

## DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL E ANALÍTICA DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NO PROCESSO DE SECAGEM EM PEIXE PARGO

### Vieira da Silva, Maria Eugênia

Laboratório de Energia Solar Aplicada, Centro de Tecnologia, Bloco 714, Universidade Federal do Ceará  
CEP 60455-760 Fortaleza, Ceará, Brasil  
[eugenia@les.ufc.br](mailto:eugenia@les.ufc.br)

### Freire, Francisco Nivaldo Aguiar

Laboratório de Energia Solar Aplicada, Centro de Tecnologia, Bloco 714, Universidade Federal do Ceará  
CEP 60455-760 Fortaleza, Ceará, Brasil.  
[solar05@les.ufc.br](mailto:solar05@les.ufc.br)

**Resumo.** *Vários produtos vegetais e animais, particularmente peixes, são perdidos por falta de condicionamento e armazenagem. A comercialização de alimentos desidratados tem aumentado muito, tanto no mercado nacional como no internacional, devido a sua facilidade no manuseio e armazenagem. Esse artigo apresenta um estudo experimental e analítico do processo de secagem do peixe pargo (*Lutjanus purpureus*) em corrente de ar aquecido. Na realização das medições experimentais foi utilizada uma bancada experimental constituída por um túnel metálico com isolamento térmico, por uma balança de precisão e um conjunto de cinco resistências elétricas de 1000W cada. Os dados experimentais (temperatura de bulbo seco, umidade relativa, peso da amostra) coletados em intervalo de tempo pré-determinados foram usados na determinação da taxa de secagem em função da umidade do produto na base seca. A velocidade do ar aquecido foi mantida constante durante os ensaios de secagem. Os resultados mostram a natureza difusiva do escoamento da água no interior da amostra no período de queda da taxa de secagem.*

**Palavras chave:** *Secagem, secagem em peixe pargo, curva da taxa de secagem.*

### 1. Introdução

A conservação de alimentos é de importância na indústria de alimentícia, uma vez que os meios de transporte no Brasil enfrentam as distâncias existentes em um país de extensão continental, acarretando assim um maior tempo no deslocamento. A desidratação do alimento favorece também o procedimento de armazenagem, em termos de espaço ocupado, além de diminuir a deterioração microbiana do alimento. A migração da umidade dentro do alimento ocorre pelos pólos e capilares e está associada a um estudo experimental e analítico dos parâmetros que envolvem o processo de secagem que é baseado no estudo de transferência simultânea de calor e massa.

O processo de secagem de um alimento é influenciado por diversos fatores, dentre os quais podem ser citados a natureza do alimento e o tipo de umidade a ser retirada no processo. A umidade do alimento pode ser encontrada na forma não ligada e ligada (Gava, 1998). A primeira está contida nos poros, de onde pode ser facilmente retirada através dos capilares; por outro lado, a umidade ligada apresenta-se associadas às fibras ou músculos dos alimentos vegetais e animais, respectivamente, sendo de mais difícil remoção. Quando a umidade está na forma ligada existirá uma queda na taxa de secagem, chamada de taxa decrescente, demonstrando assim a maior dificuldade de retirada de umidade do alimento.

O presente trabalho apresenta um estudo experimental e analítico do processo de secagem por convecção forçada de ar aquecido em peixe pargo. Nos trabalhos experimentais, foram realizadas medições instantâneas do peso da amostra e das variáveis importantes no processo. O estudo analítico mostra o procedimento de cálculo e as equações usadas para determinar os valores da taxa de secagem em função da umidade da amostra em base seca. Os resultados caracterizam o escoamento da umidade no interior do produto, podendo também ser usados para determinar o tempo de secagem em situações similares na indústria.

### 2. Material e Métodos

#### 2.1. Bancada Experimental

A bancada experimental usada é composta por um conduto retangular para o escoamento do ar aquecido; por uma balança semi-analítica para medir a variação do peso da amostra ao longo do tempo; por um ventilador centrífugo, responsável pelo deslocamento da corrente; por um regulador de vazão, para controlar o fluxo da corrente de ar de

acordo com as necessidades do experimento; e por um conjunto de cinco resistências elétricas de 1000 W cada, que podem ser acionadas individualmente ou em uma combinação desejada. Um sensor foi utilizado para medir a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa dentro do conduto, instalado alguns centímetros antes da balança digital. Durante o experimento, os instrumentos de medição eram automaticamente lidos em intervalos de tempo pré-determinados e os valores transferidos para um coletor de dados. Após a realização do experimento, os dados armazenados nos coletores eram transferidos para um micro-computador. Os detalhes construtivos do aparato experimental podem ser encontrados em (Freire, 1999).

Os instrumentos utilizados na bancada apresentam as seguintes precisões: balança digital ( $\pm 0,001$  g do peso medido); sensor de umidade relativa com faixa de alcance de 5 a 95% (2% da umidade  $\pm 1$  dígito) e temperatura de bulbo seco com intervalo de medição de  $-20$  a  $80^\circ\text{C}$  (0,2% da temperatura lida  $\pm 1$  dígito).

## 2.2. Preparação da Amostra

A amostra de peixe pargo (*Lutjanus purpureos*) foi obtida no mercado local com exemplares de 2,5 Kg, filetada na forma retangular e em seguida acondicionada em um sistema de refrigeração até o momento de realização da secagem. A amostra foi descongelada até temperatura ambiente ( $32^\circ\text{C}$ ), cortada em forma de filé retangular de espessura igual a 0,5cm e colocada sobre um suporte em forma de tela metálica perfurada, semelhante a uma tela industrial. Com esse arranjo, a superfície superior e a inferior da amostra estavam expostas à corrente de ar quente, possibilitando uma maior área de troca.

## 2.3. Cálculo da Taxa

O teor de umidade na base seca,  $X$ , é expresso como a razão entre a massa de umidade e a massa de sólido seco da amostra (Treybal, 1980). A massa de sólido seco é determinada como a diferença entre a massa total da amostra e a massa de umidade (água), podendo ser experimentalmente obtida por vários processos, como o de análise gravimétrica ou a de liofilização, que foi usada neste estudo.

$$X = \frac{m_{\text{umidade}}}{m_{\text{sólido seco}}} \quad (1)$$

A umidade de equilíbrio,  $X^*$ , é a umidade da amostra quando ela está em equilíbrio com uma determinada pressão parcial de vapor no ar. A umidade ligada se refere à umidade contida na amostra que exerce uma pressão de vapor menor do que a pressão de vapor do líquido puro na mesma temperatura. A umidade não-ligada se refere à umidade contida na amostra que exerce uma pressão de vapor igual à pressão de vapor do líquido puro na mesma temperatura. A umidade livre é o teor de umidade na amostra em excesso à umidade de equilíbrio. Somente a umidade livre pode ser evaporada e depende da concentração de vapor de água no ar.

Os dados obtidos durante o processo de secagem permitem o traçado da curva de umidade em função do tempo (Geankoplis, 1993). Esses resultados podem ser usados diretamente na determinação do tempo necessário para secar outras quantidades da mesma amostra em batelada sob as mesmas condições.

A taxa de secagem,  $\dot{N}$ , é determinada por:

$$\dot{N} = - \frac{m_{\text{sólido seco}}}{A} \frac{dX}{d\theta} \quad (2)$$

onde  $\dot{N}$  é expressa em  $[\text{kg umidade} / \text{m}^2 \cdot \text{h}]$ ;  $m_{\text{sólido seco}}$  é a massa de sólido seco em  $[\text{kg}]$ ;  $A$  é a área superficial de troca em  $[\text{m}^2]$ ;  $X$  é a umidade da amostra em  $[\text{kg umidade} / \text{kg sólido seco}]$  e  $\theta$  é o tempo em  $[\text{h}]$ .

A variação temporal do teor de umidade,  $dX/d\theta$ , é diretamente obtida da curva experimental de secagem ou da derivada da função de aproximação desta curva. Assim, utilizando-se os dados experimentais, tanto a umidade da amostra quanto a taxa de secagem podem ser determinadas, possibilitando o traçado da curva  $\dot{N}$  versus  $X$ .

A identificação do processo predominante de secagem, isto é o mecanismo principal de escoamento da água no interior da amostra, é realizada utilizando-se os dados experimentais coletados e as equações analíticas que caracterizam o processo, Eqs. (1) e (2). A forma funcional da curva de secagem pode ser comparada à solução analítica da equação diferencial parcial parabólica, que representa o processo de escoamento no interior da amostra. Quando o período da taxa de queda é apresentado por uma curva com forma funcional linear, o processo de escoamento da umidade dentro do meio é caracterizado por transporte capilar, enquanto que uma forma funcional exponencial caracteriza um processo de escoamento por difusão (Sherwood, 1932).

### 2.4. Parâmetros de Secagem

A secagem do peixe pargo foi realizada nas condições apresentadas na Tabela 1. Alguns valores práticos foram utilizados na determinação das condições termodinâmicas do ar aquecido. Por exemplo, a temperatura de bulbo-seco usada na secagem de peixes varia em torno de 60°C. Considerando-se as possibilidades de ajustes da bancada (seleção de acionamento das resistências elétricas), a temperatura de bulbo-seco de 58°C e umidade relativa de 10,8% foram utilizadas.

Tabela 1. Parâmetros de secagem do peixe pargo em valores médios.

Temperatura de secagem (°C)	58,0 ± 0,1
Espessura da amostra (cm)	0,5 ± 0,05
Área superficial (cm <sup>2</sup> )	61,22
Massa inicial (g)	16,041 ± 0,001
Massa seca (g)	3,838 ± 0,001

### 3. Resultados

Durante a realização do experimento, o peso da amostra diminuiu de 16,041 no início da secagem para 5,552g no final do processo, apresentando uma variação de 10,489g. Considerando as áreas superficiais para a amostra filetada de 61,22cm<sup>2</sup>, a quantidade de umidade retirada por unidade de área superficial de contato da amostra foi de 0,1713g/cm<sup>2</sup>. O tempo de secagem até a umidade de equilíbrio da amostra foi de 9,5 horas. Assim, a taxa de remoção de umidade foi de 0,0182g /h.cm<sup>2</sup>. Na realização da secagem, duas resistências elétricas de 1000 W foram acionadas, totalizando um consumo de energia de 68,4 MJ.

A Figura 1 apresenta a curva de secagem da amostra de peixe pargo. Uma análise das curvas revela que nas primeiras 2 horas, a curva de peso do filé de pargo apresenta uma inclinação acentuada. Essa diminuição de peso pode ser atribuída, em parte, às características de composição desses músculos, onde os níveis de colágeno e gordura podem influenciar a transferência de massa desde as partes mais internas para as superfícies das amostras, alterando desta forma a velocidade de secagem durante o período de velocidade decrescente.

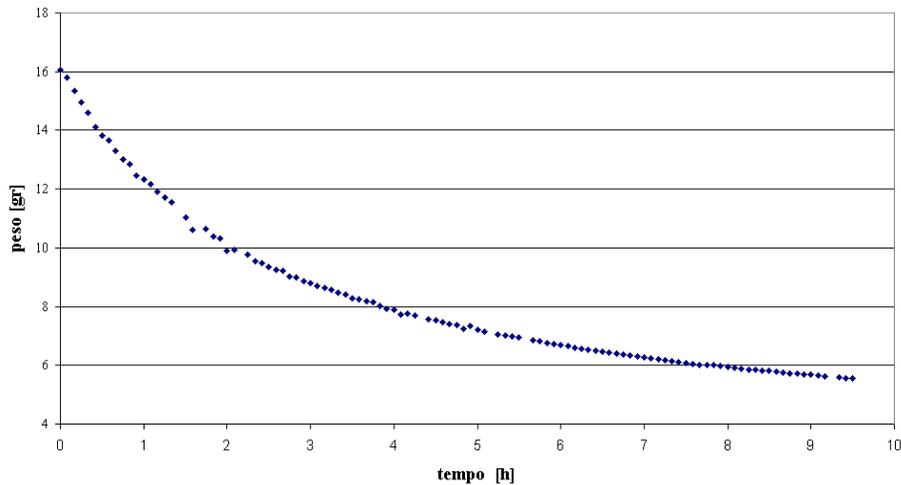


Figura 1. Curva de secagem do peixe pargo.

A Figura 2 apresenta a curva da taxa de secagem do pargo em função da umidade da amostra. A curva foi traçada a partir das medições experimentais do peso ao longo da secagem nas condições de 58,0 °C ± 0,1 de temperatura de bulbo-seco e de 10,8% de umidade relativa do ar.

A melhor aproximação para a curva apresentou uma forma exponencial expressa por,

$$\dot{N} = 12,807 e^{-0,1009 t} \tag{3}$$

com R<sup>2</sup> = 0,929. Essa curva logarítmica mostra a natureza difusiva do processo de escoamento de umidade no interior da amostra, visto que a equação diferencial parcial parabólica, linear e de segunda ordem que governa os processos

difusivos possui solução analítica expressa por uma série infinita, cujos termos representam o produto de uma função trigonométrica (no espaço) e de uma função exponencial temporal.

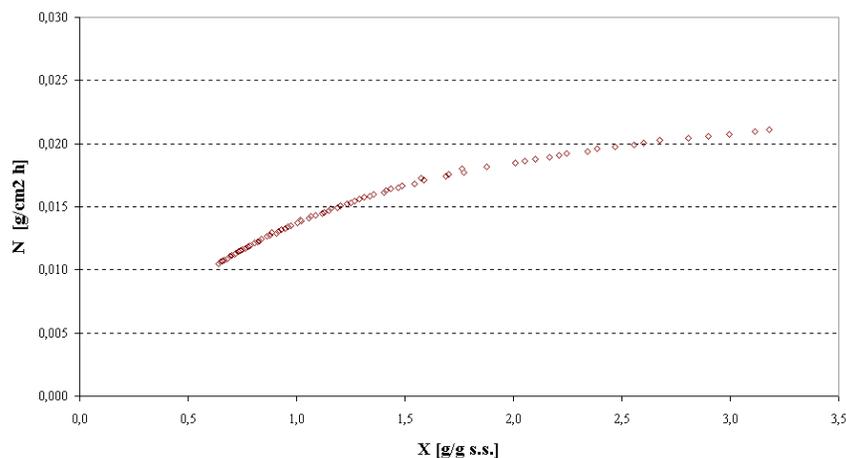


Figura 2. Curva da taxa de secagem do peixe pargo versus umidade na base seca.

#### 4. Conclusões

Os dados experimentais forneceram as informações necessárias na determinação do tempo de secagem, da umidade de equilíbrio e possibilitaram os cálculos da umidade da amostra e da taxa de secagem ao longo do processo. Essas informações foram utilizadas na identificação do processo de escoamento da água no interior da amostra. A curva da taxa de secagem do filé de peixe pargo em função da umidade da amostra apresentou um comportamento logarítmico, característico de escoamento por difusão.

A bancada experimental e o procedimento desenvolvidos mostraram-se adequados para o estudo de secagem por convecção forçada de ar aquecido. O sistema de aquisição de dados possibilitou grande facilidade na coleta contínua de dados, sem necessidade de interromper o processo de secagem para verificação de peso do alimento, permitindo o registro fácil dos valores medidos, em frequência programada, possibilitando o estudo transiente das informações.

Outros experimentos podem ser realizados em diferentes condições termodinâmicas do ar, colocando-se a amostra sobre diferentes telas de suporte e variando-se também a vazão e/ou velocidade de escoamento do ar aquecido no conduto, simulando assim diferentes arranjos que podem ser usados na indústria.

#### 5. Agradecimentos

Nossos agradecimentos ao CNPq e à Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa [FUNCAP] pelo apoio com bolsa de produtividade em pesquisa e de mestrado, respectivamente, e ao programa REENGE da FINEP pelo apoio na aquisição de componentes da bancada.

#### 6. Referências

- Freire, F.N.A., 1999, "Construção de uma Bancada Experimental para o Levantamento de Curvas de Secagem de Alimentos", Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, UFC, Fortaleza, Brasil.
- Gava, A.J., 1998, "Princípios de Tecnologia de Alimentos", 1ªEd., Nobel, Brasil.
- Geankoplis, C.J., 1993, "Transport Processes and Unit Operations", 3rd Edition, Prentice Hall, pp. 520-569.
- Sherwood, T.K., 1932, "The Drying of Solids IV", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 24, No. 3, pp. 307-310.
- Treybal, R.E., 1980, "Mass Transfer Operations", 3rd edition, McGraw-Hill International Editions.

#### EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL DETERMINATION OF THE WATER FLOW IN THE DRYING PROCESS OF FISH PARGO (*Lutjanus purpureus*)

**Vieira da Silva, Maria Eugênia**

Applied Solar Energy Laboratory, Center of Technology, Bloco 714, Federal University of Ceara  
CEP 60455-760 Fortaleza, Ceará, Brazil.

[eugenia@les.ufc.br](mailto:eugenia@les.ufc.br)

**Freire, Francisco Nivaldo Aguiar**

Applied Solar Energy Laboratory, Center of Technology, Bloco 714, Federal University of Ceara  
CEP 60455-760 Fortaleza, Ceará, Brazil  
[solar05@les.ufc.br](mailto:solar05@les.ufc.br)

**Abstract.** *Various agricultural and animal products, such as fish, are lost due to the lack of appropriate conditioning and storage. The dehydrated food commercialization has increase, not only in the national but also in the international markets because of its easiness in handling and storage. This article presents an experimental and analytical study of the drying process of a fish (*Lutjanus purpureos*) in a warm air current. To accomplish the work, an experimental bench developed by the authors was used. The basic components of the bench are: a metallic tunnel with thermal isolation, a data acquisition system, an accurate scale, and a set of five electrical resistances of 1000W each. The experimental data (dry bulb temperature and relative humidity of the air current, the weight of the sample, and the flow speed) were collected in previously defined time intervals and used in the determination of the rate of drying as a function of the sample humidity in the dry base. The results show the diffusive nature of the humidity flow in the fish during the falling rate period.*

**Keywords.** *Drying, drying of pargo fish, rate of drying curve*