **Journal of Food Science**, Malden, v. 65, n. 7, p. 1922–1925, 2002.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2001. 401p.

BAYIR, A.; HALILOGLU, H. I.; SIRCIOGLU, A. N.; ARAS, N. M. Fatty acid composition in some selected marine fish species living in Turkish waters. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 86, n. 1, p. 163-168, 2006.

BIRKELAND, S.; SIVERTSVIK, M.; NIELSEN, H. H.; SKÄRA, T. Effects of brining conditions on weight gain in herring (*Clupea harengus*) fillets. **Journal of Food Science**, Malden, v. 70, n. 7, p. 418–424, 2005.

BOHUON, P.; COLLIGNAN, A.; RIOS, G. M.; RAOULT-WACK, A. L. Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 37, n. 4, p. 451-469, 1998.

BORIN, I.; FRASCARELI, E. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M.; Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n.1, p 43-45, 2008.

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.

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, 1981, v. 2, cap. 11.

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, 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, 2001. Seção 1, p.45.

BRASIL. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria 52 de 29 de dezembro de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe salgado e peixe salgado seco. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 04 de janeiro de 2001. Seção 1, p. 65.

BRASIL. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura – Brasil 2011**. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura, 2013.

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.

- COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNE, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 49, n. 2-3, p.153-162, 2001.
- COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L. Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. **LWT - Food Science and Technology**, Londres, v. 27, n. 3, p. 259-264. 1994.
- CORDEIRO, R. P. **Estudo das operações combinadas: impregnação a vácuo e por ultrassom em files de mapará (*Hypophthalmus marginatus*)**. 2012. 87 p. Dissertação – Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- CORZO, O.; BRACHO, N. Water effective diffusion coefficient of sardine sheets during osmotic dehydration at different brine concentrations and temperatures. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 80, n. 2, p. 497-502, 2007.
- COSTA, C. V. P. das N. **Secagem em camada delgada do mapará (*Hypophthalmus edentatus*) em condições isotérmicas e temperatura variável**. 2013. 62 p. Dissertação – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- COSTA, T. V. da; OSHIRO, L. M. Y.; SILVA, E. M. C. O potencial do mapará *hypophthalmus* spp. (osteichthyes, siluriformes) como uma espécie alternativa para a piscicultura na Amazônia. **Boletim Instituto Pesca**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 165–174, 2010.
- DOWNES, F.P; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological. Examinations of Foods**. 4th. ed. Washington (DC): APHA. 2001.
- ESCRICHE, I.; GARCIA-PINCHI, R.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Osmotic dehydration of kiwifruit (*Actinidia chinensis*): fluxes and mass transfer kinetics. **Journal of Food Process Engineering**, Malden, v. 23, n. 3, p. 191-205, 2000.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 22, n. 1, p. 188-193, 2006.
- FITO, P. Modeling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, Londres, v.22, n. 1-4, p. 313-328, 1994.
- FITO, P.; ANDRES, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation – relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food – liquid systems. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 27, p. 229-240, 1996.
- FITO, P.; CHIRALT, A. Vacuum impregnation of plant tissues. In: ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M. S.; LOPEZ-MALO, A. (Eds.) **Minimally processed fruits and vegetables: Fundamental aspects and applications**. Gaithersburg: Aspen Publication, 2000. p. 189–204.
- FITO, P.; CHIRALT, A.; BETORET, N.; GRAS, M.; CHÁFER, M.; MARTÍNÉS-MONZO, J.; ANDRÉS, A.; VIDAL, D. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. **Journal of Food Engineering**, Londres, v.49, p.175-183, 2001.
- 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.

GEROMEL, E. J.; FORSTER, R. J. **Princípios fundamentais em tecnologia de pescados**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia e Coordenadoria da indústria e comércio, 1982.

GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2011. 608 p.

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.

GUINAZI, M.; MOREIRA, A. P. B.; SALARO, A. L.; CASTRO, F. A F. de; DADALTO, D.; ANA, H. M. P. S. Composição química de peixes de água doce frescos e estocados sob congelamento. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 119-124, 2006.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Estatística da Pesca 2007**. Brasil. Grandes regiões e unidades da federação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

ITO, A. P.; CAVENAGHI, M.; BERTOLDO, C.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, supl., p. 54-63, 2007.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 712 p.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B. Effect of osmotic dehydration on color and softening characteristics of apple and banana. **Drying Technology**, New York, v. 18, n. 4, p. 937–950, 2000.

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

LEWICKI, P. P.; LENART, A. Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Handbook of industrial drying**. 3 ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2007. p. 665-687.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; NETO, M. A. S.; SOUZA, A. C. R. Estudo das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de melão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p 282-286. 2004.

LUZIA, L. A.; SAMPAIO, G. R.; CASTELLUCCI, C. M. N.; TORRES, E. A. F. S. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. **Food Chemistry**, Barking, v. 83, n. 1, p. 93-97, 2003.

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

MAIA, E. L.; OGAWA, M. Cor. In: **Manual de pesca (Ciência e tecnologia do pescado)**. OGAWA, M.; MAIA, E. L. (Ed.) São paulo: Livraria Varela, 1999, cap. 5, p.75-85.

MAROUZÉ, C.; GIROX, F.; COLLIGNAN, A.; RIVIER, M. Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, Londres, v.49, p. 207-221, 2001.

- MARTINS, M. C. P.; CUNHA, T. L.; SILVA, M. R. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, suppl., p. 158-165, 2008.
- MEDINA-VIVANCO, M. L.; SOBRAL, P. A.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in small volumes of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 86, n.1-2, 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.
- MONNERAT, S. M.; PIZZI, T. R. M.; MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: Concentration profiles and effective diffusion coefficients. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 100, n. 4, p. 604-612, 2010.
- MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LOPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI-CHANGES, J. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 56, p. 307-314, 2002.
- OCCHINO, E.; HERNANDO, I.; LLORCA, E.; NERI, L.; PITTIA, P. Effect of vacuum impregnation treatments to improve quality and texture of zucchini (*Cucurbita pepo*, L). **Procedia Food Science**, Amsterdam, v. 1, p. 829-835, 2011.
- OLIVEIRA, E. R. N. de; AGOSTINHO, A. A.; MATSUSHITA, M. Effect of biological variables and capture period on the proximate composition and fatty acid composition of the dorsal muscle tissue of *Hypophthalmus edentatus* (Spix, 1829). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 46, n. 1, p. 105-114, 2003.
- 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.
- PANADÉS, G.; FITO, P.; AGUIAR, Y.; VILLAVICENCIO, M. N. de; ACOSTA, V. Osmotic dehydration of guava: Influence of operating parameters on process kinetics. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 72, n. 4, p. 383-389, 2006.
- PANERAS, E. D; BLOUKAS, J. G.; FILIS, D. G. Production of low-fat frankfurters with vegetable oils following the dietary guidelines for fatty acids. **Journal of Muscle Foods**, Hoboken, v. 9, n. 2, p. 111-126, 1998.
- PIGOTT, G.; TUCKER, B. **Sea effects of technology on nutrition**, 1st edit., New York, USA: Edit. Marcel Dekker, INC, 1990.
- RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of food. **Trends in Food Science Technology**, Cambridge, v.5, n. 8, p. 225-260, 1994.
- RASTOGGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 34, n. 4, p. 429-440, 1997.
- RASTOGGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v.13, n. 2, p.48-59, 2002.

- 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. da 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.
- RODRIGUES, A. C. C.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 59, n. 2-3, p. 129-135, 2003.
- SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A.; ROSA, M. D. Sucrose-salt combined effects in mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 49, n. 2-3, p. 163-173, 2001.
- SANKAR, T. V.; RAMACHANDRAN, A. Thermal stability of myofibrillar protein from Indian major carps. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 85, n. 6, p. 563-568, 2005.
- SANTOS, G. M.; FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S. **Peixes Comerciais de Manaus**. Manaus: IBAMA/ProVárzea, 2006. 144p.
- 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.
- SERENO, A. M.; HUBINGER, M. D.; COMESAÑA, J. F.; CORREA, A. Prediction of Water Activity of Osmotic Solutions. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 49, n. 2-3, p. 103-114, 2001.
- SERENO, A. M.; MOREIRA, D.; MARTINEZ, E. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple single and combined aqueous solution of sugar and salts. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 47, n. 1, p. 43-49, 2001.
- 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.
- SOUZA, M. L. R. de; MARANHÃO, T. C. F. Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 897-901, 2001.
- SOUZA, J. S.; MEDEIROS, M. F. D.; MAGALHÃES, M. M. A.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 83, n. 4, p. 501-509, 2007.
- STATSOFT. **Statistica for windows**. Tulsa, USA, 1997.
- STEVANATO, F. B.; SOUZA, N. E.; MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J. V. Aproveitamento de resíduos, valor nutricional e avaliação da degradação de pescado. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 1, n. 7, p. 1-6, 2007.

TELES, U. M.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; LIMA, A. S.; MAIS, G. A.; FIGUEIREDO, R. W. Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 41, n. 6, p. 674-680, 2006.

TONON, R. V.; BARONI, M. H.; 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**, Londres, v.82, n.4. p.509-517, 2007.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. **Food Research International**, Essex, v. 26, n. 1, p 59-68. 1993.

UDDIN, M. B.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 65, n. 4, p. 473-477, 2004.

VIVANCO-PEZANTES, D. **Estudo das operações combinadas da desidratação osmótica a vácuo, defumação líquida e secagem em filés de bonito (*Sarda sarda*)**. 2006. 251 p. Tese - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

VYNCKE, W. Direct determination of the TBA value in trichloroacetic acid extract of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, Malden, 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.

YUNES, J. F. F.; CAVALHEIRO, C. P.; MILANI, L. I. G.; SCHEEREN, M. B.; BLAZQUES, F. J. H.; BALLUS, C. A.; FRIES, L. L. M.; TERRA, N. N. Efeito da substituição da gordura suína nas características de qualidade, estabilidade oxidativa e microestrutura de mortadela. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1205-126, 2013.

ZAITZEV, V.; KIZEVETTER, I.; LAGUNOV, L.; MAKAROVA, T.; MINDER, L.; PODSEVALOV, V. **Fish curing and processing**. MIR Publishers, Moscow, 1969.

ZHAO, Y.; XIE, J. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 15, n. 9, p. 434-451, 2004.

ZLATANOS, S.; LASKARIDIS, K. Seasonal variation in the fatty acid composition of three Mediterranean fish – sardine (*Sardina pilchardus*), anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and picarel (*Spicara smaris*). **Food chemistry**, Barking, v. 103, n. 3, p. 725-728, 2007.