



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

**CLAUDIA VELUMA PIANI DAS NEVES COSTA**

**SECAGEM EM CAMADA DELGADA DO MAPARÁ  
(*Hypophthalmus edentatus*) EM CONDIÇÕES ISOTÉRMICAS E  
TEMPERATURA VARIÁVEL**

**BELÉM**

**2013**



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

**CLAUDIA VELUMA PIANI DAS NEVES COSTA**

**SECAGEM EM CAMADA DELGADA DO MAPARÁ  
(Hypophthalmus edentatus) EM CONDIÇÕES ISOTÉRMICAS E  
TEMPERATURA VARIÁVEL**

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

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

**BELÉM**

**2013**

**CLAUDIA VELUMA PIANI DAS NEVES COSTA**

**SECAGEM EM CAMADA DELGADA DO MAPARÁ (*Hypophthamus edentatus*) EM CONDIÇÕES ISOTÉRMICAS E TEMPERATURA VARIÁVEL**

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 – Membro)

---

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

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico este mestrado primeiramente à Deus, aos meus Pais Maria do Carmo Piani das Neves e Claudio Lima da Costa e à minha irmã Carolina Piani por todo amor e incentivo dado durante essa jornada. Assim como ao Joel Albuquerque pelo amor e companheirismo. Ao Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena pelo aprendizado que obtive para conseguir este título. À minha família, amigos e a todos os professores. A vitória desta conquista dedico com todo meu amor unicamente a vocês.**

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço à Deus pelo dom da vida.*

*A minha Mãe pelo apoio incondicional, moral e por todo o amor dado para a concretização desse título.*

*Ao meu Pai por sempre acreditar na minha capacidade.*

*À minha irmã Carolina Piani pelo incentivo e pela presença sempre constante em minha vida.*

*Ao meu namorado Joel Albuquerque pela importante ajuda, paciência e incentivo durante essa jornada.*

*Ao Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena pela orientação, competência e disposição. A você toda a minha admiração e respeito.*

*Aos Professores Doutores: Suezilde Amaral Ribeiro e Antônio Manoel Rodrigues, pela participação em minha Banca de mestrado.*

*A todos os demais professores do PPGCTA pela competência e disposição em compartilhar suas experiências.*

*Aos amigos (a) Fabiane, Allena, Thais, Mayara, Flavia, Brenda, Priscila, Francylla, Juliana, Renan Maciel, Bruno, Diego, Joyce, Giselle e Silvana pela oportunidade da convivência no LAFAMI/LAPESCA, toda ajuda dada, e grandes amizades construídas, a todos vocês o meu muito obrigada.*

*A Rebeca e a Carol do LAMEFI pela amizade e por todo o apoio dado durante a realização de algumas análises.*

*Ao LAMEFI pela realização das minhas análises.*

*Ao LAFAMI, laboratório o qual eu fazia parte e por muitas coisas boas que construí por lá, em especial grandes amizades, com as quais posso contar sempre e o aprendizado.*

*A Profa. Dra. Alessandra Lopes pela coordenação do PPGCTA, por sua competência, simpatia e gentileza.*

*Ao Sr. Mário Carneiro, técnico do Laboratório de ensino, pelo auxílio e pela presteza.*

*Agradeço, também, à CAPES pelo apoio financeiro.*

*E, por fim, a todos aqueles que por um lapso não mencionei, mas que colaboraram para esta pesquisa: abraços fraternos a todos!*

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o processo de secagem em camada delgada do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*), em condições isotérmicas e com temperatura variável (45 a 75°C). Isotermas de adsorção e dessorção de umidade foram construídas para avaliar o comportamento higroscópico do produto, e oito modelos matemáticos foram ajustados aos dados de sorção. Filés de mapará com dimensões de 3 x 5 x 1 cm foram secos em secador de leito fixo, com velocidade do ar de secagem de 1,5 m/s. Foram realizados ensaios em condições isotérmicas a 45, 55, 65 e 75°C, e com temperatura variável, ascendente e descendente. Foram avaliados os ajustes de dez modelos matemáticos aos dados de secagem. O filé de mapará apresentou 73,11% de umidade e como constituintes majoritários, lipídios (12,33%) e proteínas (14,18%). As isotermas de sorção do peixe apresentaram comportamento do tipo II, e a avaliação higroscópica indicou que a estabilidade microbiológica do produto está garantida em umidades inferiores a 7,0 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s. Os modelos de Halsey, Oswin, GAB foram os mais eficientes na predição das isotermas de sorção do produto. Os processos de secagem, em todas as condições estudadas (isotérmica e com temperatura variável), apresentaram elevados valores de difusividade efetiva ( $1,32 \times 10^{-10}$  a  $1,68 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s), porém em nenhuma das condições de secagem o produto atingiu umidade que assegurasse a sua estabilidade microbiológica, indicando ser necessário o emprego de um processo combinado, como a desidratação osmótica. Os modelos de Page, Page modificado, Aproximação da difusão, Midilli e Dois termos mostraram-se altamente eficientes na predição das curvas de secagem do filé de mapará, em todas as condições estudadas. Os ácidos graxos, palmítico (34,54-44,05%), oléico (11,15-20,35%), esteárico (6,91-12,40%), palmitoléico (5,21-10,06%) e mirístico (4,59-8,98) foram os principais constituintes da fração lipídica do file de mapará, tanto *in natura* quanto desidratado. A secagem com ar, em leito fixo e camada delgada degradou mais de 50% dos ácidos graxos essenciais ( $\omega$ -3 e  $\omega$ -6) do filé de mapará (15,89%), e a temperatura favoreceu essa degradação.

**Palavras-chave:** *Hypophthalmus edentatus*, leito fixo, modelagem, ácidos graxos, higroscopicidade.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the process of thin layer drying of mapará fillet (*Hypophthalmus edentatus*), under isothermal conditions and variable temperature (from 45 to 75°C). Moisture adsorption and desorption isotherms were constructed to evaluate the hygroscopic behavior of the product and eight mathematical models were fitted to the sorption data. Mapará fillets with dimensions of 3 x 5 x 1 cm were dried using a fixed bed dryer adjusted at 1.5 m/s drying air velocity. The assays were performed under isothermal conditions at 45, 55, 65 and 75°C and with variable temperature, up and down. Were evaluated ten mathematical models adjustments to the drying data obtained. The mapará fillet presented 73.11% moisture and as major constituents lipids (12.33%) and protein (14.18%). The sorption isotherm behavior was type II, and the hygroscopic evaluation indicates that the microbiological stability of the product is guaranteed for moistures less than 7.0 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s. The Halsey, Oswin and GAB models were the most efficient to predict the sorption isotherms of the product. The drying processes, in all studied conditions (isothermal and variable-temperature), showed high values of the effective diffusion ( $1.32 \times 10^{-10}$  to  $1.68 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s), but none of the drying conditions reached the moisture value that would ensure the microbiological stability product, indicating need the use of a combined process such as osmotic dehydration. The Page, Page modified, Approximation of diffusion, Midili and Two terms were highly efficient to predicting the drying curves of the mapará fillet in all conditions studied. Fatty acids, palmitic (34.54 to 44.05%), oleic acid (11.15 to 20.35%), stearic (6.91 to 12.40%), palmitoleic (5.21 to 10.06%) and myristic (4.59 to 8.98) were the major lipid constitution of the mapará fillet (raw and dried). Thin layer drying in fixed bed degraded more than 50% of essential fatty acids ( $\omega$ -3 and  $\omega$ -6) of the mapará fillet (15.89%), and the temperature contributed to this degradation.

Keywords: *Hypophthalmus edentatus*, fixed bed, modeling, fatty acids, hygroscopicity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curvas de secagem típicas. ....	17
<b>Figura 2.</b> Isoterma típica de alimentos.....	21
<b>Figura 3.</b> Esquema do secador utilizado .....	29
<b>Figura 4.</b> Representação do sistema colorimétrico CIEL*a*b* .....	36
<b>Figura 5.</b> Isoterma de sorção do filé de mapará desidratado ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) a 25°C. ....	38
<b>Figura 6.</b> Isoterma de adsorção do filé de mapará desidratado ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) a 25°C, com os ajustes dos modelos de Halsey, Oswin e GAB. ....	41
<b>Figura 7.</b> Isoterma de dessorção do filé de mapará desidratado ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) a 25°C, com os ajustes dos modelos de Halsey, Oswin e GAB.....	41
<b>Figura 8.</b> Curvas de secagem do filé de mapará nas diferentes condições de temperatura isotérmicas: (A) MR x tempo e (B) Umidade x tempo. ....	42
<b>Figura 9.</b> Curvas de taxa de secagem (W) do filé de mapará nas diferentes condições de temperatura isotérmicas: (A) W x tempo e (B) W x MR.....	43
<b>Figura 10.</b> Curvas de secagem do filé de mapará nas diferentes condições de processo: (A) MR x tempo e (B) Umidade x tempo. ....	45
<b>Figura 11.</b> Curvas de taxa de secagem (W) do filé de mapará nas diferentes condições de processo: (A) W x tempo e (B) W x MR. ....	45



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Composição do mapará ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ).....	16
<b>Tabela 2.</b> Relação entre a atividade de água e a inibição do crescimento de microrganismos.....	20
<b>Tabela 3.</b> Modelos matemáticos utilizados para prever as isotermas de sorção do mapará ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ).....	28
<b>Tabela 4.</b> Modelos semi-empíricos ajustados aos dados de secagem.....	31
<b>Tabela 5.</b> Padrão microbiológico do filé de mapará ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) utilizado e da legislação brasileira.....	33
<b>Tabela 6.</b> Composição centesimal e valores de BVT, $a_w$ , pH e dos parâmetros de cor do filé de mapará ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) <i>in natura</i> .....	35
<b>Tabela 7.</b> Dados de sorção de umidade do filé de mapará desidratado ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) a 25°C.....	37
<b>Tabela 8.</b> Parâmetros da equação de BET linearizada para os dados de adsorção e dessorção do filé de mapará desidratado ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) a 25°C.....	39
<b>Tabela 9.</b> Parâmetros da modelagem matemática das isotermas de sorção do filé de mapará desidratado ( <i>Hypophthalmus edentatus</i> ) a 25°C.....	40
<b>Tabela 10.</b> Valor da difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ) dos processos de secagem do filé de mapará, em condições isotérmicas.....	44
<b>Tabela 11.</b> Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem filé de mapará nas diferentes condições de processo.....	47
<b>Tabela 12.</b> Parâmetros físicos do filé de mapará obtido nas diferentes condições de temperatura.....	48
<b>Tabela 13.</b> Composição em ácidos graxos do filé de mapará <i>in natura</i> e após secagem nas diferentes condições de processo.....	50

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 GERAL .....	13
2.2 ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PESCADO .....	14
3.2 O MAPARÁ .....	15
3.3 SECAGEM .....	16
<b>3.3.1 Secagem em leito fixo</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3.2 Modelagem da cinética de secagem</b> .....	<b>19</b>
3.4 ATIVIDADE DE ÁGUA E ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE .....	20
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
4.1 MATERIAL .....	23
<b>4.1.1 Matéria-prima</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1.2 Preparo das amostras para as análises</b> .....	<b>23</b>
4.2 MÉTODOS .....	23
<b>4.2.1 Rendimento</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2.2 Avaliação microbiológica da matéria-prima</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2.3 Caracterização físico-química da matéria-prima</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2.4 Perfil de ácidos graxos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2.5 Obtenção das isotermas de sorção de umidade do filé de mapará</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2.6 Modelagem das isotermas de sorção de umidade</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.7 Secagem do filé de mapará em condição isotérmica</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2.8 Secagem do filé de mapará com rampa de temperatura</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2.9 Cálculo da taxa de secagem e da difusividade efetiva</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.10 Modelagem da secagem</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.11 Caracterização físico do mapará desidratado</b> .....	<b>31</b>
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	31
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
5.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO MAPARÁ .....	33
5.2 RENDIMENTO DO FILÉ DE MAPARÁ .....	34
5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO FILÉ DE MAPARÁ .....	34

5.4 ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE DO MAPARÁ.....	36
5.5 MODELAGEM DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE.....	39
5.6 SECAGEM DO FILÉ DE MAPARÁ EM CONDIÇÃO ISOTÉRMICA.....	41
5.7 SECAGEM DO FILÉ DE MAPARÁ COM RAMPA DE TEMPERATURA.....	44
5.8 MODELAGEM DA SECAGEM .....	46
5.9 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO MAPARÁ DESIDRATADO.....	48
5.10 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS.....	49
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mapará (*Hypophthalmus edentatus*) apresenta interesse econômico, mas da mesma forma que outros peixes lisos o seu consumo na região amazônica é baixo, devido a tabus alimentares. A maior parte da sua produção é comercializada para outros países e/ou estados do Brasil (CUTRIM; BATISTA, 2005).

Para garantir a qualidade do pescado é necessário haver um manuseio correto durante a sua captura, acondicionamento e comercialização, pois esse tipo de produto apresenta condições intrínsecas que propiciam a multiplicação microbiana, o que acarreta a redução da sua vida útil, ao mesmo tempo em que pode representar risco à saúde do consumidor. A elevada atividade de água ( $a_w$ ), a composição química, o teor de gorduras insaturadas facilmente oxidáveis e o pH próximo da neutralidade do músculo dos peixes, são os fatores determinantes para o crescimento microbiano (STEVANATO et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2008b).

O peixe é um alimento muito importante nos países em desenvolvimento, principalmente por ser uma fonte quantitativa e qualitativa de proteínas, mas também por representar uma reserva significativa de ácidos graxos poliinsaturados da série ômega 3 ( $\omega$ -3), aos quais são atribuídos numerosos benefícios à saúde humana. Por outro lado, o músculo dos peixes, em geral, pode apresentar até 80% de água, o que o torna altamente perecível, devido ao efeito combinado de reações químicas, à atividade de enzimas endógenas e ao crescimento bacteriano (BALA; MONDOL, 2001; RAMOS FILHO et al., 2008; GONÇALVES, 2010).

A  $a_w$  reflete o teor de água livre, e o seu estudo é feito através das isotermas de sorção de umidade, que são curvas que representam a relação de equilíbrio entre o conteúdo de umidade do alimento e a sua  $a_w$ , em temperatura e pressão constantes. Informações sobre as isotermas de sorção são importantes no planejamento de processos de secagem e na segurança microbiológica de produtos alimentícios (MOLINA-FILHO et al., 2006).

Dos diversos processos empregados na conservação de alimentos, a secagem é, sem dúvida, um dos mais antigos (ANDRADE et al., 2003). O levantamento experimental de curvas de secagem e a determinação das taxas de remoção de água são etapas importantes no estudo da desidratação e armazenamento de um produto (FREIRE et al., 2003). No caso do pescado, a secagem é importante, pois provoca a inativação de enzimas e remove a umidade necessária para o crescimento bacteriano (BALA; MONDOL; 2001; BELLAGHA et

al., 2002; DUAN et al., 2004). No que concerne aos aspectos de deterioração microbiana, a secagem reduz a  $a_w$  dos alimentos diminuindo a atuação dos microorganismos. Alguns processos bioquímicos são inerentes à secagem de um alimento, como é o caso do escurecimento enzimático e da caramelização, que é conhecida também como escurecimento não-enzimático. Estas reações bioquímicas podem ser evitadas não só por inativação enzimática, mas também mediante uma desidratação lenta em condições termodinâmicas ótimas, que podem ser encontradas utilizando-se as curvas de secagem dos alimentos (FREIRE et al., 2003). O projeto e a operação de equipamentos de secagem objetivam minimizar essas alterações por meio da seleção de condições apropriadas de desidratação para cada alimento em particular (FELLOWS, 2006).

Não há relato na literatura sobre a secagem de pescados em temperaturas variáveis (rampa de temperatura). A utilização de um processo de secagem com rampa de temperatura poderá representar uma economia de energia, quando comparado a um processo de secagem realizado a temperatura constante, ao mesmo tempo em que poderá proporcionar produtos com melhores características físicas, químicas e nutricionais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Avaliar o processo de secagem do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*), em leito fixo, realizado à temperaturas isotérmicas e temperaturas variáveis.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização microbiológica, determinar a composição centesimal e o perfil de ácidos graxos do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*);
- Obter as isotermas de adsorção e dessorção de umidade do filé de mapará a 25°C;
- Avaliar a cinética de secagem do filé de mapará, em leito fixo, nas temperaturas de 45, 55, 65, 75°C, e com rampa de temperatura descendentes (75 a 45°C) e ascendentes (45 a 75°C) para efeito de comparação;
- Avaliar a aplicabilidade de modelos cinéticos semiempíricos na predição da cinética de secagem do filé de mapará, em leito fixo, para as diferentes condições de secagem estudadas;
- Avaliar o perfil de ácidos graxos dos filés de mapará obtidos nas diferentes condições de secagem.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PESCADO

No cenário nacional, a pesca está incluída entre as quatro maiores fontes de proteína animal para o consumo humano. Além da participação na nutrição humana, outros fatores apontam para a necessidade do uso e manejo sustentáveis dos recursos pesqueiros, destacando-se a sua importância socioeconômica (gerador de trabalho e renda), ambiental e cultural (IBGE, 2010).

Na América do Norte, a aquicultura deixou de expandir nos últimos anos, mas na América do Sul tem demonstrado um crescimento forte e contínuo, particularmente no Brasil e no Peru. Em termos de volume, a aquicultura na América do Norte e América do Sul é dominada por Peixes de barbatanas (57,9%), crustáceos (21,7%) e moluscos (20,4%) (FAO, 2012).

A carne de pescado apresenta um grande potencial de mercado, pois esse produto industrializado ou *in natura* pode atender as necessidades do consumidor nos aspectos: nutricionais (rico em proteínas e ácidos graxos poliinsaturados), sensoriais (sabor agradável, suave e característico), conveniência (fácil preparo ou pré-pronto) e econômicos (FERREIRA et al., 2002).

O pescado apresenta-se como uma fonte importante de proteínas, vitaminas, minerais e lipídios essenciais para a alimentação humana. Esse alimento, no entanto, é mais perecível que a carne de frango e a carne vermelha, em função de seus teores de aminoácidos livres, bases nitrogenadas e ácidos graxos insaturados (BERTOLIN et al., 2011). Os peixes representam a maior fonte dietética de ácidos graxos poliinsaturados, especialmente os da série ômega-3 (OLIVEIRA et al., 2008a).

O consumo de peixe tem grande importância nutricional devido a presença de ácidos graxos poliinsaturados (AGPI), em particular os ácidos eicosapentaenóico (EPA ou também ácido icosapentaenóico), que é um ácido graxo da família ômega-3 ( $\omega$ -3) e o ácido docosa-hexaenóico (DHA), pois apresentam diversas propriedades benéficas para a saúde humana. Os ácidos graxos poliinsaturados (AGPI) atuam na prevenção de doenças cardiovasculares, câncer, redução do risco de doença coronária, diminuição da hipertensão, redução da incidência de diabetes, e reduz os sintomas de artrite reumatóide (PRATO; BIANCOLINO, 2012). Segundo Inhamuns e Franco (2008), os benefícios dos ácidos graxos estão associados com a síntese dos

eicosanóides, tais como prostaglandinas, tromboxanos e leucotrienos. Segundo Ramos Filho et al. (2008), o predomínio dos ácidos oléico (C18:1,  $\omega$ -9), palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0) parece ser característico de peixes de água doce.

O pescado é um alimento altamente perecível devido a fatores microbiológicos, a rápida instalação da fase de rigidez *post mortem* (endurecimento do peixe), a liberação de muco, a alta quantidade de água nos tecidos, a constituição do tecido conjuntivo e o tecido rico em proteínas, fosfolipídios e ácidos graxos polinsaturados (FERREIRA et al., 2002). Como todos os animais, os peixes vivos possuem uma musculatura estéril, livre de micro-organismos. Os fenômenos depois da morte são consequências da ação de bactérias e enzimas (PÉREZ et al., 2007).

Como o pescado nem sempre é comercializado de forma imediata, é necessário à aplicação de processos tecnológicos (resfriamento, congelamento, salga, secagem ou defumação) para prolongar a vida útil do mesmo, de forma que chegue em boas condições aos consumidores. Segundo Pérez et al. (2007), desde a recepção até o processamento, o pescado deve estar armazenado em câmaras a 0°C, refrigerado com gelo, o que garantirá sua qualidade por mais tempo.

A oxidação de lipídios é um dos mecanismos primários de deterioração da qualidade em alimentos, especialmente em produtos cárneos, limitando sua estabilidade e aceitação. As alterações na qualidade desses produtos incluem deterioração do sabor, descoloração, destruição de nutrientes e formação de compostos tóxicos (RIBEIRO et al., 2007).

A demanda e o consumo de peixes de água doce e salgada têm apresentado aumento pelos seus benefícios nutricionais, bem como pelas proteínas de boa qualidade e seu baixo teor de colesterol. Esses benefícios resultam em uma maior participação dos mesmos no mercado de alimentos (WIDJAJA et al., 2009).

### 3.2 O MAPARÁ

Os maparás (*Hypophthalmus* spp.) são Siluriformes de porte médio, pertencentes à família sul-americana Pimelodidae, com um gênero e três espécies (*H. marginatus*, *H. edentatus* e *H. fimbriatus*) (CUTRIM; BATISTA, 2005). O *H. edentatus*, também conhecido como mapurá, peixe gato, mapará de cameté ou oleiro, possui carne saborosa e alcança até 3 kg, com um rendimento de filé superior a 60% (RIBEIRO et al., 2008).



O mapará é um peixe nativo da região amazônica que apresenta interesse econômico, porém assim como outros peixes lisos, seu consumo na região é baixo devido a tabus alimentares, sendo a maioria da sua produção comercializada para outros países e Estados do Brasil (INHAMUNS; FRANCO, 2001; RIBEIRO et al., 2010). Sua composição é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição do mapará (*Hypophthalmus edentatus*).

<b>Componente (% Base úmida)</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Média dos valores</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Umidade	63,98	64,03	64,01	0,03
Lipídios	17,67	18,01	17,85	0,17
Proteínas	16,29	16,43	16,35	0,07
Cinzas	0,88	0,93	0,91	0,03

**Fonte:** Ribeiro (2005).

As pescarias comerciais do mapará, na região Norte, ocorrem principalmente nos rios Amazonas, Negro e Solimões, próximo das cidades de Codajás, Coari, Itacoatiara, Beruri, Manacapuru e Iranduba. No lago Grande de Monte Alegre a safra do mapará coincide com a enchente. Na Amazônia Central, a safra ocorre entre os meses de fevereiro e agosto, época de cheia dos rios (CUTRIM; BATISTA, 2005).

Levando-se em consideração a crescente e constante pressão de pesca sobre os estoques de mapará, com possíveis consequências ecológicas e econômicas para a Região Norte, tornam-se necessários estudos que venham possibilitar a disponibilidade desse peixe para a criação em cativeiro, auxiliando, assim, na preservação dos estoques pesqueiros (COSTA; OSHIRO; SILVA, 2010).

### 3.3 SECAGEM

Na conservação de alimentos, a desidratação ou secagem é apontada como um dos procedimentos mais importantes para a diminuição da  $a_w$ . Sendo o processo comercial mais utilizado para preservar o alimento porque, comparado com outros métodos, como a centrifugação, o enlatamento, os tratamentos químicos, a irradiação, entre outros, é de custo mais baixo e de operação mais simples (ALEXANDRE et al., 2009).

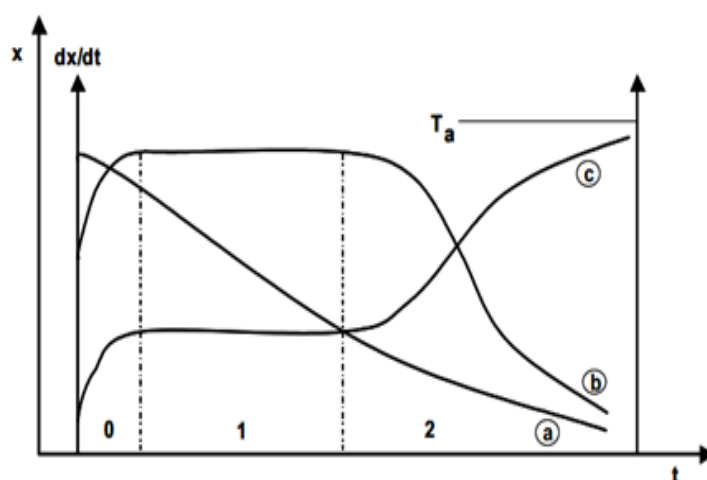
A secagem é definida como a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um

alimento. Seu objetivo principal é prolongar a vida de prateleira do alimento (FELLOWS, 2006).

O processo de secagem visa a redução do teor de água, fazendo com que a  $a_w$  do produto diminua, aumentando o tempo de conservação e a vida útil do mesmo, bem como facilitando seu transporte, manuseio e armazenamento. As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais pode-se citar: a facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do seu peso; economia de energia (PARK; YADO; BROD, 2001).

Com a diminuição do conteúdo de água, a ocorrência de reações químicas ou microbiológicas não estão livres de ocorrer, principalmente se houverem falhas ao longo do processo. A qualidade do produto depende fundamentalmente do estado da matéria-prima e da utilização de técnicas de processamento corretas (OLIVEIRA et al., 2008a).

Segundo Marchese e Figueira (2005) as características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto são fenômenos comuns em qualquer condição de secagem. Na Figura 1, as curvas de evolução do teor de água do produto (a), taxa de secagem (b) e evolução da temperatura do produto (c) descrevem os períodos do processo de secagem, que são divididas em zero, um e dois.



**Figura 1.** Curvas de secagem típicas.

Fonte: Marchese e Figueira (2005).

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

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

### **3.3.1 Secagem em leito fixo**

Na secagem em leito fixo utiliza-se secadores com bandejas. O material, que pode ser um sólido irregular ou uma pasta, é espalhado de forma homogênea sobre uma bandeja. Os secadores de bandejas típicos possuem as bandejas suspensas e removíveis, dispostas de forma uniforme em seu interior (GEANKOPLIS, 2003).

A secagem por convecção de alimentos em leito fixo é um processo complexo que envolve a transferência simultânea de calor e de massa entre o ar e o produto. Um dos objetivos principais da compreensão deste processo é ser capaz de prever

as distribuições de umidade e temperatura no interior do produto. Vários modelos foram formulados para descrever o calor e os processos de transferência de massa durante a secagem em leito fixo (RUIZ-LÓPEZ et al., 2008).

Na secagem em leito fixo, o produto permanece num compartimento de fundo perfurado, por onde passa o ar de secagem, insuflado por um ventilador. Nesse sistema a temperatura do ar de secagem é superior à temperatura do ambiente, e a camada de produto é geralmente delgada. Um ventilador, devidamente dimensionado, acoplado a uma fonte de aquecimento, faz parte do sistema. Esse tipo de sacador tem como vantagens, menor custo operacional, baixo investimento inicial e fácil construção (SILVA et al., 2000).

### **3.3.2 Modelagem da cinética de secagem**

A cinética de secagem descreve o perfil de variação de umidade de um material com o tempo. Modelos que representam as curvas de secagem foram propostos com base nas variáveis que podem interferir na secagem do produto. De acordo com Brooker et al. (1992), modelos empíricos e semi-empíricos são as melhores opções para estimar a variação de umidade dos materiais. A utilização desses modelos requer o conhecimento dos dados de secagem e condições do sistema de secagem.

Na literatura são citados vários métodos que podem ser utilizados para analisar a secagem de produtos higroscópicos (teóricos, semi-empíricos e empíricos). Nos métodos teóricos normalmente são considerada as condições externas sob as quais a operação ocorre, como também os mecanismos internos de transferência de energia e de massa, e seus efeitos. Dependendo do material que se está secando, a umidade pode movimentar-se no seu interior, por mecanismos diferentes (BROOKER et al., 1992).

Em produtos com poros capilares, como a maioria dos produtos de origem agrícola, os possíveis mecanismos de transporte de umidade, são: difusão líquida, difusão capilar, difusão na superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica (MARTINAZZO et al., 2007). Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002; ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003).

Maior ênfase é dada ao desenvolvimento de modelos semiteóricos, que concorrem para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de uso. Esses modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para o resfriamento, aplicada à transferência de massa. Quando se aplica essa Lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja apenas à superfície do produto (BROOKER et al., 1992). Entre os modelos semiteóricos, os modelos Dois Termos, Henderson e Pabis, Lewis, Page e Page Modificado têm sido amplamente utilizados (PANCHARIYA et al., 2002).

### 3.4 ATIVIDADE DE ÁGUA E ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

A atividade de água ( $a_w$ ) do alimento diz respeito à disponibilidade de água para os micro-organismos e outros processos deteriorativos. O controle de umidade pela redução da  $a_w$  se faz por meio da combinação da desidratação parcial do alimento, com adição de solutos, como sal e o açúcar, tornando a água não disponível para a atividade microbiana. A Tabela 2 mostra a relação entre a  $a_w$  e a inibição do crescimento de micro-organismos (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

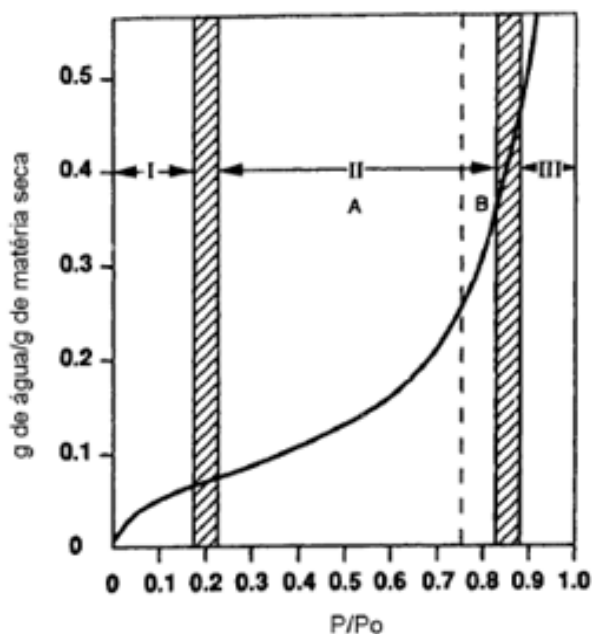
**Tabela 2.** Relação entre a atividade de água e a inibição do crescimento de microrganismos.

Faixa de $a_w$	Microrganismos inibidos
0,95-1,00	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>C. perfringens</i> , esporos de bactérias, algumas leveduras
0,91-0,95	<i>Salmonella</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Lactobacillus</i> , alguns fungos
0,87-0,91	Quase todas as leveduras, <i>Micrococcus</i>
0,80-0,87	Quase todos os fungos, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Saccharomyces</i> sp.
0,75-0,80	Quase todas as bactérias halofílicas
0,65-0,75	Fungos xerofílicos

**Fonte:** Oetterer, Regitano-D`arce e Spoto (2006).

De acordo com a lei de Raoult generalizada, a  $a_w$  é a relação entre a pressão de vapor do alimento a uma dada temperatura e a pressão de saturação da água pura na mesma temperatura. A  $a_w$  de qualquer material depende de sua composição química, do estado de agregação de seus constituintes, do seu conteúdo de água e da temperatura (WOLF et al., 1985).

As isotermas de sorção de umidade de alimentos mostram a relação entre a umidade de equilíbrio e a  $a_w$  correspondente do produto, a temperatura e pressão constantes (FENNEMA, 2010). As isotermas são características fundamentais dos materiais alimentícios, essenciais para o processo de secagem e relacionadas a quase todos os aspectos de estabilidade à estocagem, de produtos secos ou com baixa umidade. O comportamento das isotermas de sorção é ainda necessário para que se possa conhecer bem a sua relação com as características físicas, químicas e de estabilidade dos produtos desidratados ou parcialmente desidratados. (HUBINGER et al., 2009). Isotermas de sorção de alimentos são essenciais para o dimensionamento, modelagem e otimização de processos (LABUZA, 1968). Na Figura 2 é apresentada uma isoterma de sorção típica de alimentos.



**Figura 2.** Isoterma típica de alimentos.

Fonte: Fennema (2010).

A água presente na região I está fortemente ligada e possui pouca mobilidade, não é congelável, não tem capacidade de dissolver solutos e não está presente em quantidade suficiente para ter efeito plasticizante sobre o sólido; simplesmente se comporta como parte do sólido. Na região II, as moléculas de água estão adsorvidas em multicamadas sobre o alimento; a força de ligação entre a água e o produto é muito fraca. Nessa região, iniciam as reações químicas e bioquímicas que necessitam de água, pois aumenta a mobilidade dos solutos. Entre as regiões I e II encontra-se a monocamada BET, que corresponde à quantidade de água

necessária para formar uma única camada sobre os grupos altamente polares do produto seco. A água presente na região I geralmente constitui menos de 5% do conteúdo total da água de um alimento. Na região III a água é congelável, está disponível como solvente e pode promover crescimento de micro-organismos; nesta região ela é conhecida como água livre (FENNEMA, 2010).

Existem várias equações na literatura que são utilizadas para representar as curvas experimentais de sorção de alimentos. As equações de Halsey e Oswin são utilizadas para analisar isotermas de sorção de diversos alimentos, sendo que o modelo de Halsey mostra um bom ajuste para produtos ricos em amido, tais como milho, batata e trigo, enquanto a equação de Oswin baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal. O modelo de Henderson é um dos mais empregados e descreve bem as isotermas em uma ampla faixa de  $a_w$  (0,10 a 0,75), para grãos, cereais e frutas. A equação de BET, amplamente usada para fornecer uma estimativa da monocamada do alimento, é baseada no conceito de Langmuir de adsorção de água na monocamada molecular, modificada para multicamadas (BRUNAUER et al., 1938). O modelo de GAB é o que tem se mostrado mais versátil na predição de isotermas de alimentos, tanto de origem vegetal quanto animal, constitui uma extensão do modelo de BET, resultando numa equação com três parâmetros, permitindo um melhor ajuste dos dados de sorção dos alimentos até atividade de água de 0,9 (KUROZAWA; EL-AOUAR; MURR, 2005).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 MATERIAL**

#### **4.1.1 Matéria-prima**

O mapará (*Hypophthalmus edentatus*) utilizado no estudo foi obtido da colônia de pescadores do Lago de Tucuruí, no município de Tucuruí (PA). Foram coletadas 10 unidades do pescado no estado fresco e íntegro. Os peixes foram transportados para o laboratório de Engenharia de Alimentos da UFPA (Belém – PA), por via terrestre por um período de 12 horas, acondicionados em caixas térmicas com gelo em escama ( $\approx 0^{\circ}\text{C}$ ).

#### **4.1.2 Preparo das amostras para as análises**

Ao chegarem no laboratório, os peixes foram submetidos à higienização, primeiramente através de lavagem com água corrente, e após por imersão em água clorada (5 ppm de cloro livre). Em seguida os peixes passaram pelas etapas de toaleta, evisceração, lavagem, retirada da pele e filetagem, manualmente e com auxílio de lâminas de aço inox. Uma fração representativa dos filés foi separada para a realização das análises de caracterização do produto, e a outra fração foi utilizada para a realização dos ensaios de secagem e higroscopicidade. A primeira fração foi submetida à liofilização, seguida de moagem e armazenamento sob atmosfera de nitrogênio. A segunda fração foi cortada em pedaços com dimensões de 3 x 5 x 1 cm, os quais foram acondicionados em embalagens de polietileno sob vácuo, envoltos com papel alumínio, para evitar o efeito da luz e congelados até  $-18^{\circ}\text{C}$ ; condição na qual foram mantidos até o momento dos ensaios de secagem.

### **4.2 MÉTODOS**

#### **4.2.1 Rendimento**

Durante o processo de filetagem, pesou-se o filé e o resíduo de cada peixe separadamente para a determinação do rendimento. Para o cálculo do rendimento dos filés foi utilizada a Equação 1.



$$\eta = (\text{PTF}/\text{PTP}) \times 100 \quad (1)$$

Onde:  $\eta$  = rendimento do peixe; PTF = peso total dos filés; PTP = peso total dos peixes.

#### **4.2.2 Avaliação microbiológica da matéria-prima**

As análises microbiológicas quanto a detecção de *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* foram realizadas de acordo com os padrões exigidos pela legislação vigente (BRASIL, 2001), enquanto que para detecção de Coliformes a 45°C foi tomada como referência a Portaria 451 de 19/09/1997 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1997a). Todas as análises seguiram metodologia descrita por Downes e Ito (2001).

#### **4.2.3 Caracterização físico-química da matéria-prima**

As seguintes análises físico-químicas foram realizadas, em triplicata, na matéria-prima:

##### *Umidade*

Foi determinada gravimetricamente por secagem em estufa a 105°C, até peso constante, de acordo com o método 932.12 da AOAC (1997).

##### *Cinzas*

Foram determinadas gravimetricamente, por calcinação da amostra a 550°C, de acordo com o método 938.08 da AOAC (1997).

##### *Proteína bruta*

Foi determinada a partir do nitrogênio total contido na amostra, pelo método Kjeldahl, de acordo com o método 940.25 da AOAC (1997). Na conversão nitrogênio em proteína foi utilizado o 6,25.

### *Lipídios*

Foi determinado pelo método Soxhlet, utilizando éter de petróleo como extrator, de acordo com o método 922.06 da AOAC (1997).

### *Carboidratos*

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

### *Atividade de água*

Foi realizada através de leitura direta em termohigrômetro digital, da Decagon, Aqualab Séries 3TE modelo TE 8063, com controle interno de temperatura ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ).

### *Potencial hidrogeniônico (pH)*

Foi determinado em potenciômetro da marca Hanna Instruments, modelo HI9321, previamente calibrado com soluções tampão pH 4 e 7, de acordo com o método 981.12 da AOAC (1997).

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

Para a avaliação do frescor da matéria-prima foram determinadas as bases voláteis totais (BVT), conforme o método descrito pelo Laboratório Nacional de Referência Animal – LANARA (BRASIL, 1981).

### *Cor*

A avaliação da cor foi realizada na Embrapa Amazônia Oriental por colorimetria *Tristímulos* utilizando colorímetro Hunterlab modelo color quest XE, através dos parâmetros de  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (intensidade do vermelho) e  $b^*$  (intensidade do amarelo). O valor de croma ( $C^*$ ) foi calculado pela Equação 2, o valor do ângulo de tonalidade ( $h^{\circ}$ ) pela Equação 3 e a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) pela Equação 4.

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

$$h^\circ = \cos^{-1} \frac{a^*}{\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}} \quad (3)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

#### 4.2.4 Perfil de ácidos graxos

A composição de ácidos graxos foi determinada pela conversão de ácidos graxos em ésteres metílicos (FAMES), com base no método proposto por Rodrigues et al. (2010) e detectados em cromatógrafo gasoso (Varian modelo CP 3380), equipado com um detector de ionização de chama e com uma CP-Sil coluna capilar 88 (comprimento 60 m, diâmetro interno 0,25 mm, espessura 0,25 mm; Varian Inc., EUA). As condições de operação foram: hélio como gás de arraste, com vazão de 0,9 mL/min, detector FID a 250°C, injetor (split razão de 1:100) a 245°C, com um volume de injeção de 1 mL. A temperatura programada da coluna foi: 4 min a 80°C e um aumento subsequente a 220°C a 4°C/min. Os picos de ácidos graxos individuais foram identificados por comparação dos tempos de retenção com os de uma mistura conhecida de padrão de ácidos graxos (Nu-check-prep, Inc., EUA), executados sob as mesmas condições operacionais. O tempo de retenção e a área de cada pico foram calculados utilizando o Estrela Varian 3.4.1. Software. Os resultados foram expressos em porcentagem relativa do total de ácidos graxos.

#### 4.2.5 Obtenção das isotermas de sorção de umidade do filé de mapará

Isotermas de adsorção e dessorção de umidade do filé de mapará foram construídas na temperatura de 25°C, a partir da relação existente entre as umidades do produto e as correspondentes  $a_w$ . Para a obtenção dos dados de sorção, o filé de mapará foi submetido à secagem a 55°C, até peso constante, no mesmo sistema utilizado para o estudo da cinética de secagem, descrito no item 4.2.7. O produto seco foi triturado em moinho de facas (IKA A 11 basic).

Na obtenção dos dados de adsorção, amostras do produto seco e triturado foram pesadas ( $\approx 1$  g) em cápsulas do aparelho de  $a_w$ , e submetidas à desidratação completa, em dessecador contendo sílica-gel, sob vácuo, em ambiente com

temperatura controlada ( $25\pm 1^\circ\text{C}$ ), por um período de 24 horas. Em seguida as amostras foram colocadas em dessecador contendo água na base e o conjunto foi mantido no ambiente com temperatura controlada ( $25\pm 1^\circ\text{C}$ ).

Na obtenção dos dados de dessorção, as mesmas amostras submetidas ao processo de adsorção foram mantidas em dessecador contendo água na base, na temperatura de trabalho ( $25^\circ\text{C}$ ) por 24 horas, para que ocorresse a umidificação das mesmas. Em seguida as amostras foram transferidas para um dessecador com sílica-gel, e o conjunto foi transferido para ambiente com temperatura controlada ( $25\pm 1^\circ\text{C}$ ).

Os processos de adsorção e dessorção foram acompanhados pela retirada de amostras em duplicata, em tempos crescentes (equilíbrio dinâmico), as quais foram pesadas para a determinação da umidade por diferença de massa, em relação ao extrato seco das amostras, com auxílio de uma balança analítica. A  $a_w$  foi medida em um higrômetro AQUAlab 3TE.

A umidade da monocamada ( $m_o$ ) foi determinada para a dessorção, através da equação de BET linearizada (Equação 5), proposta por Brunauer, Emmet e Teller (1938).

$$\frac{a_w}{(1-a_w)m} = \frac{1}{m_o \cdot C} + \frac{(C-1)}{m_o \cdot C} \cdot a_w \quad (5)$$

onde:  $m$  = umidade ( $\text{g H}_2\text{O}/100\text{g b.s.}$ );  $a_w$  = atividade de água;  $m_o$  = umidade da monocamada ( $\text{g H}_2\text{O}/100\text{g b.s.}$ ) e  $C$  = constante relacionada com o calor de adsorção.

#### **4.2.6 Modelagem das isotermas de sorção de umidade**

Na predição dos dados de adsorção e dessorção de umidade do mapará foram avaliados oito modelos matemáticos, seis bi-paramétricos e dois tri-paramétricos (Tabela 3). No ajuste foi utilizada análise de regressão não linear, com auxílio do aplicativo STATISTICA 7.0, pela metodologia de estimativa Levenberg-Marquardt e critério de convergência de  $10^{-6}$ . Os parâmetros utilizados para avaliar os ajustes foram: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio médio relativo ( $P$ ) (Equação 6) e a correlação entre os valores de umidade experimentais e preditos.

Segundo Peng et al. (2007), valores de P inferiores a 10% são indicadores de bons ajustes, para propósitos práticos.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|m_{\text{exp}} - m_{\text{pre}}|}{m_{\text{exp}}} \quad (6)$$

onde:  $m_{\text{exp}}$  e  $m_{\text{pre}}$  são umidades experimentais e preditas, respectivamente e  $n$  é o número de observações.

**Tabela 3.** Modelos matemáticos utilizados para prever as isotermas de sorção do mapará (*Hypophthalmus edentatus*).

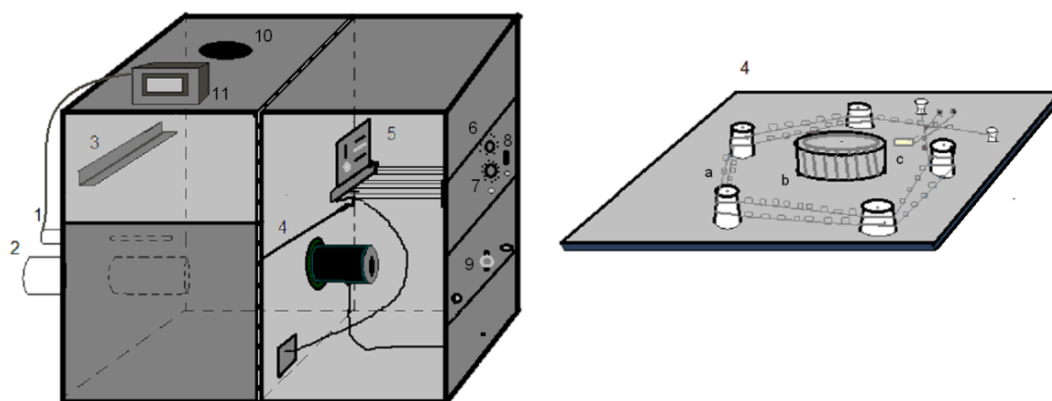
Modelos	Equações matemáticas
Halsey (Chirife and Iglesias, 1978)	$m = \left[ \frac{-a}{\ln a_w} \right]^{\frac{1}{b}}$
Handerson (Chirife and Iglesias, 1978)	$m = \left[ \frac{-\ln(1-a_w)}{a} \right]^{\frac{1}{b}}$
Kuhn (Chirife and Iglesias, 1978)	$m = -\frac{a}{\ln a_w} + b$
Mizrahi (Chirife and Iglesias, 1978)	$a_w = \frac{a+m}{b+m}$
Oswin (Chirife and Iglesias, 1978)	$m = a \left[ \frac{a_w}{1-a_w} \right]^b$
Smith (Chirife and Iglesias, 1978)	$m = a - b \cdot \ln(1-a_w)$
BET (Figueira et al., 2004)	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot a_w}{1-a_w} \cdot \left( \frac{1-(n+1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1}}{1-(1-c) \cdot a_w - c \cdot a_w^{n+1}} \right)$
GAB (Maroulis et al., 1988)	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1-k \cdot a_w) \cdot (1+(c-1) \cdot k \cdot a_w)]}$

$m$  = teor de umidade (g/100 g b.s);  $a_w$  = atividade de água;  $a$ ,  $b$ ,  $m_o$ ,  $k$  e  $c$  são parâmetros a serem estimados pela modelagem.

#### 4.2.7 Secagem do filé de mapará em condição isotérmica

Os ensaios de secagem foram realizados no LAMEFI (Laboratório de medidas físicas da UFPA), em um secador do tipo leito fixo (Figura 3). Os pedaços de filé de mapará, no formato de placa plana (3 x 5 x 1 cm), foram congelados a 5°C, e em seguida foram mantidos a temperatura ambiente até atingir 25°C. Em cada ensaio,

seis pedaços foram dispostos lado a lado (duas linhas e três colunas) sobre a bandeja metálica vazada do secador, perfazendo uma área de contato de 0,009 m<sup>2</sup>. O fluxo de ar foi perpendicular à amostra, com uma velocidade de escoamento média de 1,5 m/s. Nessa etapa foram realizadas secagens em condições isotérmicas, nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75°C. A cinética do processo foi determinada pelo acompanhamento do peso da amostra em intervalos de tempo crescente até peso constante (variação de massa da amostra inferior a 1%). A umidade do produto foi determinada no início e no final da secagem. As amostras secas foram trituradas em moinho de facas (IKA A 11 basic), acondicionadas em frascos de vidro e mantidas a temperatura de -18°C até a sua utilização.



**Figura 3.** Esquema do secador utilizado: (1) termopar; (2) entrada de ar; (3) suporte da bandeja; (4) placa aquecedora: (a) resistência, (b) hélice de ventilação, (c) termopar do controle de aquecimento; (5) circuito de ajuste do sistema; (6) ajuste de temperatura; (7) ajuste fino de temperatura; (8) chave de acionamento do sistema; (9) controle do motor de ventilação; (10) saída de ar; (11) termômetro do leito fixo.

#### 4.2.8 Secagem do filé de mapará com rampa de temperatura

Nessa etapa do trabalho foram realizados ensaios de secagem do filé de mapará com temperatura variável (rampa de temperatura). Um ensaio foi realizado com temperatura descendente, no qual a amostra foi mantida a 75°C por 30 minutos, 55°C por 60 minutos e 45°C até peso constante. Outro ensaio foi realizado com temperatura ascendente, no qual a amostra foi mantida a 45°C por 4 horas, 55°C por 60 min e 75°C até peso constante. As condições de temperatura destes ensaios foram estabelecidas com base nos ensaios realizados em condições isotérmicas. O equipamento e a rotina utilizados nesta etapa foram os mesmos

utilizados nos ensaios em condições isotérmicas.

#### 4.2.9 Cálculo da taxa de secagem e da difusividade efetiva

As taxas dos processos de secagem foram determinadas pela Equação 7. A área da superfície da amostra exposta a secagem foi de 0,009 m<sup>2</sup> e as derivadas da umidade do produto em função do tempo de secagem (dX/dt) foram determinadas com auxílio do programa OriginPro 8 SRO (OriginLab Corporation, 2007, Northampton, OK, USA).

$$W = \frac{m_s}{A} \left[ -\frac{dX}{dt} \right] \quad (7)$$

onde: W = taxa de secagem (g/m<sup>2</sup>.s); X = umidade em determinado tempo (g H<sub>2</sub>O/g b.s.); t = tempo (s); m<sub>s</sub> = peso seco da amostra (g); A = área da superfície exposta a secagem (m<sup>2</sup>).

O coeficiente de difusão ou difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ) das diferentes condições de secagem foi determinado a partir da segunda Lei de Fick da difusão, para placa plana infinita, truncada no primeiro termo da série (Equação 8) (GEANKOPLIS, 2003). A secagem ocorreu de forma unidirecional e foi considerada uma distribuição de umidade inicial uniforme e sem a presença de qualquer resistência térmica. O valor de  $D_{eff}$  foi calculado a partir do coeficiente angular da reta obtida da relação  $\ln(MR) \times t$ , através de regressão linear.

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

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

#### 4.2.10 Modelagem da secagem

Para a predição das curvas de secagem do filé de mapará foram testados os dez modelos semi-empíricos apresentados na Tabela 4 classicamente utilizados na secagem em camada delgada. Os parâmetros utilizados para avaliar os melhores

ajustes foram: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o valor de qui-quadrado ( $\chi^2$ ), calculado pela Equação 9.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}} - MR_{\text{pre}})^2}{N - n} \quad (9)$$

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

**Tabela 4.** Modelos semi-empíricos ajustados aos dados de secagem.

Nº do modelo	Nome do modelo	Equação
1	Newton	$MR = e^{-k \cdot t}$
2	Page	$MR = e^{-k \cdot t^n}$
3	Page modificado	$MR = e^{-(k \cdot t)^n}$
4	Henderson e Pabis	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t}$
5	Logarítmico	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + c$
6	Midilli	$MR = b \cdot t + a \cdot e^{-k \cdot t^n}$
7	Dois termos	$MR = a \cdot e^{-k_0 \cdot t} + b \cdot e^{-k_1 \cdot t}$
8	Aproximação da difusão	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-k \cdot b \cdot t}$
9	Verma	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-g \cdot t}$
10	Dois termos exponencial	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1-a) \cdot e^{-k \cdot a \cdot t}$

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

Fonte: Akpınar, Bicer e Yildiz (2003).

#### 4.2.11 Caracterização físico do mapará desidratado

Nas farinhas de mapará obtidas foram determinados os parâmetros: umidade,  $a_w$ , cor instrumental e perfil de ácidos graxos, através das metodologias descritas nos itens 4.2.3 e 4.2.4.

#### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das análises físico-químicas foram submetidos a análise de variância e teste complementar de comparação de médias, de Tukey, utilizando o programa STATISTICA Kernel Release 7.1 (StatSoft Inc., 2006, Tulsa, OK, USA). A modelagem matemática das isotermas de sorção e das curvas de cinética de



secagem foi realizada por regressão linear e não linear, com auxílio do mesmo aplicativo. Neste caso foi utilizada a metodologia de estimativa de *Levenberg-Marquardt* e o critério de convergência de  $10^{-6}$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO MAPARÁ

A Tabela 5 apresenta os resultados da caracterização microbiológica do filé de mapará. Os resultados indicam que o produto atendeu os padrões exigidos pela legislação brasileira para pescado, estando assim apropriado para o processamento e/ou consumo direto, uma vez que não oferece risco à saúde (BRASIL 1997a; BRASIL, 2001).

**Tabela 5.** Padrão microbiológico do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) utilizado e da legislação brasileira.

Análises	Mapará <i>in natura</i>	Legislação
<i>Coliformes a 45°C</i>	7,4 NMP/g	Máximo 10 <sup>2</sup> /g <sup>a</sup>
<i>Salmonella</i>	Ausência/25 g	Ausência/25 g <sup>b</sup>
<i>Staphylococcus aureus</i>	< 1 x 10 <sup>1</sup> UFC/g	Máximo 10 <sup>3</sup> /g <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Brasil (1997<sup>a</sup>); <sup>b</sup>Brasil (2001); NMP – número mais provável; UFC – unidade formadora de colônia.

Segundo Ribeiro et al. (2008) a ausência de coliformes fecais, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* indicam que os procedimentos higiênico-sanitários utilizados na manipulação do peixe foram corretamente seguidos, desde a captura até o momento da coleta de amostra para a realização das análises. *Staphylococcus aureus* é um importante patógeno de origem alimentar e uma das principais causas de surto de intoxicação alimentar estafilocócica em todo o mundo (WANG et al., 2013). A ingestão de 0,2-1,0 µg de enterotoxinas secretadas por *S. aureus* pode provocar vômitos, náuseas, cólicas abdominais, sudorese, calafrio, prostração, pulso fraco, choque, respiração e temperatura corporal anormal (LOIR; BARÃO; GAUTIER, 2003).

A presença de coliformes é indicativo de contaminação externa. Eles são abundantes nas fezes de animais de sangue quente, mas também podem ser encontrados no meio aquático, no solo e na vegetação. Na maioria dos casos, os coliformes em si não são causas de doenças, mas a sua presença é utilizada para indicar que outros organismos patogênicos de origem fecal podem estar presentes no alimento (YIN; DING, 2009).

As bactérias do gênero *Salmonella* são capazes de colonizar o trato gastrointestinal de animais e humanos. Elas podem crescer em alimentos com  $a_w >$

0,94 e a sua resistência ao calor é fortemente influenciada pela estirpe, estado fisiológico, e matriz em que é encontrada (LUNESTAD et al., 2007).

## 5.2 RENDIMENTO DO FILÉ DE MAPARÁ

O rendimento em filé do mapará foi de 42,84%, próximo ao encontrado por Bicelli e Inhamuns (2002) (45%) e inferior ao observado por Costa, Oshiro e Silva (2010) (53,04%), para a mesma espécie de peixe. Souza e Inhamuns (2011) analisaram o rendimento cárneo das dez principais espécies de peixes comercializadas no Amazonas, e observaram que o rendimento em filé do mapará (38,68-39,00%) foi superior aos encontrados para as demais espécies (24,04-32,38%) e concluíram que o mapará independente da época do ano, é o pescado mais indicado para processamento nos cortes preferenciais para comercialização. O rendimento de filé, além da eficiência das máquinas filetadoras ou da destreza manual do operário, depende de algumas características intrínsecas à matéria-prima, ou seja, da forma anatômica do corpo, do tamanho da cabeça e do peso dos resíduos (SIMÕES et al., 2007; GALVÃO et al., 2010).

## 5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO FILÉ DE MAPARÁ

A composição centesimal e os valores de bases voláteis totais (BVT),  $a_w$ , pH e dos parâmetros de cor instrumental do filé do mapará *in natura* são apresentados na Tabela 6. De acordo com a composição, o filé de mapará estudado apresentou elevada umidade, e como constituintes majoritários lipídios e proteínas. A mesma tendência foi observada por Ribeiro et al. (2008), que encontraram 64,01% de umidade, 17,85% de lipídios, 16,35% proteínas e cinzas 0,91%, em filé de mapará *in natura*. O teor de cinzas do produto (0,76%) foi o mesmo observado por Costa, Oshiro e Silva (2010), em filé de mapará (0,75%).

Com relação ao teor de gordura, o mapará estudado pode ser considerado um peixe gordo, pois segundo Ordonez (2005), peixes com teor de lipídios superior a 8% são classificados como gordos. Com relação à proteína, o peixe utilizado foi classificado como de baixo valor proteico, pois apresentou teor protéico inferior a 15% (COSTA; OSHIRO; SILVA, 2010). De acordo com estes autores, a relação entre os teores de gordura, proteína e umidade do mapará diferem de outros peixes da bacia amazônica, uma vez que ele se enquadra em uma categoria de pescado

que não forma depósito específico de gordura, a qual se difunde por todo o seu tecido muscular.

**Tabela 6.** Composição centesimal e valores de BVT,  $a_w$ , pH e dos parâmetros de cor do filé de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) *in natura*.

Parâmetros	Valores <sup>a</sup>
Umidade (%)	73,11 ± 1,92
Lipídios (%)	12,33 ± 0,06
Proteínas (%)	14,18 ± 0,02
Cinzas (%)	0,76 ± 0,02
Carboidratos (%)	0,05 ± 0,03
BVT (mg/100g)	10,98 ± 1,16
Atividade de água	0,99 ± <0,01
pH	6,45 ± 0,26
Parâmetros de cor	
L*	69,91 ± 1,21
a*	3,55 ± 1,07
b*	25,43 ± 0,11
C*	25,70 ± 0,13
h°	82,05 ± 2,39

<sup>a</sup>Média de três determinações ± desvio padrão; L\* – luminosidade; b\* – intensidade da cor amarela; a\* – intensidade da cor vermelha; C\* – cromaticidade; h° – ângulo de tonalidade.

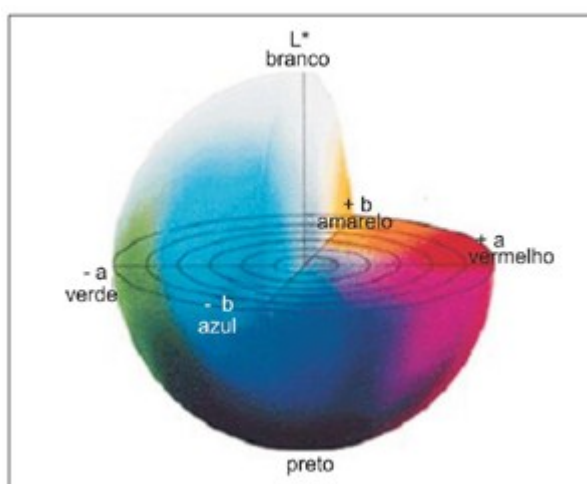
O valor de BVT do filé de mapará (10,98 mg/100g) se apresentou dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira (BRASIL, 1997b), que estabelece em 30 mg de N/100 g o valor máximo de BVT para pescado fresco. Esse parâmetro é útil na indicação da degradação de compostos nitrogenados, derivada da autólise e da decomposição microbiana (PEREIRA; FILHO, 2005).

O pH do filé (6,45) também atendeu a legislação vigente a qual estabelece valores de 6,8 (externo) e 6,5 (interno) para pescado (BRASIL, 1997c). O pH final do pescado, após a sua morte, está relacionado com a quantidade de glicogênio disponível nesse momento. A diminuição do pH é consequência da conversão do glicogênio em ácido lático (ALMEIDA et al., 2006). O valor do pH do produto foi da mesma ordem de grandeza observada por Borges et al. (2007), para corvina (6,38).

A  $a_w$  do produto (0,99) foi superior ao encontrado por Ribeiro et al. (2010), para o mapará (0,90), porém da mesma ordem de grandeza observada por Simões et al. (2007) (0,98), para tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*) e por Kilic (2009) (0,99), para a espécie truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). A elevada  $a_w$ , a composição química, o teor de gorduras insaturadas facilmente oxidáveis e o pH próximo da neutralidade são os fatores determinantes para a deterioração do

pescado (OLIVEIRA et al., 2008b).

De acordo com os parâmetros de cor, o filé de mapará apresentou tendência à cor clara ( $L^* = 69,91$ ), uma suave tendência a coloração vermelha ( $a^* = 3,55$ ) e evidência da coloração amarela ( $b^* = 25,43$ ), como pode-se observar na Figura 4 . A coloração amarela predominante pode ser atribuída ao elevado teor de gordura. A mesma tendência de coloração foi observado por Ribeiro et al. (2007) para filé de mapará ( $L^* = 69,82$ ,  $a^* = +1,00$  e  $b^* = 18,00$ ).



**Figura 4.** Representação do sólido colorido para o espaço colorimétrico  $L^*ab$  (Minolta,1994).

Com relação à cromaticidade ( $C^*$ ), que é dependente dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  na mesma intensidade, verificou-se que os resultados sofreram maior influência da cor amarela do que da cor vermelha. O valor do ângulo de tonalidade ( $h^\circ = 82,05$ ) também indicou tendência à cor amarela, pois se aproximou de  $90^\circ$ . Segundo Alves et al. (2008), para a análise do ângulo de tonalidade, o ângulo  $h^\circ = 0^\circ$  é fixado no eixo horizontal com  $a^+$  (vermelho) e, girando no sentido anti-horário, tem-se,  $h^\circ = 90^\circ$  (amarelo),  $h^\circ = 180^\circ$  (verde) e  $h^\circ = 270^\circ$  (azul).

#### 5.4 ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE DO MAPARÁ

Os dados de adsorção e dessorção de umidade para o filé de mapará desidratado são apresentados na Tabela 7. Durante os ensaios de adsorção e dessorção não foram observadas mudanças visuais nas amostras, como perda de fluidez, desenvolvimento de fungos e escurecimento. De acordo com os dados de

adsorção, o filé de mapará desidratado terá estabilidade microbiológica ( $a_w < 0,6$ ) (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980) a 25°C, quando apresentar umidade inferior a 7,0 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.

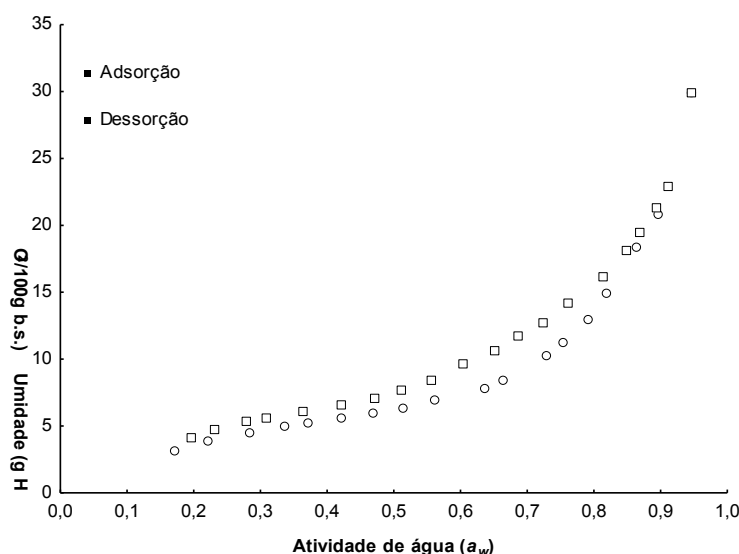
**Tabela 7.** Dados de sorção de umidade do filé de mapará desidratado (*Hypophthalmus edentatus*) a 25°C.

Adsorção		Dessorção	
$a_w$	$m^*$	$a_w$	$m^*$
0,17	3,06	0,95	29,81
0,22	3,86	0,91	22,79
0,29	4,38	0,89	21,22
0,34	4,91	0,87	19,44
0,37	5,22	0,85	18,03
0,42	5,55	0,82	16,15
0,47	5,96	0,76	14,09
0,51	6,29	0,73	12,71
0,56	6,88	0,69	11,72
0,64	7,73	0,65	10,53
0,67	8,42	0,61	9,55
0,73	10,20	0,56	8,39
0,75	11,21	0,51	7,65
0,79	12,85	0,47	7,02
0,82	14,81	0,42	6,49
0,87	18,32	0,37	6,06
0,90	20,75	0,31	5,58
0,95	29,81	0,28	5,32
		0,23	4,63
		0,20	4,05

\* $m$  = umidade (g H<sub>2</sub>O/100 g b.s);  $a_w$  = atividade de água.

Na Figura 5 são apresentadas as isotermas de adsorção e dessorção de umidade do filé de mapará desidratado, as quais se comportaram como sigmóides, sendo classificadas como isotermas tipo II, de acordo com a IUPAC (1985), e como tipo II a e tipo II b, respectivamente, segundo classificação proposta por Blahovec e Yanniotis (2009). Segundo estes autores e Sawin (1963), isotermas tipo II são característica de produtos ricos em amido e/ou proteína, como é o caso do produto estudado, no qual o teor protéico representou mais que 50% da matéria seca. Comportamento tipo II foi observado por Assunção e Pena (2007), para isotermas de adsorção e dessorção do resíduo seco de camarão rosa e por Hubinger et al. (2009), para a isoterma de dessorção de filé de bonito (*Sarda sarda*). Por outro lado,

Lourenço et al. (2011) obtiveram isoterma de adsorção tipo III para farinha do tipo piracuí de Acari-Bodo (*Liposarcus pardalis* Castelnau). Neste caso a mudança de comportamento da isoterma pode ser atribuída à adição de sal ao produto, por ser o sal altamente solúvel em água.



**Figura 5.** Isoterma de sorção do filé de mapará desidratado (*Hypophthalmus edentatus*) a 25°C.

A isoterma de adsorção apresentou um aumento exponencial a partir da  $a_w$  0,5, o que indica que o produto necessitará de maiores cuidados quando manipulado ou armazenado em ambientes com umidade relativa superior a 50%, pois ganhará água com maior facilidade, o que o deixará mais susceptível a deteriorações e proliferação de micro-organismos, especialmente se a  $a_w$  aumentar para níveis superiores a 0,6. Quando armazenado nessas condições é altamente recomendável que o produto seja acondicionado em embalagens impermeáveis ao vapor de água, para que lhe seja garantida uma maior estabilidade.

A diferença observada entre as isotermas de adsorção e dessorção do mapará desidratado (Figura 5), que se estendeu na faixa de  $a_w$  de 0,3 a 0,85, caracteriza o efeito de histerese, que segundo Kurozawa, El-Aouar e Murr (2005) ocorre devido a condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, impurezas na superfície e mudança de fase.

Os valores da umidade equivalente à monocamada ( $m_0$ ), para os processos de adsorção e dessorção do produto, são apresentados na Tabela 8, juntamente com os valores da constante C de BET e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos

ajustes. Os valores de  $m_0$  para o processo de adsorção e dessorção não diferiram significativamente, com 95% de confiança ( $p > 0,05$ ). Com base nos valores de  $m_0$ , não é recomendado secar o filé de mapará em níveis de umidade inferiores a 4,2 g de  $H_2O/100$  g b.s., para evitar elevação no consumo de energia (ROCKLAND, 1969; MISHRA; OORAIKUL; TEMELLI, 1996) e para não criar condições para a oxidação dos lipídios, que são abundantes no produto (BOBBI; BOBBIO, 1992; FENNEMA, 2010). Nesse nível de umidade, a  $a_w$  do produto será aproximadamente 0,2, o que assegurará a sua estabilidade microbiológica (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980). Assunção e Pena (2007) encontraram valor de  $m_0$  de 7,3 g  $H_2O/100$  g b.s para o processo de dessorção do resíduo de camarão rosa.

**Tabela 8.** Parâmetros da equação de BET linearizada para os dados de adsorção e dessorção do filé de mapará desidratado (*Hypophthalmus edentatus*) a 25°C.

Processo	$m_0$	C	$R^2$
Adsorção	3,59 <sup>a</sup>	17,50 <sup>b</sup>	0,9994
Dessorção	4,22 <sup>a</sup>	20,06 <sup>a</sup>	0,9882

$m_0$  – umidade da monocamada (g  $H_2O/100$ g b.s.); C – constante relacionada com o calor de adsorção;  $R^2$  – coeficiente de determinação. Valores na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t de Student.

## 5.5 MODELAGEM DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

Os parâmetros dos modelos, juntamente com os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e dos desvios médios relativos (P), referentes aos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de adsorção e dessorção de umidade do filé de mapará desidratado são apresentados na Tabela 9.

Com base no valor do coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,99$ ), os modelos bi-paramétricos de Halsey e Oswin e os tri-paramétricos de BET e GAB foram os que apresentaram os melhores ajustes aos dados de adsorção do produto, enquanto os modelos que melhor se ajustaram aos dados de dessorção foram os bi-paramétricos de Halsey, Oswin e Smith e o tri-paramétrico de GAB. De acordo com Peng (2007), para propósitos práticos, valores de  $P < 10\%$  indicam bons ajustes para modelos de sorção de umidade. Com base nesse critério os modelos que apresentaram ajustes satisfatórios aos dados de adsorção foram também Halsey, Oswin, BET, GAB, enquanto para a dessorção, além dos modelos de Halsey, Oswin, Smith e GAB, devem ser considerados os modelos de Handerson e BET.



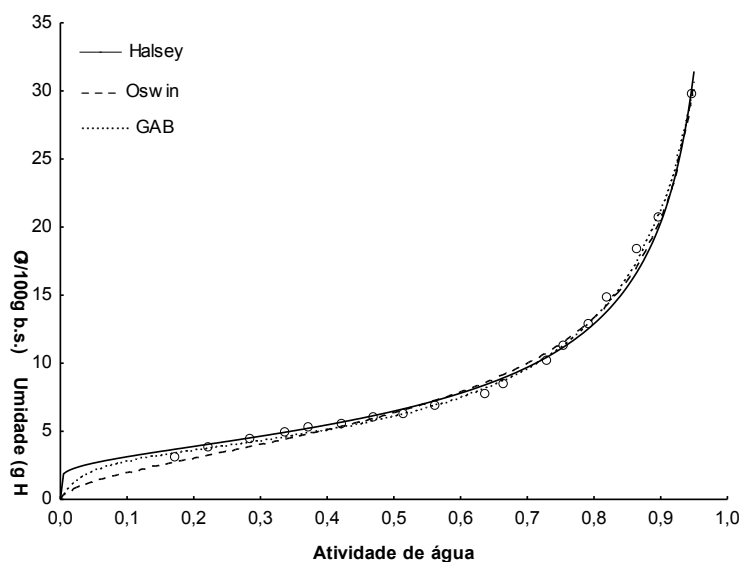
**Tabela 9.** Parâmetros da modelagem matemática das isotermas de sorção do filé de mapará desidratado (*Hypophthalmus edentatus*) a 25°C.

	Modelos matemáticos	Número de parâmetros	Parâmetros da equação	R <sup>2</sup>	P (%)
Adsorção	Halsey	2	a = 15,12; b = 1,65	0,9924	4,9
	Handerson	2	a = 0,14; b = 0,92	0,9685	17,3
	Kuhn	2	a = 1,52; b = 4,47	0,9378	17,2
	Mizrahi	2	a = -5,13; b = -3,60	0,9351	17,8
	Oswin	2	a = 6,37; b = 0,53	0,9942	6,1
	Smith	2	a = 0,20; b = 8,94	0,9650	14,5
	BET	3	m <sub>o</sub> = 2,77; c = 93.577,49; n = 25,49	0,9922	6,8
	GAB	3	m <sub>o</sub> = 3,39; c = 29,63; k = 0,94	0,9982	3,3
Dessorção	Halsey	2	a = 35,99; b = 1,90	0,9903	7,1
	Handerson	2	a = 0,07; b = 1,13	0,9847	8,8
	Kuhn	2	a = 1,49; b = 6,07	0,9099	20,0
	Mizrahi	2	a = -6,72; b = -5,23	0,9066	20,5
	Oswin	2	a = 7,95; b = 0,46	0,9977	2,8
	Smith	2	a = 1,66; b = 8,85	0,9927	5,1
	BET	3	m <sub>o</sub> = 3,50; c = 226.168,70; n = 17,00	0,9815	6,2
	GAB	3	m <sub>o</sub> = 4,46; c = 19,68; k = 0,89	0,9968	2,6

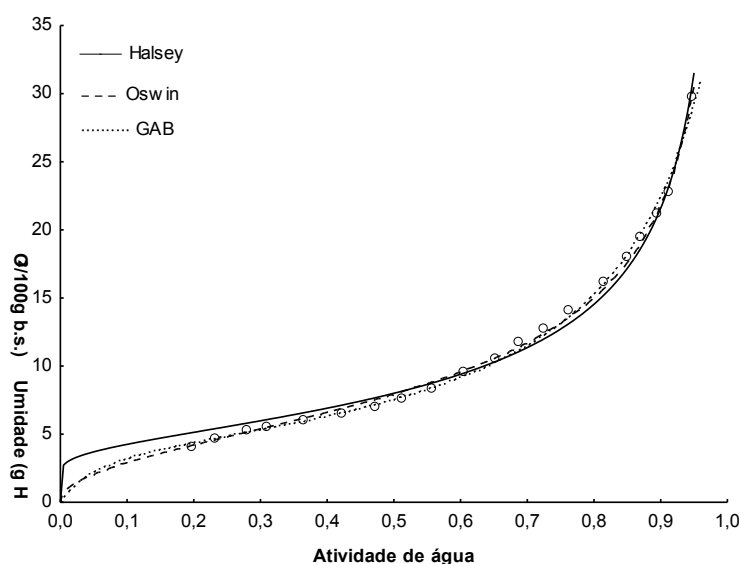
Faixa de a<sub>w</sub> para a adsorção (0,17 – 0,95) e dessorção (0,95 – 0,20); R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação; P – desvio médio relativo.

Com base nos valores de R<sup>2</sup> e P, e nos significados físicos dos parâmetros preditos, os modelos matemáticos que se mostraram capazes de predizer com muito boa precisão as isotermas tanto de adsorção, quanto de dessorção do filé de mapará desidratado foram os bi-paramétricos Halsey e Oswin, e o tri-paramétrico GAB, cujos ajustes podem ser observados nas Figuras 7 e 8. O modelo de BET também apresentou bons ajustes aos dados de adsorção e dessorção, mas ele foi desconsiderado pelo fato do valor predito para o parâmetro c não apresentar significado físico.

Embora o modelo de GAB tenha apresentado os melhores ajustes aos dados de sorção do produto, os modelos de Halsey e Oswin, por possuírem apenas dois parâmetros, são facilmente linearizados, o que simplifica as suas soluções matemáticas. Como, de acordo com as Figuras 6 e 7, as isotermas preditas pelo modelo de Halsey apresentaram um desvio mais acentuado para baixos níveis de a<sub>w</sub>, recomenda-se a utilização do modelo de Oswin para a predição das isotermas de adsorção e dessorção de umidade do filé de mapará desidratado a 25°C. No trabalho realizado por Assunção e Pena (2007), com resíduo seco de camarão rosa, o modelo que apresentou melhor ajuste aos dados de sorção foi o de Halsey.



**Figura 6.** Isotherma de adsorção do filé de mapará desidratado (*Hypophthalmus edentatus*) a 25°C, com os ajustes dos modelos de Halsey, Oswin e GAB.

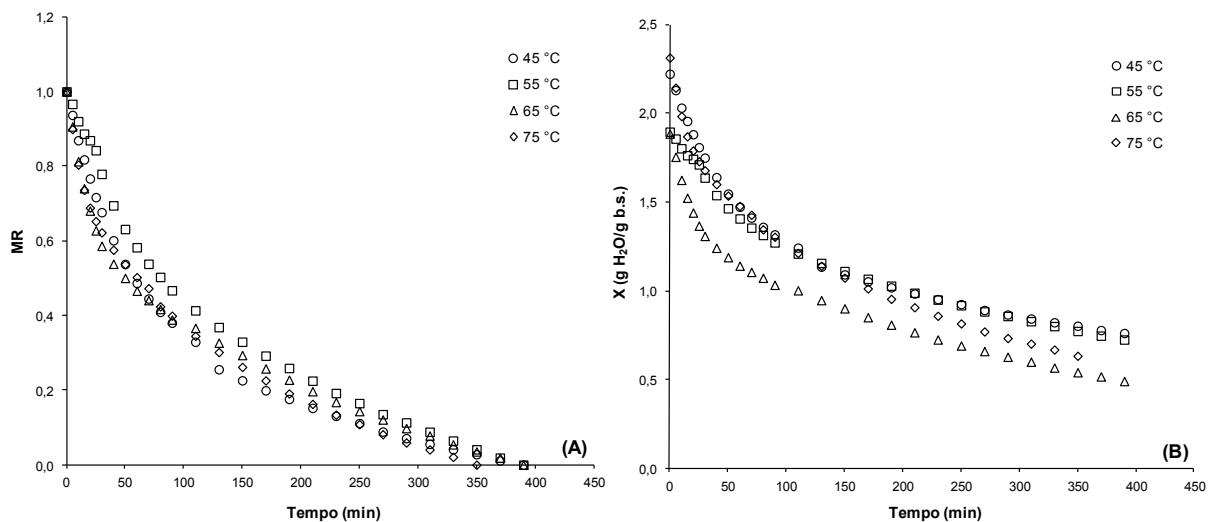


**Figura 7.** Isotherma de desorção do filé de mapará desidratado (*Hypophthalmus edentatus*) a 25°C, com os ajustes dos modelos de Halsey, Oswin e GAB.

## 5.6 SECAGEM DO FILÉ DE MAPARÁ EM CONDIÇÃO ISOTÉRMICA

As curvas de secagem com o efeito do tempo de secagem sobre a relação de umidade ( $MR = (X - X_e)/(X_o - X_e)$ ) e sobre a umidade de equilíbrio, para os diferentes processos isotérmicos (45 a 75°C), são apresentadas na Figura 8. O comportamento das curvas indica que a temperatura de secagem provocou mudança na taxa de secagem do produto, porém não foi obdescida uma tendência padrão. De maneira

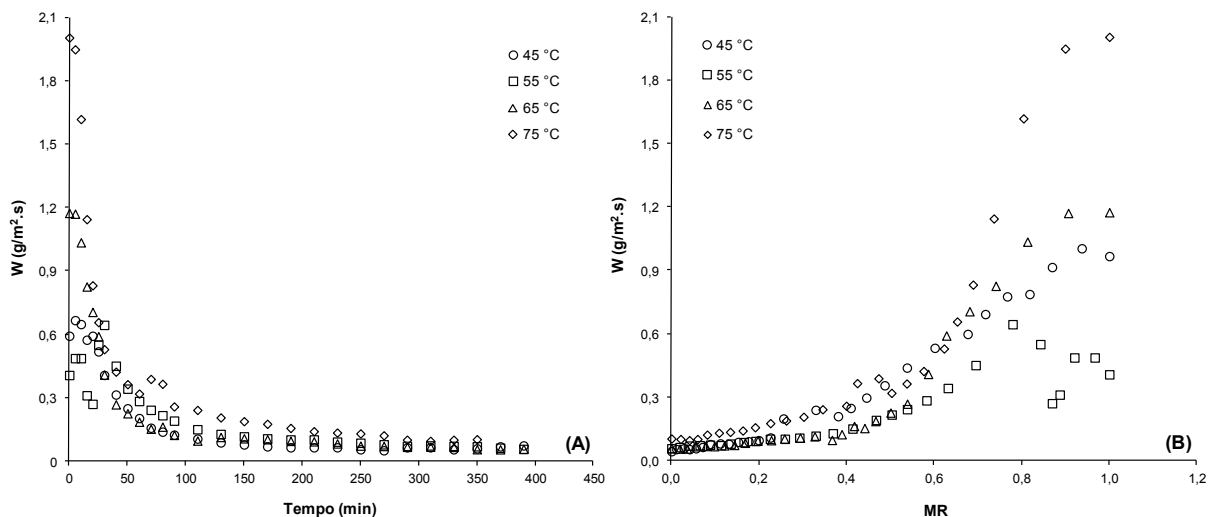
geral, o aumento da temperatura acelera o processo de secagem, fazendo com que a amostra sofra maior redução de umidade, especialmente no início do processo, o que provoca a redução do tempo de secagem (FIORENTIN et al., 2010).



**Figura 8.** Curvas de secagem do filé de mapará nas diferentes condições de temperatura isotérmicas: (A) MR x tempo e (B) Umidade x tempo.

Os efeitos do tempo de secagem e da relação de umidade (MR) sobre a taxa de secagem nas condições isotérmicas são apresentados nas Figuras 9A e 9B, respectivamente. De acordo com as figuras, durante todo o processo realizado a 75°C, as taxas de secagens foram superiores aos demais processos (45 a 65°C). A secagem a 65°C apresentou taxas maiores que as secagens a 55 e 45°C, até 30 minutos de secagem (Figura 9A) e um MR de 0,62 (Figura 9B), quando as taxas se igualaram ao processo realizado a 45°C. Ao contrário do que era esperado, a secagem a 55°C apresentou as menores taxas de secagem, inclusive em relação ao processo realizado a 45°C, até um MR de 0,54 (Figura 9B). Segundo Mujumdar e Devahastin (2000), a medida que a temperatura do ar de secagem diminui, o potencial de vaporização de umidade na superfície do peixe, e a taxa de secagem também são reduzidos.

Djendoubi et al. (2009) observaram que a cinética de secagem de músculos de sardinha (*Sardina pilchardus*) não apresentou período de taxa constante, e que a taxa de secagem aumentou com a temperatura. Jain e Pathare (2007), ao estudarem a secagem de peixe em secador solar, observaram que a velocidade de secagem diminuiu com a redução da umidade, e que as taxas de secagem foram decrescentes durante todo o processo.



**Figura 9.** Curvas de taxa de secagem ( $W$ ) do filé de mapará nas diferentes condições de temperatura isotérmicas: (A)  $W$  x tempo e (B)  $W$  x MR.

Embora a temperatura tenha provocado mudanças significativas na taxa de secagem do filé de mapará, o menor nível de umidade foi observado para o produto seco a 65°C (33% ou 49 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.), enquanto o produto seco a 45°C não conseguiu obter umidade inferior a 43% (76 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.) (Figura 9B). Os níveis de umidade obtidos são bem superiores aos 7,0 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s. requerido para assegurar a estabilidade microbiológica do produto a 25°C, conforme revelou a avaliação higroscópica do mesmo.

A limitação imposta à saída de água do filé de mapará pode ser atribuída ao seu elevado teor de gordura, que representou aproximadamente 46% da matéria seca do produto. Segundo Ribeiro (2005), o caráter hidrofóbico da gordura dificulta a migração da água do interior para a superfície do produto, restringindo a sua eliminação. Freire et al. (2003) atribuíram ao colágeno e a gordura a limitação da transferência de massa em músculo de peixe, o que alterou a velocidade de secagem durante o período de velocidade decrescente. Efeitos negativos da gordura sobre a migração de água também foram observados por Collignan et al. (2001).

Os valores da difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ) calculados para as diferentes condições de secagem isotérmica são apresentadas na Tabela 10. Os valores estão na faixa geral observada para alimentos ( $10^{-11}$  e  $10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s), relatada por Panagiotou et al. (2004), porém foram superiores aos observados por Jain e Pathare (2007) ( $8,71 \times 10^{-11}$  e  $11,11 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s) para a secagem do peixe chelwa (*Oxygaster bacaila*) e de camarão, respectivamente, e por Ortiz et al. (2013) ( $1,08 \times 10^{-10}$ ,  $1,56 \times 10^{-10}$  e

$1,90 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ) para secagem de filés de salmão (*Salmo salar* L.) a 40, 50 e 60°C, respectivamente.

**Tabela 10.** Valor da difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ) dos processos de secagem do filé de mapará, em condições isotérmicas.

Temperatura (°C)	$D_{\text{eff}}$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$R^2$
45	$1,68 \times 10^{-9}$	0,9934
55	$1,32 \times 10^{-9}$	0,9939
65	$1,39 \times 10^{-9}$	0,9653
75	$1,51 \times 10^{-9}$	0,9828

A  $D_{\text{eff}}$  não aumentou com a temperatura de secagem (Tabela 10), em toda a faixa estudada (45 a 75°C), como era esperado. Nos processos realizados de 55 a 75°C o aumento da  $D_{\text{eff}}$  foi evidente, mas o maior valor foi observado para a secagem realizada a 45°C. Esse comportamento sugere que o aumento da temperatura provocou a desnaturação de proteínas, dificultando sua ação emulsificante sobre os lipídios, que passam a ser uma maior barreira à transferência de massa. Bastos (1977) observou que a solubilidade das proteínas reduziu com o aumento da temperatura de secagem.

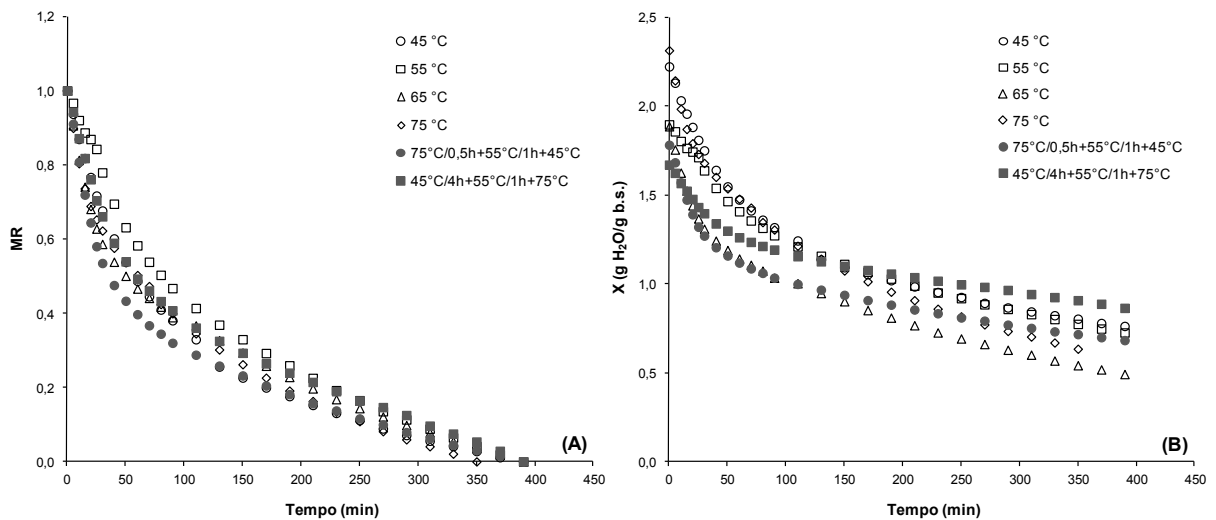
## 5.7 SECAGEM DO FILÉ DE MAPARÁ COM RAMPA DE TEMPERATURA

As curvas de secagem e de taxa de secagem do filé de mapará, para os processos com rampa de temperatura, são apresentadas na Figura 10 e na Figura 11, respectivamente. Nessas figuras foram também incluídas as curvas obtidas nas condições isotérmicas (45 a 75°C), para efeitos de comparação.

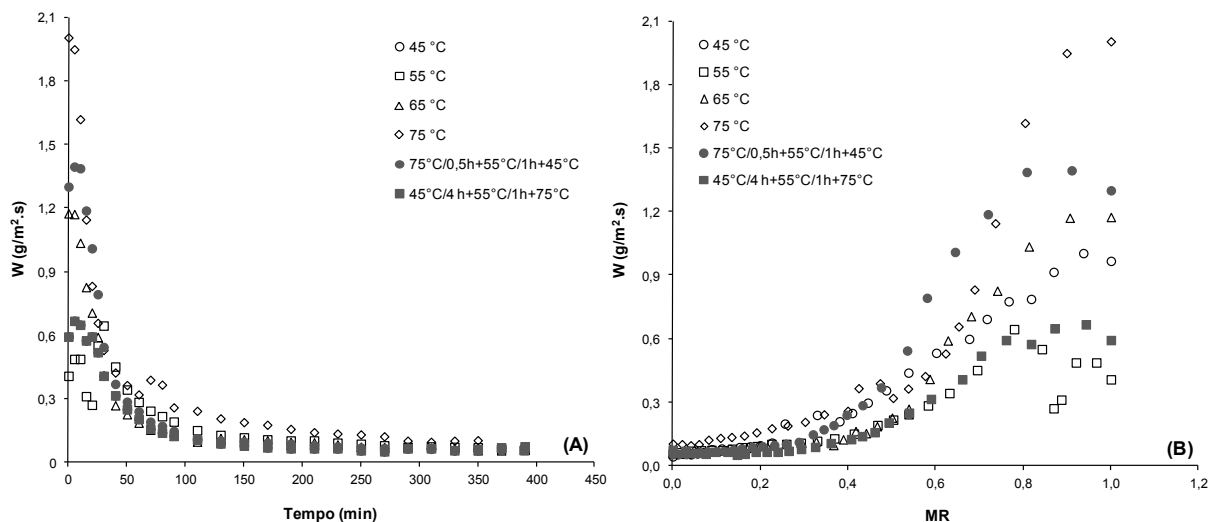
As curvas de secagem (Figura 10A e 10B) e de cinética de secagem (Figura 11A e 11B) fica evidente que o processo realizado com rampa de temperatura descendente (75°C/0,5 h + 55°C/1 h + 45°C) alcançou taxas de secagem superiores ao processo com rampa ascendente (45°C/4 h + 55°C/1 h + 75°C), durante a maior parte do processo. Os valores da difusividade efetiva ( $D_{\text{eff}}$ ), de  $1,41 \times 10^{-9}$  e  $1,38 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) para os dois processos, respectivamente, confirmam esse comportamento.

A secagem com rampa de temperatura descendente proporcionou taxas de secagem superiores a melhor condição de secagem isotérmica (75°C) (Figuras 11A e 11B), porém a umidade do produto seco foi ligeiramente superior (40,6%) a

observada para o referido processo isotérmico (38,8%). Por outro lado, o processo com rampa de temperatura ascendente só apresentou taxas de secagem superiores à secagem isotérmica a 55°C (Figura 11B), que foi o mais lento de todos os processos.



**Figura 10.** Curvas de secagem do filé de mapará nas diferentes condições de processo: (A) MR x tempo e (B) Umidade x tempo.



**Figura 11.** Curvas de taxa de secagem ( $W$ ) do filé de mapará nas diferentes condições de processo: (A)  $W$  x tempo e (B)  $W$  x MR.

Embora a secagem com rampa de temperatura descendente tenha apresentado melhores resultados que o processo com rampa ascendente, em ambos os casos a umidade final do produto (68 e 86 H<sub>2</sub>O/100 g b.s., respectivamente) (Figura 10), também não atingiu os 7,0 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s. requeridos para assegurar sua estabilidade microbiológica a 25°C.

Tomando como base a umidade do produto, após secagem em condições isotérmicas (45 a 75°C) e com rampa de temperatura, descendente e ascendente (33,0 a 46,4%), pode-se afirmar que a secagem em camada delgada e leito fixo, não assegura a estabilidade do filé de mapará desidratado, se mantido à temperatura ambiente. Sugere-se nesse caso a utilização de um processo de conservação combinado, como a desidratação osmótica.

## 5.8 MODELAGEM DA SECAGEM

Na Tabela 11 são apresentados os valores das constantes dos modelos matemáticos semi-empíricos ajustados aos dados de secagem, nas diferentes condições de processo; juntamente com os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Os modelos de Page, Page modificado, Aproximação da Difusão, Midili e Dois termos apresentaram  $R^2 > 0,98$ , o que indica o excelente ajuste dos mesmos aos dados experimentais. Os valores de  $\chi^2$  observados para esses modelos, confirmam que eles podem ser utilizados com excelente precisão na predição das curvas de secagem em camada delgada do filé de mapará.

Entre os modelos que apresentaram os melhores ajustes, destacam-se os modelos de Page e Page modificado, por apresentam apenas dois parâmetros, o que permite a linearização dos mesmos e a fácil solução matemática, por regressão linear simples. O modelo Aproximação da difusão tem três parâmetros, enquanto os modelos de Midili e Dois termos têm quatro parâmetros, o que demandará regressão não linear para a solução matemática dos mesmos. Como o modelo de Page modificado é derivado do modelo de Page, recomenda-se a utilização deste último na predição das curvas de secagem do filé de mapará, pela sua simplicidade e pelo seu amplo uso na descrição de cinéticas de secagem.

O modelo de Page tem sido largamente utilizado para representar as curvas de secagem de alimentos e de produtos agrícolas (PACHECO et al., 2011). Desta forma dentre os modelos que apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, Djendoubi et al. (2009) verificaram que o modelo de Page também foi selecionado para representar o fenômeno de secagem de músculo de sardinha (*Sardina pilchardus*). Diferente de Jain e Pathare (2007), que encontrou o modelo Logarítmico como melhor ajuste aos dados de secagem solar de peixe e camarão, enquanto para Darvish et al. (2012) o modelo de Midili foi o que melhor predisse as curvas de secagem de sardinha (*Sardine laurite*).

**Tabela 11.** Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados de secagem filé de mapará nas diferentes condições de processo.

Nº do Modelo	T (°C)	a	b	c	K	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	N	g	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>
1	45	-	-	-	0,0108	-	-	-	-	0,9892	1,07x10 <sup>-3</sup>
	55	-	-	-	0,0079	-	-	-	-	0,9936	0,67x10 <sup>-3</sup>
	65	-	-	-	0,0106	-	-	-	-	0,9218	6,21x10 <sup>-3</sup>
	75	-	-	-	0,0108	-	-	-	-	0,9549	3,81x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 1	-	-	-	0,0116	-	-	-	-	0,9044	6,73x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 2	-	-	-	0,0095	-	-	-	-	0,9607	3,44x10 <sup>-3</sup>
2	45	-	-	-	0,0215	-	-	0,8482	-	0,9980	1,97x10 <sup>-4</sup>
	55	-	-	-	0,0100	-	-	0,9513	-	0,9946	6,07x10 <sup>-4</sup>
	65	-	-	-	0,0463	-	-	0,6790	-	0,9868	10,90x10 <sup>-4</sup>
	75	-	-	-	0,0348	-	-	0,7442	-	0,9900	8,85x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 1	-	-	-	0,0589	-	-	0,6370	-	0,9886	6,83x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 2	-	-	-	0,0295	-	-	0,7570	-	0,9922	7,12x10 <sup>-4</sup>
3	45	-	-	-	0,0108	-	-	0,8482	-	0,9980	1,97x10 <sup>-4</sup>
	55	-	-	-	0,0079	-	-	0,9513	-	0,9946	6,07x10 <sup>-4</sup>
	65	-	-	-	0,0108	-	-	0,6790	-	0,9868	10,90x10 <sup>-4</sup>
	75	-	-	-	0,0110	-	-	0,7442	-	0,9900	8,17x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 1	-	-	-	0,0117	-	-	0,6370	-	0,9886	6,83x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 2	-	-	-	0,0095	-	-	0,7571	-	0,9922	7,12x10 <sup>-4</sup>
4	45	0,9469	-	-	0,0100	-	-	-	-	0,9934	0,68x10 <sup>-3</sup>
	55	0,9889	-	-	0,0078	-	-	-	-	0,9939	0,68x10 <sup>-3</sup>
	65	0,8520	-	-	0,0082	-	-	-	-	0,9653	2,86x10 <sup>-3</sup>
	75	0,8823	-	-	0,0090	-	-	-	-	0,9828	1,52x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 1	0,8311	-	-	0,0084	-	-	-	-	0,9500	2,43x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 2	0,9070	-	-	0,0082	-	-	-	-	0,9769	2,09x10 <sup>-3</sup>
5	45	0,2151	-	-	0,0387	-	-	-	-	0,9986	0,14x10 <sup>-3</sup>
	55	0,5467	-	-	0,0105	-	-	-	-	0,9942	0,65x10 <sup>-3</sup>
	65	0,1792	-	-	0,0471	-	-	-	-	0,9671	2,72x10 <sup>-3</sup>
	75	0,1527	-	-	0,0581	-	-	-	-	0,9849	1,33x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 1	0,2049	-	-	0,0431	-	-	-	-	0,9541	3,39x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 2	0,1954	-	-	0,0381	-	-	-	-	0,9883	1,06x10 <sup>-3</sup>
6	45	0,2288	0,2142	-	0,0382	-	-	-	-	0,9988	1,39x10 <sup>-4</sup>
	55	0,0866	0,2548	-	0,0285	-	-	-	-	0,9948	5,90x10 <sup>-4</sup>
	65	0,3027	0,0875	-	0,0738	-	-	-	-	0,9938	5,33x10 <sup>-4</sup>
	75	0,2036	0,0673	-	0,1170	-	-	-	-	0,9962	3,47x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 1	0,4158	0,1020	-	0,0544	-	-	-	-	0,9958	2,90x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 2	0,2981	0,1483	-	0,0416	-	-	-	-	0,9952	4,55x10 <sup>-4</sup>
7	45	0,9304	-	0,0300	0,0110	-	-	-	-	0,9948	0,57x10 <sup>-3</sup>
	55	0,9925	-	-0,0053	0,0077	-	-	-	-	0,9938	0,70x10 <sup>-3</sup>
	65	0,8253	-	0,0476	0,0098	-	-	-	-	0,9677	2,78x10 <sup>-3</sup>
	75	0,8751	-	0,0110	0,0093	-	-	-	-	0,9829	1,58x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 1	0,8075	-	0,0757	0,0120	-	-	-	-	0,9620	2,39x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 2	0,8705	-	0,0661	0,0103	-	-	-	-	0,9816	1,74x10 <sup>-3</sup>
8	45	0,9305	-	-	0,0097	-	-	-	2,8712	0,9948	0,56x10 <sup>-3</sup>
	55	0,9861	-	-	0,0078	-	-	-	2,8987	0,9940	0,70x10 <sup>-3</sup>
	65	0,8138	-	-	0,0077	-	-	-	2,8424	0,9781	1,87x10 <sup>-3</sup>
	75	0,8102	-	-	0,0085	-	-	-	2,8359	0,9912	0,82x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 1	0,7845	-	-	0,0077	-	-	-	2,8506	0,9656	1,61x10 <sup>-3</sup>
	Rampa 2	0,8825	-	-	0,0078	-	-	-	3,0000	0,9816	1,50x10 <sup>-3</sup>
9	45	1,0208	-0,0001	-	0,0285	-	-	0,7822	-	0,9988	1,32x10 <sup>-4</sup>
	55	1,0317	-0,0002	-	0,0181	-	-	0,8151	-	0,9966	4,11x10 <sup>-4</sup>
	65	1,0253	-0,0004	-	0,0795	-	-	0,5325	-	0,9948	4,71x10 <sup>-4</sup>
	75	1,0104	-0,0005	-	0,0610	-	-	0,5818	-	0,9988	1,19x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 1	1,0379	-0,0001	-	0,0851	-	-	0,5495	-	0,9917	3,60x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 2	1,0363	-0,0002	-	0,0469	-	-	0,6470	-	0,9946	5,28x10 <sup>-4</sup>
10	45	0,7760	0,2308	-	-	0,0082	0,0404	-	-	0,9988	1,41x10 <sup>-4</sup>
	55	0,9065	0,1108	-	-	0,0072	0,0328	-	-	0,9950	5,88x10 <sup>-4</sup>
	65	0,6985	0,3157	-	-	0,0065	0,0774	-	-	0,9940	5,44x10 <sup>-4</sup>
	75	0,7967	0,2113	-	-	0,0079	0,1208	-	-	0,9962	3,59x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 1	0,5878	0,4337	-	-	0,0056	0,0580	-	-	0,9961	2,87x10 <sup>-4</sup>
	Rampa 2	0,7064	0,3120	-	-	0,0062	0,0453	-	-	0,9954	4,40x10 <sup>-4</sup>

Rampa 1: 75°C/0,5 h + 55°C/1 h + 45°C; Rampa 2: 45°C/4 h + 55°C/1 h + 75°C



## 5.9 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO MAPARÁ DESIDRATADO

A umidade, a  $a_w$  e os parâmetros de cor instrumental do filé de mapará, após secagem nas diferentes condições de processo (45 a 75°C) e moagem, são apresentados na Tabela 12. Embora tenha sido observada uma tendência de redução da umidade do produto, com o aumento da temperatura de secagem, em nenhuma das condições de processo estudadas a umidade do produto (32,98-46,36%) atendeu as especificações do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, na qual o pescado seco não deve conter mais de 12% de umidade (BRASIL, 1997c). Umidades superiores a 32% e os valores de  $a_w$  extremamente elevados ( $a_w > 0,97$ ) confirmam que nenhuma das condições de secagem assegurou a estabilidade microbiológica do produto ( $a_w < 0,6$ ) (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980).

**Tabela 12.** Parâmetros físicos do filé de mapará obtido nas diferentes condições de temperatura.

Parâmetro	Condição de secagem						
	45°C	55°C	65°C	75°C	Rampa 1	Rampa 2	
<b>Umidade</b>	43,27±0,15 <sup>b</sup>	42,06±0,83 <sup>b</sup>	32,98±0,79 <sup>e</sup>	38,81±0,22 <sup>d</sup>	40,58±0,23 <sup>c</sup>	46,36±0,32 <sup>a</sup>	
<b><math>a_w</math></b>	0,981±0,002 <sup>ab</sup>	0,978±0,002 <sup>bc</sup>	0,976±0,001 <sup>c</sup>	0,982±0,002 <sup>ab</sup>	0,979±0,001 <sup>bc</sup>	0,985±0,002 <sup>a</sup>	
<b>Cor</b>	<b>L*</b>	70,59±0,30 <sup>b</sup>	70,44±0,26 <sup>b</sup>	70,09±0,21 <sup>bc</sup>	74,83±0,66 <sup>a</sup>	68,94±0,49 <sup>c</sup>	62,64±0,49 <sup>d</sup>
	<b>a*</b>	3,15±0,13 <sup>ab</sup>	3,47±0,08 <sup>a</sup>	2,64±0,03 <sup>c</sup>	2,73±0,15 <sup>bc</sup>	2,83±0,12 <sup>bc</sup>	2,80±0,36 <sup>d</sup>
	<b>b*</b>	20,29±0,18 <sup>c</sup>	21,46±0,14 <sup>b</sup>	21,23±0,04 <sup>b</sup>	22,48±0,12 <sup>a</sup>	20,10±0,14 <sup>c</sup>	23,17±0,59 <sup>a</sup>
	<b>C*</b>	20,54±0,17 <sup>c</sup>	21,73±0,15 <sup>b</sup>	21,40±0,05 <sup>b</sup>	22,65±0,13 <sup>a</sup>	20,31±0,13 <sup>c</sup>	11,03±0,36 <sup>d</sup>
	<b>h°</b>	81,16±0,38 <sup>c</sup>	80,82±0,16 <sup>c</sup>	82,02±0,07 <sup>b</sup>	83,08±0,35 <sup>b</sup>	81,73±0,19 <sup>c</sup>	88,38±0,79 <sup>a</sup>
<b><math>\Delta E</math></b>	5,36±0,25 <sup>b</sup>	4,18±0,29 <sup>b</sup>	4,47±0,26 <sup>b</sup>	5,85±0,50 <sup>b</sup>	5,61±0,18 <sup>b</sup>	7,77±1,32 <sup>a</sup>	

Rampa 1: 75°C/0,5 h + 55°C/1 h + 45°C; Rampa 2: 45°C/4 h + 55°C/1 h + 75°C; L\*: luminosidade; b\*: intensidade da cor amarela; a\*: intensidade da cor vermelha; C\*: cromaticidade; h°: ângulo de tonalidade;  $\Delta E^*$ : diferença total de cor. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O padrão de cor do mapará seco, para todas as condições de temperaturas estudadas, não sofreu alteração altamente significativa quando comparado com o file *in natura*. Houve uma suave intensificação da tendência à cor clara (L\*) (62,64-74,83) e redução da cor vermelha (a\*) (2,64-3,47) e da cor amarela (b\*) (20,10-23,17). A intensidade da cromaticidade (C\*) (11,03 a 22,65) continuou mais dependente da cor amarela (b\*) que da cor vermelha (a\*) e o ângulo de tonalidade (h°) (80,82-88,38) confirmou a tendência dos produtos à cor amarela (ALVES et al., 2008). A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) só apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para o produto seco com rampa ascendente de temperatura (Rampa 2), o qual

sofreu a maior variação de cor. Não foi observada uma relação definida entre a variação dos parâmetros de cor e a temperatura de secagem.

## 5.10 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS

De acordo com os perfis de ácidos graxos apresentados na Tabela 13, o ácido palmítico (C16:0) foi o majoritário (34,54-44,05%), tanto na fração graxa do filé *in natura* quanto nos produtos secos nas diferentes condições de processo. Em seguida, as frações mais representativas foram dos ácidos oléico (C18:1) (11,15-20,35%), esteárico (C18:0) (6,91-12,40%), palmitoléico (C16:1) (5,21-10,06%) e mirístico (C14:0) (4,59-8,98).

Souza et al. (2008) encontraram como principais constituintes da fração graxa do filé de mapará os ácidos palmítico (36,7%), oléico (11,4%), esteárico (8,8%), palmitoléico (7,8%) e mirístico (6,5%); mesmo padrão observado para os produtos do presente estudo. Na pesquisa de Souza et al. (2008) foram avaliados os perfis graxos dos filés de duas outras espécies de peixes, a pescada amarela e o bagre, para os quais o ácido palmítico também foi o majoritário (27,6-38,2%). Ramos Filho et al. (2008) avaliaram o perfil de ácidos graxos em filés de quatro espécies de peixes (cachara, pintado, pacu e dourado), e observaram que o ácido oléico foi predominante (20,25-37,25%), seguido do ácido palmítico (19,96-21,37%) e do esteárico (7,39-9,82%).

Tanto no filé *in natura* quanto nos produtos secos, os ácidos graxos saturados (AGS) foram os predominantes (51,05-63,90%), seguidos dos ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) (27,70-41,27%) e dos ácidos graxos polinsaturados (AGPI) (3,62-16,19%). Analisando apenas os ácidos graxos essenciais, constata-se que os ácidos linoléico (C18:2,  $\omega$ -6), linolênico (C18:3,  $\omega$ -3), eicosatrienóico (ETA) (C20:3,  $\omega$ -3), araquidônico (C20:4,  $\omega$ -6), eicosapentaenóico (EPA) (20:5,  $\omega$ -3) e docosahexaenóico (DHA) (C22:6,  $\omega$ -3) representaram 15,89% da fração graxa do filé *in natura* e valores que variaram de 3,43 a 7,52% para os produtos secos. Com base nesses resultados, é possível afirmar que as condições de secagem degradaram, no mínimo, 50% dos ácidos graxos essenciais e que o aumento da temperatura de secagem (45-75°C) favoreceu tal degradação.

Na fração lipídica do filé *in natura* o ácido graxo essencial predominante foi o eicosapentaenóico (5,05%), enquanto nos produtos secos foi o ácido linoléico (2,44-6,37%). Uma atenção especial deve ser dada aos ácidos essenciais linolênico

(C18:3,  $\omega$ -3) e eicosapentaenóico (C20:5,  $\omega$ -3), que foram drasticamente degradados em todas as condições de secagem estudadas. Esse comportamento é atribuído ao aumento da velocidade das reações de oxidação, com o aumento da temperatura, considerando que o agente de secagem utilizado foi o ar. Souza et al. (2008) observaram o seguinte perfil de ácidos graxos essenciais em filé de mapará *in natura*: linolênico (5,3%), docosahexaenóico (5,1%), eicosapentaenóico (4,7%), linoléico (3,4%), araquidônico (0,5%) e eicosatrienóico (0,4%).

**Tabela 13.** Composição em ácidos graxos do filé de mapará *in natura* e após secagem nas diferentes condições de processo.

Ácidos Graxos	Nome comum	Filé do mapará	Condição de secagem					
			45°C	55°C	65°C	75°C	Rampa 1	Rampa 2
C14:0	Mirístico	5,71	7,17	8,98	6,42	5,77	5,80	4,59
C14:1	Miristoléico	1,38	1,16	1,69	1,75	1,42	1,13	0,88
C16:0	Palmítico	38,48	34,54	35,91	41,57	42,09	43,59	44,05
C16:1	Palmitoléico	7,21	7,36	10,06	7,14	6,30	6,06	5,21
C18:0	Estearico	10,39	6,91	7,31	11,00	12,01	11,42	12,40
C18:1	Oléico	11,42	20,35	10,27	10,48	9,52	11,15	17,97
C18:1vac	Vacênico	4,24	3,17	3,82	3,76	3,59	3,29	2,68
C18:2 $\omega$ -6	Linoléico	3,5	6,37	4,40	3,52	3,47	3,05	2,44
C18:3 $\omega$ -3	Linolênico	4,06	0,37	0,29	0,47	0,50	0,43	0,30
C20:0	Araquídico	0,45	0,50	0,58	0,77	0,78	0,90	0,91
C20:1	Gadoléico	0,91	4,67	6,22	4,17	4,58	4,09	3,61
C20:2	EDA	0,30	0,16	0,22	0,28	0,31	0,25	0,19
C20:3 $\omega$ -3	ETA	0,63	0,31	0,30	0,49	0,62	0,61	0,28
C20:4 $\omega$ -6	Araquidônico	nd	nd	nd	nd	0,48	nd	0,28
C20:5 $\omega$ -3	EPA	5,05	0,31	0,42	0,44	nd	0,42	Nd
C22:0	Behênico	0,52	1,84	2,63	2,31	2,38	2,02	0,04
C22:1	Erúcico	2,31	2,51	3,70	2,45	2,84	2,61	2,34
C22:6 $\omega$ -3	DHA	2,65	0,16	0,22	0,24	0,34	0,26	0,13
C24:0	Lignocérico	0,56	0,09	0,11	0,17	0,26	0,17	0,11
C24:1	Nervônico	0,23	2,05	2,88	2,57	2,73	2,75	1,60
AGS		56,11	51,05	55,52	62,24	63,29	63,90	62,10
AGMI		27,7	41,27	38,64	32,32	30,98	31,08	34,29
AGPI		16,19	7,68	5,85	5,44	5,72	5,02	3,62
AGPI/AGS		0,29	0,15	0,11	0,09	0,09	0,08	0,06
$\Sigma$ $\omega$ -6		3,50	6,37	4,40	3,52	3,95	3,05	2,72
$\Sigma$ $\omega$ -3		12,39	1,15	1,23	1,64	1,46	1,72	0,71
$\omega$ -6/ $\omega$ -3		0,28	5,54	3,58	2,15	2,70	1,77	3,83

Rampa 1: 75°C/0,5 h + 55°C/1 h + 45°C; Rampa 2: 45°C/4 h + 55°C/1 h + 75°C; AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos polinsaturados; EDA: ácido eicosadienóico; ETA: ácido eicosatrienóico; EPA: ácido eicosapentaenóico; DHA: ácido docosahexaenóico; nd: não detectado.

O valor da razão ácidos graxos poliinsaturados e saturados (AGPI/AGS) foi de 0,29 para o filé *in natura*, enquanto para os produtos secos variou de 0,06 a 0,15. Valores de AGPI/AGS inferiores a 0,45 têm sido considerados como indesejáveis à dieta humana, pelo Department of health and social security (1984), por potencializarem a indução do aumento do colesterol sanguíneo. Se para o produto *in natura* o valor já foi bem inferior ao estabelecido, os processos de secagem comprometeram mais ainda esse parâmetro. Segundo Williams (2000) o índice AGPI/AGS avaliado isoladamente tem restrições, uma vez que não considera os efeitos metabólicos dos ácidos graxos monoinsaturados.

O Department of health and social security (1994) considera também que valores da razão  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 inferiores a 4 são desejáveis à dieta humana, como prevenção ao risco de doenças cardiovasculares. Para o filé *in natura* o valor de  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 foi de 0,28, enquanto para os produtos secos variou de 1,77 a 5,54. Nesse caso os produtos secos sofreram uma melhora considerável na relação  $\omega$ -6/ $\omega$ -3, sendo que o produto seco a 45°C não atendeu o índice ( $\omega$ -6/ $\omega$ -3 = 5,54)

## 6 CONCLUSÃO

O mapará utilizado na pesquisa apresentou um elevado rendimento em músculo (42,84%), o qual apresentou como constituintes majoritários lipídios (12,33%) e proteínas (14,18%). A alta umidade (73,11%), atividade de água (0,99) e pH do músculo indicam que é necessário submeter o peixe a um processo de conservação eficiente, o mais rápido possível após a captura.

A avaliação higroscópica indicou que o filé do mapará terá estabilidade microbiológica quando apresentar umidade inferior a 7,0 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s, porém o valor da monocamada para a dessorção indicou que o produto só deve ser seco até 4,2 g de H<sub>2</sub>O/100 g b.s., para evitar a oxidação lipídica.

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade do filé de mapará apresentaram comportamento tipo II, e os modelos de Halsey, Oswin e GAB foram os mais eficientes na predição das isotermas do produto.

O aumento da temperatura de secagem não provocou o aumento das taxas de secagens, em toda a faixa de temperatura empregada, sugerindo que a temperatura provocou mudanças estruturais nos principais constituintes do filé, dificultando a saída da água.

Embora os processos de secagem em condição isotérmica e com temperatura variável tenham apresentado elevados valores de difusividade efetiva, em nenhuma das condições estudadas o produto atingiu um nível de umidade que assegurasse a sua estabilidade microbiológica, o que demanda a utilização de um processo de conservação combinado, como a desidratação osmótica.

Os modelos de Page, Page modificado, Aproximação da difusão, Midilli e Dois termos predisseram com excelente precisão as curvas de secagem do filé de mapará, em camada delgada.

A fração lipídica do file de mapará, *in natura* e desidratado, apresentou como principais ácidos graxos, o palmítico (34,54-44,05%), o oléico (11,15-20,35%), o esteárico (6,91-12,40%), o palmitoléico (5,21-10,06%) e o mirístico (4,59-8,98); e entre as classes, os ácidos graxos saturados (51,05-63,90%), os ácidos graxos monoinsaturados (27,70-41,27%) e os ácidos graxos polinsaturados (3,62-16,19%).

A secagem com ar, em leito fixo e camada delgada provocou a degradação de, pelo menos, 50% dos ácidos graxos essenciais ( $\omega$ -3 e  $\omega$ -6) do filé de mapará, e o aumento da temperatura de secagem (45-75°C) favoreceu essa degradação.

## REFERÊNCIAS

- AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, n.1, p.99-104, 2003.
- ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.
- ALMEIDA, N.M.; BATISTA, G.M.; KODAIRA, M.; LESSI, E. Alterações post-mortem em tambaqui (*Colossoma macropomum*) conservados em gelo. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p.1288-1293, 2006.
- ALVES, C.C.O.; RESENDE, J.V.; CRUVINEL, R.S.R.; PRADO, M.E.T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.28, n. 4, p. 830-839, 2008.
- ANDRADE, S. A.; METRI, J. C.; BARROS NETO, B. Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.276-281, 2003.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 1997.
- ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do resíduo seco de camarão-rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p. 786-793, 2007.
- BALA, B. K.; MONDOL, M.R.A. Experimental investigation on solar drying of fish using solar tunnel dryer. **Drying Technology**, v.19, n.2, p. 427-436, 2001.
- BASTOS, J. R. Influência da secagem sobre algumas propriedades físico-químicas do músculo do cação branco, *Carcharhynchus porosus*. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.17, n.2, p.77-87, 1977.
- BELLAGHA, S.; AMAMI, E.; FARHAT, A.; KECHAOU, N. Drying kinetics and characteristic drying curve of lightly salted Sardine (*Sardinella aurita*). **Drying Technology**. v. 20, n.7, p. 1527-1538, 2002.
- BERTOLIN, T.E.; GUARIENTI, C.; FARIAS, D.; SOUZA, F.T.; GUTKOSKI, L.C.; COLLA, L.M. Efeito antioxidante da ficocianina em pescado salgado-seco. **Ciência agrotecnologia**, v.35, n.4, p.01-07, 2011.
- BICELLI, B.C.; INHAMUNS, A.J. Physicochemical and sensory characterization of mapará (*Hypophthalmus spp.*) smoked. **XI Congresso de Iniciação Científica da UFAM**, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM. 2002.
- BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, v.91, n.1, p.72-77, 2009.
- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992.
- BORGES, A.; TEIXEIRA, M.S.; FREITAS, M.Q.; FRANCO, R.M.; MÁRSICO, E.T.; CLEMENTE, S.C.S. Qualidade da corvina (*Micropogonias furnieri*) eviscerada em diferentes períodos de estocagem a 0°C. **Ciência Rural**, v.37, n.1, p.259-264, 2007.

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**. Brasília, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Portaria n. 451, de 19 de setembro de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico Princípios Gerais para o Estabelecimento de Critérios e Padrões Microbiológicos para Alimentos e seus Anexos I, II e III. **D.O.U. Diário Oficial da União**; Poder Executivo, Brasília. 22 set. 1997a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria N°185, de 13 de maio de 1997. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (Inteiro e eviscerado)**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1997b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de produtos de origem animal – RIISPOA**. Brasília, DF, p.241. 1997c.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Laboratório Nacional de Referência Animal. **Métodos Analíticos Oficiais para Controle de Produtos de Origem Animal e seus Ingredientes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, v. 2, cap. 11. Pescado Fresco. 1981.

BRASIL. Ministério da Saúde Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2003.

BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.W. **Drying and Storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI, 1992. 450p.

BRUNAUER, S.; EMMET, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v.60, n.2, p. 309-319, 1938.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 – A review. **International Journal of Food Science & Technology**, n. 3, v. 13, p. 159-174, 1978.

COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.153-162, 2001.

COSTA, T.V.; OSHIRO, L.M.Y.; SILVA, E.C.S. O potencial do Mapará *Hypophthalmus* spp. como uma espécie alternativa para a piscicultura na Amazônia. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v.36 n.3 p.165-174, 2010.

CUTRIM, L.; BATISTA, V.S. Determinação de idade e crescimento do mapará (*Hypophthalmus marginatus*) na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 1, p. 85-92, 2005.

DARVISHI, H; AZADBAKHT, M; REZAEIASL; FARHANG, A. Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. 2012. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2012.09.002>>. Acesso em: 11 de Junho de 2013.

DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY. Diet and cardiovascular disease. **Report on Health and Social Subjects**, n.28. London: HMSO, 1984.

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

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

DUAN, Z.H; ZHANG, M; TANG, J. Thin layer hot-air drying of bighead carp. **Fisheries Science**, v. 23, n.3, p. 29-32, 2004.

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

FELLOWS, P.J.: **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática** - 2º ed. - Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, O.R. **Química de Alimentos**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FERREIRA, M.W.; SILVA, V.K.S.; BRESSAN, M.C.; FARIA, P.B.; VIEIRA, J.O.; ODA, S.H.I. Pescados processados: maior vida-de-prateleira e maior valor agregado. **Boletim de extensão rural**, p. 6. Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG, 2002.

FIGUEIRA, G. M.; PARK, K. J.; BROD, F. P. R.; HONÓRIO, S. L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Chichorium intybus* L) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.3, p.273-280, 2004.

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

FREIRE, F.N.A.; SILVA, M.E.V.; ZAPATA, J.F.F.; MAIA, G.A. Desidratação de músculo de pescado em bancada experimental de secagem. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.2, p.273-278, 2003.

GALVÃO, J.A; MARGEIRSSON, S; GARATE, C; VIOARSSON, J.R; OETTERER, M. Traceability system in cod fishing. **Food Control**. v. 2, p.1360–1366, 2010.

GEANKOPLIS, C.J. **Transport processes and separation process principles**. 4 ed. Prentice Hall PTR, 2003.

GONÇALVES, A.C. **Qualidade e valorização em aquacultura Propriedades sensoriais e período de conservação útil de peixe e bivalves**. 2010. 141p. Tese (Doutorado em Farmácia), Universidade de Lisboa.

HUBINGER, M.D.; PEZANTES, D.V.; KUROZAWA, L.E.; SOBRAL, J.A. Isotermas de desorção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.305-311, 2009.

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>>. Acesso: 12 dez 2011.

INHAMUNS, A.J.; FRANCO, M.R.B. Composition of Total, Neutral, and Phospholipids in Mapará (*Hypophthalmus* sp.) from the Brazilian Amazonian Area. **Journal Agrícola Food Chemistry**, v.49, n.10, p. 4859-4863, 2001.



- INHAMUNS, A.J.; FRANCO, M.R.B. EPA and DHA quantification in two species of freshwater fish from Central Amazonia. **Food Chemistry**, v.107, n.2 p.587–591, 2008.
- IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas / solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.
- JAIN, P.; PATHARE, P.B. Study the drying kinetics of open sun drying of fish. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.4, p.1315-1319, 2007.
- KILIC, A. Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality. **Journal of Food Engineering**, v.91, n.1, p.173-182, 2009.
- KUROZAWA, L.E.; EL-AOUAR, A.A.; MURR, F.E.X. Obtenção de isothermas de dessorção de cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.4, p. 828-834, 2005.
- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v.22, p.263-272, 1968.
- LOIR, L.; BARON, F.; GAUTIER, M. Staphylococcus aureus and food poisoning. **Genetic and Molecular Research**, v.2, n.1, p. 63-76. 2003.
- LOURENÇO, L.F.H.; SANTOS, D.C.; RIBEIRO, S.C.A.; ALMEIDA, H.; ARAUJO, E.A.F. Study of adsorption isotherm and microbiological quality of fish meal type “piracuí” of Acari-Bodo (*Liposarcus pardalis*, Castelnau, 1855). **Procedia Food Science**, v.1, p.455-462, 2011.
- LUNESTAD, B.T.; NESSE, L.; LASSEN, J.; SVIHUS, B.; NESBAKKEN, T.; FOSSUM, K.; ROSNES, J.T.; KRUSE, H.; YAZDANKHAH, S. Salmonella in fish feed; occurrence and implications for fish and human health in Norway. **Aquaculture**, v.265, p.1-8. 2007.
- MARCHESE, J.A.; FIGUEIRA, G.M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista brasileira de plantas medicinais**, Botucatu, v.7, n.3, p.86-96, 2005.
- MAROULIS, Z. B.; TSAMI, E.; ARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G. D. Application of the GAB model to the sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 7, n. 1, p. 63-70, 1988.
- MARTINAZZO; A.P.; CÔRREA, P.C.; RESENDE, O.; MELO, E.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.301-306, 2007.
- MINOLTA. **Precise color communication** - Color Control from Perception to Instrumentation. Japan, 1998.
- MISHRA, V.K.; OORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulce *Palmaria palmata* powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, n.1, p.25-39, 1996.
- MOLINA-FILHO, L; PEDRO, M.A.M; TELIS-ROMERO, J; BARBOZA, S.H.R. Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isothermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.2, n.26, p. 453-458, 2006.

- MUJUMDAR, A.S.; DEVAHASTIN, S. Fundamental principles of drying. In: **Mujumdars' Practical Guide to Industrial Drying. Principles, Equipment and New Developments**. Canada, 2000.
- OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Barueri: Manole, 2006.
- OLIVEIRA, F.R.; LIRA, G.M.; TORRES, E.A.F.S.; MENDONÇA, S.; SILVA, K.W.B.; SIMON, S.J.G.B.; SANTOS, T.M.P.; JUNIOR, C.R.C. Efeito do beneficiamento sobre o valor nutricional do peixe mandim (*Arius spixii*). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.44, n.4, p.2, 2008a.
- OLIVEIRA, N.M.S.; OLIVEIRA, W.R.M.; NASCIMENTO, L.C.; SILVA, J.M.S.F.; VICENTE, E.; FIORINI, J.E. Avaliação físico-química de filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*) submetidos à sanitização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.1, p.83-89, 2008b.
- ORDONEZ, J.A. **Tecnologia de alimentos: Alimentos de origem animal**. Porto Alegre: Artemed, 2005, v.2. p.220-267.
- ORTIZ, J.; LEMUS-MONDACA, R.; VEGA-GALVEZ, A.; AH-HEN, K.; PUENTE-DIAZ, L.; ZURA-BRAVO, L.; AUBOURG, S. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) filets. **Food Chemistry**, v.139, p.162-169, 2013.
- PACHECO, A.C.W.; LUZ, G.R.; POLON, P.E.; JORGE, L.M.M.; PARAÍSO, P.R. Modeling of Drying and Adsorption Isotherms of the Fish Feed. **Brazilian archives of biology and technology**, v.54, n.3, p.577-588, 2011.
- PANAGIOTOU, N. M.; KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. Moisture diffusivity: literature data compilation for foodstuffs. **International Journal of Food Properties**, v.7, n.2, p.273–299, 2004.
- PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, Davis, v.52, n.4, p.349-357, 2002.
- PARK, K.J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F.P.R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, Davis, v.51, n.3, p.193-199, 2002.
- PARK, K.J.; YADO, M.K.M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.3, p.288-292, 2001.
- PENG, G.; CHEN, X.; WU, W.; JIANG, X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v.80, n.2, p.562-567, 2007.
- PEREIRA, A.A.F.; FILHO, A.T. Avaliação de condições de consumo da sardinha *Sardinella brasiliensis*. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v.25, n.4, p.720-725. 2005.
- PÉREZ, A.C.A.; AVDALOV, N.; NEIVA, C.R.P.; NETO, M.J.L.; LOPES, R.G.; TOMITA, R.Y.; FURLAN, E.F.; MACHADO, T.M. **Projeto: Procedimentos Higiênico-Sanitários para a Indústria e Inspetores de Pescado: Recomendações**. Santos, São Paulo, 2007.
- PRATO, E.; BIANDOLINO, F. Total lipid content and fatty acid composition of commercially important fish species from the Mediterranean, Mar Grande Sea. **Food Chemistry**, v.131, n.4, p. 1233-1239. 2012.

- RAMOS FILHO, M.M.; RAMOS, M.I.L.; HIANE, P.A.; SOUZA, E.M.T.S. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p.361-365, 2008.
- RIBEIRO, S.C.A. **Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*)**. 2005. 288p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, SP.
- RIBEIRO, S.C.A.; PARK, K.J.; HUBINGER, M.D.; RIBEIRO, C.F.A.; ARAUJO, E.A.F.; TOBINAGA, S. Análise sensorial de músculo de mapará com e sem tratamento osmótico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p.24-32, 2010.
- RIBEIRO, S.C.A.; PARK, K.J.; HUBINGER, M.D.; RIBEIRO, C.F.A.; ARAÚJO, 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**, v.28, n.2, p.485-492, 2008.
- RIBEIRO, S.C.A.; RIBEIRO, C.F.A.; PARK, K.J.; ARAÚJO, E.A.F.; TOBINAGA, S. Alteração da cor da carne de mapará (*Hypophthalmus edentatus*) desidratada osmoticamente e seca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.125-135, 2007.
- ROCKLAND, L.B. Water activity and storage stability. **Food Technology**, v.23, n.4, p.1241-1251, 1969.
- ROCKLAND, L.B.; NISHI, S.K. Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, v.34, n.4, p.42-59, 1980.
- RODRIGUES, A.M.C.; DARNET, S.; SILVA, L.H.M. Fatty acid profiles and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*), patawa (*Oenocarpus bataua*), tucumã (*Astrocaryum vulgare*), mari (*Poraqueiba paraensis*) and inaja (*Maximiliana maripa*) fruits. **Journal Brazilian Chemistry Society**, v.21, n.10, p.2000-2004, 2010.
- ROMERO-PEÑA, L.M.; KIECKBUSCH, T.G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.6, n.1, p.69-76, 2003.
- RUIZ-LÓPEZ, I. I.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; COBOS-VIVALDO, R.; HERMAN-LARA, E. Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods in fixed beds with airflow reversal, **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 3 p. 310-318, 2008.
- SALWIN, H. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v.17, n.9, p.1114-1121, 1963.
- SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas: Secagem e Secadores**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.
- SIMÕES, M.R; RIBEIRO, C.F.A; RIBEIRO, S.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**, v.27, n.3, p. 608-613, 2007.
- SOUZA, A.F.L; INHAMUNS, A.J. Análise de rendimento cárneo das principais espécies de peixes comercializadas no Estado do Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v.41, n.2, p.289-296, 2011.

- SOUZA, H.A.L; BENTES, A.S; SIMÕES, M.G; FONTELLES, M.J.P. Caracterização física e nutricional de três espécies de peixes amazônicos. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.4, n.2, p.141-152, 2008.
- 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.
- WANG, X.; TAO, X.; XIA, X.; YANG, B.; XI, M.; MENG, J.; ZHANG, J.; XU, B. *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in retail raw chicken in China. **Food Control**, v.29, p.103-106. 2013.
- WIDJAJA, W.P.; ABDULAMIR, A.S.; SAARI, N.B.; BAKAR, F.B.A.; ISHAK. Z.B. Fatty acids profile of tropical bagridae catfish (*Mystus nemurus*) during storage. **American Journal of Food Technology**, v.4, n.2, p. 90-95, 2009.
- WILLIAMS, C. M. Dietary fatty acids and human health. **Annales de Zootechnie**, Paris, v.49, n.3, p.165-180, 2000.
- WOLF, W.; SPIESS, W.E.L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food materials: a bibliography**. New York: Elsevier Science Publishing Co., 1985. p.239.
- YIN, Y.; DING, Y. A close to real-time prediction method of total coliform bacteria in foods based on image identification technology and artificial neural network. **Food Research International**, v.42, n.1, p.191-199, 2009.

# **ANEXO**

**Anexo I.** Valores dos parâmetros dos processos de secagem realizados em condições isotérmicas e em temperatura variável.

Tempo (min)	X (g H <sub>2</sub> O/g b.s)						MR						W (g/cm <sup>2</sup> .h)					
	45°C	55°C	65°C	75°C	R1	R2	45°C	55°C	65°C	75°C	R1	R2	45°C	55°C	65°C	75°C	R1	R2
0	2,22	1,90	1,89	2,31	1,78	1,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,35	0,15	0,42	0,72	0,47	0,21
5	2,13	1,86	1,76	2,14	1,68	1,62	0,94	0,97	0,91	0,90	0,91	0,94	0,36	0,18	0,42	0,70	0,50	0,24
10	2,03	1,80	1,63	1,98	1,57	1,57	0,87	0,92	0,81	0,80	0,81	0,87	0,33	0,18	0,37	0,58	0,50	0,23
15	1,96	1,76	1,52	1,87	1,47	1,52	0,82	0,89	0,74	0,74	0,72	0,82	0,28	0,11	0,30	0,41	0,43	0,21
20	1,88	1,74	1,44	1,79	1,39	1,48	0,77	0,87	0,68	0,69	0,64	0,76	0,28	0,10	0,25	0,30	0,36	0,21
25	1,81	1,71	1,37	1,73	1,32	1,43	0,72	0,84	0,63	0,65	0,58	0,70	0,25	0,20	0,21	0,24	0,29	0,19
30	1,75	1,64	1,31	1,68	1,27	1,40	0,68	0,78	0,59	0,62	0,53	0,66	0,22	0,23	0,15	0,19	0,20	0,15
40	1,64	1,54	1,24	1,60	1,21	1,34	0,60	0,69	0,54	0,58	0,48	0,59	0,19	0,16	0,10	0,15	0,13	0,11
50	1,55	1,46	1,19	1,54	1,16	1,30	0,54	0,63	0,50	0,54	0,43	0,54	0,16	0,12	0,08	0,13	0,10	0,09
60	1,47	1,41	1,14	1,48	1,12	1,26	0,49	0,58	0,47	0,50	0,40	0,49	0,13	0,10	0,07	0,11	0,09	0,07
70	1,41	1,36	1,11	1,43	1,09	1,24	0,45	0,54	0,44	0,47	0,37	0,46	0,11	0,09	0,06	0,14	0,07	0,06
80	1,36	1,31	1,07	1,35	1,06	1,21	0,41	0,50	0,42	0,42	0,34	0,43	0,09	0,08	0,06	0,13	0,06	0,05
90	1,32	1,27	1,03	1,30	1,03	1,19	0,38	0,47	0,39	0,40	0,32	0,41	0,08	0,07	0,04	0,09	0,05	0,04
110	1,24	1,21	1,00	1,21	1,00	1,15	0,33	0,41	0,37	0,35	0,29	0,36	0,09	0,05	0,03	0,09	0,04	0,04
130	1,14	1,16	0,95	1,14	0,97	1,13	0,26	0,37	0,33	0,30	0,26	0,33	0,07	0,05	0,04	0,07	0,04	0,03
150	1,09	1,11	0,90	1,07	0,94	1,10	0,23	0,33	0,29	0,26	0,23	0,29	0,04	0,04	0,04	0,07	0,03	0,03
170	1,05	1,07	0,85	1,01	0,91	1,08	0,20	0,29	0,26	0,23	0,20	0,26	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03
190	1,02	1,03	0,81	0,95	0,88	1,06	0,18	0,26	0,23	0,19	0,18	0,24	0,03	0,04	0,03	0,06	0,03	0,02
210	0,98	0,99	0,77	0,91	0,86	1,04	0,15	0,23	0,20	0,16	0,16	0,21	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02
230	0,95	0,95	0,73	0,86	0,83	1,02	0,13	0,19	0,17	0,13	0,14	0,19	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02
250	0,93	0,92	0,69	0,82	0,81	1,00	0,11	0,17	0,14	0,11	0,12	0,16	0,03	0,03	0,03	0,05	0,02	0,02
270	0,89	0,88	0,66	0,77	0,79	0,98	0,09	0,14	0,12	0,08	0,10	0,15	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02
290	0,87	0,86	0,63	0,73	0,77	0,97	0,07	0,11	0,10	0,06	0,08	0,13	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02
310	0,84	0,83	0,60	0,70	0,75	0,94	0,06	0,09	0,08	0,04	0,06	0,10	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
330	0,82	0,80	0,57	0,67	0,73	0,92	0,04	0,06	0,05	0,02	0,04	0,07	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02
350	0,80	0,77	0,54	0,63	0,72	0,91	0,03	0,04	0,04	0,00	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02
370	0,78	0,75	0,52	-	0,70	0,89	0,01	0,02	0,02	-	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	-	0,02	0,03
390	0,76	0,73	0,49	-	0,68	0,86	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	-	0,02	0,03

R1 (Rampa 1): 75°C/0,5 h + 55°C/1 h + 45°C; R2 ( Rampa 2): 45°C/4 h + 55°C/1 h + 75°C; X (g H<sub>2</sub>O/g b.s): umidade em base seca; MR: Relação de umidade; W (g/cm<sup>2</sup>.h): taxa de secagem.