



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

SECAGEM DE CAFÉ: UMA REVISÃO

Pâmela Virgínia Ramos Guimarães

Porto Alegre, 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

PÂMELA VIRGÍNIA RAMOS GUIMARÃES

SECAGEM DE CAFÉ: UMA REVISÃO

Monografia apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como pré-requisito para obtenção de grau de Engenheiro de Alimentos, sob orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline Schiling Cassini e co-orientação da MSc. Carolina Pereira Kechinski.

Porto Alegre, 2010

GUIMARÃES, Pâmela Virgínia Ramos.

**Secagem de Café: Uma revisão** – Pâmela Virgínia Ramos Guimarães.

Porto Alegre, 2010.

*45f.*

Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Engenharia de Alimentos. Orientação Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Aline Schiling Cassini e co-orientação MSc. Carolina Pereira Kechinski.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

PÂMELA VIRGÍNIA RAMOS GUIMARÃES

SECAGEM DE CAFÉ: UMA REVISÃO

Porto Alegre, 9 de dezembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline Schiling Cassini  
Professora Orientadora – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

MSc.. Carolina Pereira Kechinski  
Co-orientadora – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Florencia Cladera Olivera  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Roberta Cruz Silveira Thys  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## DEDICATÓRIA

*À Sandra Maria Ramos,  
minha mãe, minha companheira.  
Exemplo de força, garra, mãe, mulher e profissional.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe pelos valores, oportunidades, pelo companheirismo, pelos exemplos, por sempre acreditar em mim, por nunca me deixar desistir, pelo apoio e amor incondicional durante toda a minha vida.

À minha orientadora, professora Aline, por ser uma grande educadora e amiga, pela atenção, pela compreensão, pela disponibilidade nos momentos difíceis, pelas risadas e pela grande parceria que formamos. Não poderia ter escolhido melhor.

À co-orientadora Carolina pelo grande incentivo e exemplo profissional e por todos os momentos que dividimos.

Ao professor/paraninfo Alessandro pela paciência, compreensão e disponibilidade.

Às minhas amigas da Engenharia de Alimentos e principalmente à Giuliana, Cristina, Thamara, Andréia e Paula pelo incentivo, pela força, pelas horas de estudo, pelos momentos de lazer.

À Taciana pela grande amizade, por toda a parceria que formamos e por fazer parte desse trabalho doando seus conhecimentos da língua inglesa.

À Maria Clara pelo exemplo de dedicação e pela contribuição decisiva na escolha do tema deste trabalho.

Ao Khayan por deixar mais fáceis os momentos de dificuldade, por fazer parte de cada passo desse longo caminho, pelo amor, carinho, paciência e compreensão.

*Os espelhos estão cheios de gente.  
Os invisíveis nos veem.  
Os esquecidos se lembram de nós  
Quando nos vemos, os vemos.  
Quando nos vamos, se vão? (Eduardo Galeano)*

## RESUMO

A secagem ou desidratação de alimentos é uma técnica muito antiga na conservação dos alimentos. Consiste em remover ou diminuir a quantidade de água do alimento para, dessa forma, reduzir o crescimento de microrganismos. Vários fatores influenciam na taxa de secagem, que é o principal parâmetro na secagem de alimentos. Esses fatores podem ser ligados às condições de processo (temperatura, umidade relativa, pressão, entre outros) e/ou à natureza do produto alimentício (área superficial, tipo e concentração de solutos, orientação dos constituintes, entre outros). Existem vários métodos de secagem de alimentos. Os métodos convencionais de secagem são: os secadores solares, os secadores com câmara de armazenamento, os secador de forno, os secadores de bandeja, os secadores de esteiras, os secadores de leite fluidizado, os secadores rotativos e os secadores de tambor. Os métodos mais modernos são: o secador por atomização e a liofilização. Este trabalho apresenta uma revisão sobre os diversos tipos de secagem

## **ABSTRACT**

Food drying or dehydration is a very old technique in food preservation. Its main objective is to remove or reduce the amount of water from food, thereby reducing the growth of microorganisms. Several factors affect the drying rate, which is the main parameter in food drying. These factors are linked to process conditions (temperature, humidity, pressure, etc.) and/or to the nature of the food product (surface area, type and concentration of solutes, orientation of the constituents, among others). There are several methods for food drying. Conventional drying methods are solar dryers, dryers with a storage chamber, oven drying, tray dryer, conveyor dryers, fluid bed dryer, rotary dryer and drum dryer. The latest methods are: the spray dryer and freeze-drying. This work presents a review of the various types of drying.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva típica da taxa de secagem em função do teor de umidade. ....	15
Figura 2: Secador de Bandeja.....	24
Figura 3: Secador Rotativo.....	25
Figura 4: Diagrama esquemático de funcionamento de um secador de atomização	28
Figura 5: Equipamento de liofilização.....	29

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	13
<b>2 SECAGEM DE ALIMENTOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 TAXA DE SECAGEM .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Período de Taxa Constante.....	18
2.1.2 Período de Taxa Decrescente.....	19
<b>2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A TAXA DE SECAGEM .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Condições de Processo .....	21
2.2.2 Natureza do Produto Alimentício .....	22
<b>3 EQUIPAMENTOS DE SECAGEM .....</b>	<b>23</b>
3.1 SECADORES CONVENCIONAIS .....	23
3.2 SECADORES POR ATOMIZAÇÃO .....	26
3.3 LIOFILIZAÇÃO.....	28
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>32</b>
<b>6 SECAGEM DE CAFÉ: UMA REVISÃO .....</b>	<b>33</b>

## INTRODUÇÃO

Devido à alta perecibilidade dos alimentos os processos de conservação destes tem fundamental importância na história da humanidade. A secagem, em particular, é um processo muito antigo usado para preservar os alimentos. Há séculos a secagem é utilizada e suas primeiras utilizações foram na conservação de grãos.

A secagem é a operação que tem por objetivo a retirada de água de um produto através de evaporação ou sublimação, quando ele é submetido a condições controladas de temperatura, umidade, pressão, vazão de ar, entre outros. A retirada da umidade dos alimentos tem como objetivo principal sua conservação, pois reduz a proliferação de microrganismos, reduz as reações químicas e as reações bioquímicas indesejáveis. Além disso, a secagem está relacionada também com a redução do peso e volume dos alimentos e, por consequência, ocorre a redução dos custos logísticos, de transporte e de armazenamento.

Existem vários métodos de secagem de alimentos, desde métodos mais antigos e tradicionais como os de secagem natural até métodos mais sofisticados como a secagem por liofilização. Muitos estudos foram desenvolvidos para a otimização dos métodos de secagem, sendo assim a primeira parte deste trabalho tem por objetivo consolidar os dados existentes na bibliografia para a secagem de alimentos apresentando as diferentes metodologias de secagem mais utilizadas na desidratação de alimentos.

A secagem é fundamental para vários produtos e, em alguns casos, além da função de conservação ela pode, ainda, potencializar e/ou modificar o aroma do produto, como é o caso do café que é uma cultura de grande importância econômica no Brasil; o país se destaca tanto pela produção quanto pelo consumo deste produto. A secagem é fundamental para a conservação deste produto, além disso, é esse processo que confere características importantes a este produto. Em função disso, no final deste trabalho, serão apresentados os principais métodos de secagem aplicados na produção de café, na forma de um artigo intitulado “Secagem de Café: Uma Revisão”.

## 2 SECAGEM DE ALIMENTOS

Os primeiros registros do uso de secagem artificial na conservação de alimentos são do século XVIII e o desenvolvimento dessa indústria relaciona-se estreitamente com as guerras ocorridas no mundo. Milhares de toneladas de vegetais desidratados foram enviadas às tropas britânicas durante a Guerra de Boer e foram mandadas para a Europa pelos Estados Unidos durante a primeira guerra mundial; nesta ocasião, desenvolveram-se os primeiros secadores artificiais. Durante a segunda guerra mundial, a tecnologia de secagem foi aprimorada e desenvolveram-se os secadores de tambor e a secagem por atomização, técnicas essas muito utilizadas até hoje (VAN ARSDEL e COPLEY, 1963).

Secagem ou desidratação é um processo em que a água é removida para parar ou retardar o crescimento de microrganismos deteriorantes, assim como a ocorrência de reações químicas. Além disso, a secagem é uma operação de conservação que se caracteriza pela remoção térmica de substâncias voláteis (umidade) para a obtenção de um sólido seco. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

São muitas as vantagens da secagem de alimentos, dentre as quais se podem citar: a preservação destes por um longo período e garantia da disponibilidade destes produtos nos períodos de entressafra ou de produção inexistente; a redução dos custos de armazenamento e transporte devido à redução do peso e do volume do produto através da retirada de água; a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; a proteção contra a degradação enzimática e oxidativa e a economia de energia por não necessitar de refrigeração para conservar o alimento. (GEANKOPLIS, 1993).

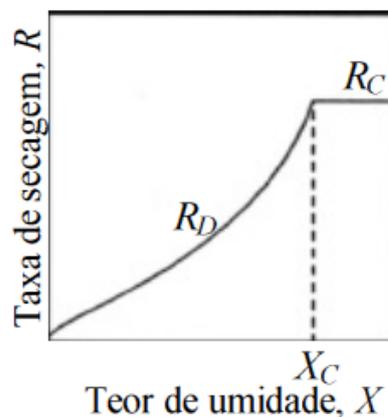
Os fenômenos envolvidos no processo de secagem são complexos, pois envolvem, simultaneamente, as transferências de massa, calor e quantidade de movimento. Durante a secagem, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos desses transportes mais importantes são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. (MUJUMDAR, 1995)

As características específicas de cada produto, associado 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 é um fenômeno comum a qualquer condição de secagem. GEANKOPLIS (1993).

A dinâmica do processo de secagem de um produto é regida pela taxa de secagem ( $R$ ) e possui várias etapas. A taxa de secagem varia de acordo com a temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar, composição do produto e orientação dos seus constituintes. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

## 2.1 TAXA DE SECAGEM

A taxa de secagem é a função da diminuição da umidade em função do tempo ( $t$ ). Na Figura 1 está demonstrada uma curva típica da taxa de secagem ( $\text{kg de água.kg ss}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) em função do teor de umidade ( $\text{kg de água.kg ss}^{-1}$ ) para condições constantes de operação (temperatura, vazão de ar, umidade relativa).



**Figura 1:** Curva típica da taxa de secagem em função do teor de umidade (HELDMAN E HARTEL, 2000).

Onde:  $R_C$ : Período de taxa constante;  $R_D$ : Período de taxa decrescente;  $X_C$ : Teor de umidade crítico e ss: Sólido seco.

KOYUNCU, SERDAR E TOSUN (2004) afirmam que os produtos, em sua maioria, apresentam dois comportamentos distintos durante o processo de secagem: no início do processo a secagem apresenta uma fase constante e, depois, apresenta uma fase decrescente. A fase decrescente inicia-se em uma umidade específica, denominada de umidade crítica. A duração das fases é influenciada pela umidade inicial do produto a ser seco e das condições do ar de secagem.

A fase constante, primeira fase, caracteriza-se pela remoção da água livre do alimento. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. A superfície do alimento está saturada de umidade e a água se comporta independente do produto (como se o produto não estivesse presente). Sendo assim, a taxa de secagem é limitada pela evaporação da água na superfície. Além disso, a temperatura da superfície é aproximadamente a temperatura de bulbo úmido do sistema. A duração dessa fase se dá enquanto a taxa de migração da água do interior do produto para a superfície é a mesma da evaporação da água para o meio, isto é, enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante. Esta fase se dá até que o teor de umidade atinja o teor de umidade crítica. A umidade da superfície do produto encontra-se reduzida pela evaporação e esse fato se deve à diminuição da concentração de umidade no interior do sólido, o que dificulta a migração da água para a superfície do alimento. Neste momento inicia-se o período de taxa decrescente (segunda etapa da secagem). (HELDMAN E HARTEL, 2000).

A fase de umidade decrescente é governada pela migração interna de umidade. Essa fase se caracteriza pelo declínio da taxa de secagem. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa. Avalia-se que esse período possa ser dividido em duas partes. (GEANKOPLIS, 1993)

A primeira parte da fase decrescente pode ser tão curta que pode até não aparecer e ocorre quando a superfície do produto ainda contém pontos úmidos. Esses pontos vão diminuindo constantemente até a secagem completa desses pontos. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

A segunda parte da fase decrescente inicia-se quando a superfície do produto encontra-se totalmente seca. Nesta fase, a taxa de secagem é regida pela difusão do líquido no interior do sólido e pela transferência de massa na superfície deste. O fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Essa etapa é quase sempre a única fase observada para a secagem de produtos alimentícios. (GEANKOPLIS, 1993)

Uma vez que a umidade do produto diminui durante a secagem, a taxa do movimento interno de umidade também diminui e, assim, a taxa de secagem cai rapidamente. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado. Nesta fase a taxa de secagem é muito baixa e, devido a isso, a remoção de água torna-se muito lenta e a etapa é, portanto, mais longa. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

Os fenômenos de transporte envolvidos na secagem de alimentos são muito complexos; dentre alguns mecanismos de migração interna podemos citar: difusão do líquido, difusão do vapor, escoamento capilar, escoamento devido ao gradiente de pressão e escoamento devido ao gradiente de temperatura. A difusão do líquido ocorre quando existe um gradiente de umidade entre o interior e a superfície do produto. A taxa de difusão depende da natureza do produto, da temperatura e da diferença de concentração na superfície do produto e no ar de secagem. (GEANKOPLIS, 1993)

A difusão do vapor se dá quando existe um gradiente de pressão parcial. A taxa de difusão é determinada pela pressão parcial do ar de secagem. O vapor é formado pela vaporização da água no interior do sólido. O escoamento capilar ocorre principalmente em produtos porosos. As forças de tensão superficial podem induzir a migração da umidade através da estrutura interna do produto. O escoamento devido ao gradiente de pressão ocorre devido à diferença de pressão entre o ar de secagem e a estrutura interna do sólido. O escoamento devido ao gradiente de temperatura ocorre quando existe diferença entre a temperatura do interior do produto e a temperatura na superfície do alimento. A difusão é considerada o principal mecanismo de migração interna da umidade, porém outros mecanismos, descritos anteriormente, podem ocorrer simultaneamente no processo de secagem. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

### 2.1.1 Período de Taxa Constante

Conforme comentado anteriormente, na etapa de taxa constante de secagem, a superfície do produto que está sendo seco permanece saturada durante a secagem, devido à taxa de movimento da umidade no interior do sólido. Neste período os fenômenos mais importantes são: a transferência de massa do vapor de água, a transferência de calor através dos sólidos do produto e a transferência de calor na fase gasosa. (GEANKOPLIS, 1993)

Assim, para os balanços de calor e massa deste período, assume-se apenas a transferência de calor por convecção entre a superfície do sólido e o ar de secagem e a transferência de massa da superfície para o mesmo ar de secagem. (GEANKOPLIS, 1993)

A Equação 1 expressa a transferência de calor entre o sólido e o ar de secagem. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

$$q = hA_s(T - T_w) \quad (1)$$

Onde:  $h$ : coeficiente de transferência de calor convectivo ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ );  $A_s$ : área superficial do sólido ( $m^2$ );  $T_w$ : temperatura de bulbo úmido ( $^{\circ}C$ ) e  $T$ : temperatura do ar de secagem ( $^{\circ}C$ ).

A Equação 2 expressa a transferência de massa entre o sólido e o ar de secagem. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

$$N_a = K_y(Y_s - y) \frac{PM_{ar}}{PM_{H_2O}} \quad (2)$$

Onde:  $N_a$ : fluxo de vapor de água ( $\text{kgmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $Y_s$ : umidade do ar na superfície do sólido;  $y$ : umidade do ar;  $K_y$ : coeficiente de transferência de massa ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ );  $PM_{ar}$ : massa molar do ar ( $\text{kg.kgmol}^{-1}$ ) e,  $PM_{H_2O}$ : massa molar de água ( $\text{kg.kgmol}^{-1}$ ).

A Equação 3 expressa o calor necessário para vaporizar a água na superfície do alimento durante a secagem na etapa de taxa constante. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

$$q = N_a PM_{H_2O} \lambda_w A_s \quad (3)$$

Onde:  $\lambda_w$ : calor latente a  $T_w$  ( $\text{J.kg}^{-1}$ ).

A Taxa de secagem na fase de taxa constante pode ser descrito pelas Equações 4 e 5. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

$$R_C = K_y PM_{H_2O} (Y_w - y) \quad (4)$$

$$R_C = \frac{h_c (T - T_w)}{\lambda_w} = \frac{q}{\lambda_w A} \quad (5)$$

Onde:  $Y_w$ : Umidade em  $T_w$ .

Nesta fase o ar sofre um processo de umidificação adiabática e a temperatura do sólido é igual à temperatura de bulbo úmido do ar durante toda a fase de taxa constante, na ausência de troca de calor por radiação. (GEANKOPLIS, 1993)

### 2.1.2 Período de Taxa Decrescente

O período de taxa decrescente é descrito através da Segunda Lei de Fick. Tal lei relaciona a umidade do material com o tempo através de um parâmetro de processo conhecido como coeficiente difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ). Esta, por sua vez, representa a

velocidade com que a água se difunde do interior do material até a sua superfície (OLIVEIRA, OLIVEIRA e PARK, 2006).

A Equação 6 é a aplicação da Lei de Fick no balanço de conservação de massa. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 X \quad (6)$$

Onde:  $X$ : conteúdo de umidade livre e  $D_{eff}$ : coeficiente de difusão efetivo da umidade.

Os alimentos de baixa porosidade apresentam menores valores de difusividade em baixos teores de umidade; os alimentos muito porosos, como liofilizados e extrusados, por sua vez, apresentam maiores valores de difusividade a baixas umidades. (HELDMAN E HARTEL, 2000).

A dependência funcional da difusividade efetiva com a temperatura é expressa por uma equação do tipo Arrhenius ((HELDMAN E HARTEL, 2000). A Equação 7 descreve a difusividade efetiva de umidade.

$$D_{eff} = D_0 \exp \frac{-E_a}{R_G T} \quad (7)$$

Onde:  $D_0$ : constante;  $E_a$ : energia de Ativação ( $\text{cal.gmol}^{-1}$ );  $T$ : temperatura do ar (K) e  $R_G$ : constante universal dos gases ( $1,987 \text{ cal.gmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

## 2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A TAXA DE SECAGEM

Os fatores que influenciam a taxa de secagem são relacionados às condições de processo (tipo de secador e condições de operação) e a natureza do alimento submetido ao processo (HELDMAN e HARTEL, 2000).

### **2.2.1 Condições de Processo**

Os fatores que afetam a taxa de secagem relacionados às condições de processo são: Temperatura, velocidade do ar e umidade relativa.

A temperatura é um fator de extrema importância durante a secagem, pois a taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura. Durante a secagem a temperatura aumenta a transferência de calor na fase de taxa constante. O aumento da temperatura diminui a umidade relativa do ar, sendo assim, o gradiente de umidade aumenta, o que facilita a secagem. Além disso, durante a fase de taxa de secagem decrescente a temperatura está relacionada com a migração interna. Porém, o uso de altas temperaturas pode causar mudanças químicas e físicas indesejáveis ao produto. (HELDMAN E HARTEL, 2000)

A velocidade do ar influencia a taxa de secagem, pois o aumento da velocidade do ar de secagem aumenta a taxa de transferência de massa por convecção. A velocidade do ar de secagem influencia somente na fase de taxa constante, pois como é um fator externo não interfere na taxa de migração interna da umidade. (GEANKOPLIS, 1993)

A umidade relativa é um parâmetro de grande importância, pois é determinante para o gradiente de umidade, que é o grande responsável pela transferência de massa na superfície do produto a ser processado. Como a umidade relativa é um fator externo, influencia apenas na fase de taxa de secagem constante. (HELDMAN E HARTEL, 2000)

### 2.2.2 Natureza do Produto Alimentício

Os fatores que afetam a taxa de secagem relacionados à natureza do produto são: Área superficial, orientação dos constituintes, estrutura celular e tipo e a concentração dos solutos.

A área superficial do produto que é exposta a secagem é um fator importante pois aumenta a área de troca de transferência de massa e diminui a distância percorrida no interior do produto. (HELDMAN E HARTEL, 2000)

A orientação dos constituintes do alimento afeta a movimentação da umidade do interior do produto submetido a processos de secagem. (GEANKOPLIS, 1993)

A estrutura celular é importante, pois, na maioria dos alimentos, uma porção da umidade está no interior das células, dessa forma, a secagem dessa umidade depende primeiramente da migração da umidade através da membrana da célula. (HELDMAN E HARTEL, 2000)

O tipo e a concentração dos solutos determinam a mobilidade das moléculas de água durante a secagem, pois os componentes do alimento podem impedir a movimentação da umidade no interior do produto. (GEANKOPLIS, 1993)

### **3 EQUIPAMENTOS DE SECAGEM**

A escolha de um secador adequado que se integre no processo como um todo exige a comparação das vantagens e desvantagens dentre as várias alternativas disponíveis, levando em conta, tanto o ponto de vista técnico, como o econômico. Assim, a escolha do secador adequado para o processo é complexa. . (HELDMAN E HARTEL, 2000)

Alguns fluxogramas existentes na literatura orientam na escolha do equipamento mais adequado para o processo desejado. Estes fluxogramas incluem a quantidade de matéria seca e a quantidade de umidade a ser removida, as características físicas da alimentação (batelada ou contínua), a presença de etapas prévias de remoção de água, o tamanho do alimento a ser seco, as características físico-químicas e os nutrientes envolvidos (umidade, teor de açúcar, densidade, entre outros). Além disso, na maioria das vezes, para escolha do secador, são necessários dados de planta piloto e consultas a processos de secagens anteriores (MUJUMDAR, 1995).

São necessárias também, para o dimensionamento do equipamento de secagem, informações termodinâmicas e informações cinéticas; a escolha deve levar em conta, também, a capacidade produtiva, a umidade inicial do produto, as características de secagem e dados físicos do material. (GEANKOPLIS, 1993)

#### **3.1 SECADORES CONVENCIONAIS**

Na bibliografia existem vários autores que descrevem os diferentes tipos de secadores usados na secagem de alimentos: GEANKOPLIS (1993), MUJUMDAR (1995) e HELDMAN

e HARTEL (2000). A seguir, baseado nestes autores, é apresentada uma breve descrição dos equipamentos mais comumente encontrados nas indústrias alimentícias.

Os equipamentos de contato direto podem se apresentar em dois tipos: secadores de leite fixo (batelada) e móvel (contínuo). Seu funcionamento é baseado na passagem de ar aquecido e seco através do produto com a finalidade de remover a umidade presente. (MUJUMDAR, 1995).

Os exemplos mais comuns de secadores de leite fixo são os secadores solares, de câmara de armazenamento, de forno e de bandeja (Figura 2) e os de leite móvel são o secador de esteira, de leite fluidizado e os rotativos (Figura 3). Alguns destes são descritos a seguir. (GEANKOPLIS, 1993)



**Figura 2:** Figura ilustrativa de um secador de Bandeja (ALIBABA, 2010).



**Figura 3:** Figura ilustrativa de um secador Rotativo (AEROGlide 2010).

Os secadores de contato direto são os mais encontrados na indústria de desidratação de alimentos, pois são extremamente simples, de fácil operação e de baixo custo. (GEANKOPLIS, 1993)

Os secadores solares apesar de apresentarem taxas de transferências menores, dependerem das condições climáticas e resultarem em um produto de menor qualidade, são ainda muito utilizados devido ao baixo custo. Este método consiste em expor o produto ao sol até que atinja a umidade desejada. É o equipamento mais antigo e simples utilizado para a secagem de alimentos. (GEANKOPLIS, 1993)

A secagem com secadores de câmara de armazenamento é um processo que, normalmente, complementa a secagem principal e consiste na passagem de ar aquecido pelo interior da câmara de armazenamento (onde encontra-se o produto pré-seco). (MUJUMDAR, 1995).

Os secadores de forno funcionam quando o ar é aquecido através da combustão direta de um gás combustível e, então, entra em contato com o produto a ser seco. Esse método possui alta eficiência, porém, como os produtos da combustão tem contato direto com o alimento, podem conferir sabor e aroma indesejáveis ao produto. (HELDMAN E HARTEL, 2000)

O sistema de funcionamento dos secadores de bandejas consiste na passagem de ar aquecido pelo alimento que fica acondicionado em uma ou mais bandejas perfuradas. O ar é aquecido na entrada do secador com o uso de trocadores de calor ou por gases de combustão. Em uma só operação a água é removida do alimento e retirada do secador. (HELDMAN E HARTEL, 2000)

O secador de esteiras é um secador contínuo, a operação se dá pela passagem de ar aquecido (constantemente renovado, para evitar a saturação) por esteiras perfuradas. O equipamento é alimentado através da disposição dos produtos por esteiras móveis e são levados para o interior do equipamento onde circula o ar aquecido. A circulação do ar pode se dar em concorrente, contracorrente, entre outros, dependendo das características do produto. (MUJUMDAR, 1995).

Os secadores de leito fluidizado são utilizados para a secagem de materiais particulados através da passagem de ar seco através do leito de produto. O contato direto e o tamanho do produto a ser seco (até 10 mm) faz com que o método apresente altas taxas de secagem. Além disso, esse método exige que o produto a ser seco seja estável à agitação, às movimentações da fluidização e, além disso, apresente tamanhos uniformes e geometrias praticamente esféricas. (GEANKOPLIS, 1993)

### **3.2 SECADORES POR ATOMIZAÇÃO**

Também conhecido por *Spray Dryer*, é indicado para produtos líquidos com altos conteúdos sólidos; a secagem se dá através da pulverização da alimentação no interior do equipamento e a recuperação das partículas secas após a remoção da água. (MUJUMDAR, 1995).

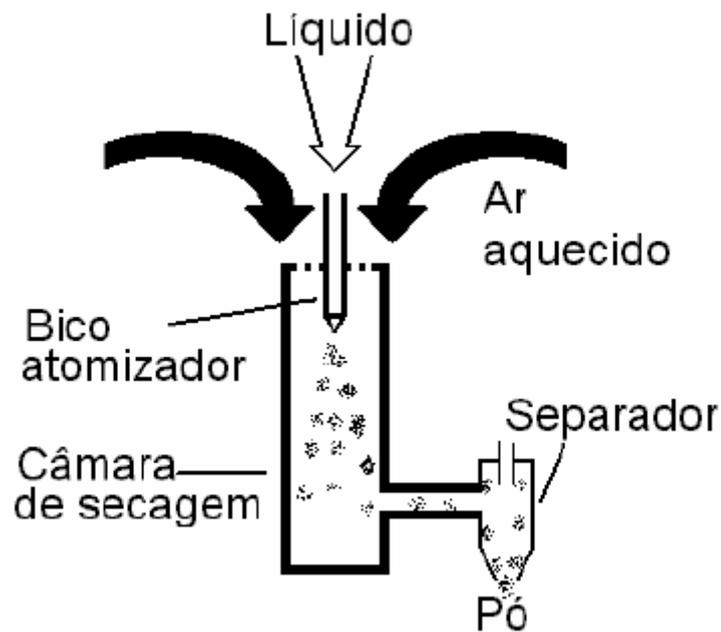
A secagem por atomização teve início na metade do século XVIII e teve sua primeira aplicação na secagem de ovos em 1865. A partir do século XX os primeiros produtos em larga escala foram produzidos com esse método (sabão em pó e leite) e, desde então, este método tem sido largamente utilizado, principalmente na indústria alimentícia. (HELDMAN E HARTEL, 2000)

Esse tipo de equipamento é bastante versátil, pois pode operar em escala de bancada até grandes escalas. Além disso, o tempo de residência do produto na câmara de secagem do equipamento, isso é, em contato com o calor, faz deste um método muito usado na secagem de produtos sensíveis ao calor. (GEANKOPLIS, 1993)

A eficiência do processo está ligada principalmente ao aumento da superfície de contato entre as partículas e o ar aquecido, já que o produto é atomizado, formando uma névoa, por um bico de spray. O equipamento é formado por um aquecedor ou fonte de ar quente, uma câmara de mistura da névoa com o ar quente e um método de recuperar ou reter os sólidos secos a partir da corrente de ar, os ciclones (ROSA, TSUKADA e FREITAS, 2003).

As características do produto e do projeto do equipamento influenciam nos parâmetros de secagem. As características importantes do produto são o teor de sólidos, densidade, viscosidade e tensão superficial. As características de maior importância de projeto são o tipo do bico spray, a vazão e velocidade de ar quente e líquido, a temperatura de secagem, o tipo de fluxo (concorrente ou contra corrente). (GEANKOPLIS, 1993)

Na Figura 4 está apresentado o esquema de funcionamento de um secador de atomização (*Spray Dryer*).



**Figura 4:** Diagrama esquemático de funcionamento de um secador de atomização (ROSA, TSUKADA e FREITAS, 2003).

### 3.3 LIOFILIZAÇÃO

A liofilização é um processo de secagem em que a água é cristalizada a baixas temperaturas e então é sublimada. Esse tipo de secagem é principalmente utilizado para a secagem de produtos termolábeis, pois não utiliza calor. Além disso, várias vantagens podem ser apontadas, tais como: retenção da morfologia do alimento, alta recuperação dos compostos voláteis, alto rendimento. (RATTI, 2001).

Os alimentos são acondicionados no equipamento (dentro de uma câmara) hermeticamente fechados e são submetidos a vácuo. A temperatura dentro da câmara chega a  $-60^{\circ}\text{C}$ , assim, condições ideais de temperatura e pressão para a sublimação são estabelecidas. De 6 a 12 horas depois, esse tempo depende do tipo de alimento, o

alimento está desidratado, com cerca de 1% de umidade (EVANGELISTA, 1998). A liofilização é o método mais caro de secagem de alimentos, devido aos altos custos energéticos, de operação e manutenção.

Na Figura 5 apresenta-se uma figura ilustrativa de um equipamento industrial de liofilização.



**Figura 5:** Figura ilustrativa de um equipamento industrial de liofilização (AEROGLIDE, 2010).

## 4 CONCLUSÕES

A secagem é um importante método na conservação de alimentos. Dentre os parâmetros, a taxa de secagem possui papel fundamental durante o processo de secagem, o qual possui duas etapas distintas: Constante e decrescente.

Muitos são os métodos que são utilizados na operação unitária da secagem. Esses métodos são divididos em métodos convencionais, atomização e liofilização. Os métodos convencionais de secagem são principalmente aqueles secadores de contato direto, neles o ar aquecido e seco escoia através do produto, a fim de evaporar a umidade do alimento. São exemplos de secadores de contato direto o secador solar, o secador de forno, de bandeja, entre outros. Esses métodos podem utilizar altas temperaturas e longos tempos de secagem o que pode causar danos por calor nos produtos, como escurecimento não enzimático por exemplo. (EVANGELISTA, 1998).

A secagem por atomização, conhecida por *spray dryer* é um dos métodos mais utilizados na indústria alimentícia, é muito utilizado para alimentos líquidos e pastosos, e tem seu funcionamento baseado na atomização da alimentação no interior do equipamento e a recuperação das partículas secas. Esse equipamento opera com altas temperaturas, porém devido ao baixo tempo de contato do produto com o calor os danos por calor são mínimos. (EVANGELISTA, 1998).

A liofilização tem como seu princípio de funcionamento o congelamento do produto (-60 C) e a posterior sublimação da água presente no alimento. Neste processo não existe danos por calor, nem outras desvantagens da secagem tradicional, como perda de volume, alteração de cor e reações químicas indesejáveis. Esse método de secagem é mais caro quando comparados aos outros métodos, porém resulta em produtos desidratados de maior qualidade. (EVANGELISTA, 1998).

Devido a grande variedade de produtos que podem ser secos por diferentes métodos, existe também um grande número de tipos de secadores no mercado. Dessa forma a escolha do tipo de secador deve ser cuidadosamente estudada. É de extrema importância

o conhecimento do processo, equipamento, produto a ser seco e características do produto final. (EVANGELISTA, 1998).

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Atheneu, p.25-37 1998.

GEANKOPLIS, C. J.. **Transport Process and Unit Operations**, 3 rd edition, Prentice-Hall, p. 921, 1993.

HELDMAN, D.R. e HARTEL, R.W., **Principles of Food Processing**. Chapman & Hall, p.1-218, 2000.

AEROGLIDE. Disponível em <[http://www.aeroglide.com/\\_Portuguese/rotary-dryers-po.php](http://www.aeroglide.com/_Portuguese/rotary-dryers-po.php)>. Acesso em: 29 out. 2010.

ALIBABA. Disponível em <<http://portuguese.alibaba.com/product-tp/vacuum-tray-drier-100344612.html>>. Acesso em: 29 out. 2010.

KOYUNCU, T., SERDAR, U. e TOSUN, I., **Drying Characteristics and Energy Requirement for Dehydration of Chestnuts** (*Castanea sativa Mill*), Journal Food Engineering, 62, 165-168, 2004

MUJUMDAR, A; S. **Handbook of Industrial Drying**. 2ª Ed., v. 1. Marcel Dekker, Inc. 742 p., 1995.

OLIVEIRA, R. A. DE; OLIVEIRA, W. P. DE; PARK, K. J. Determinação da Difusividade Efetiva de Raiz de Chicória. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, 2006.

PHILLIPS A. L. **Solar Energy**, v. 9, n. 4, October-December, p. 213-216, 1965.

GABAS A., TELIS ROMERO J., MENEGALLI F. C. , **"Influência da temperatura na umidade de equilíbrio e calor de sorção da casca e da polpa de uva Itália"**, Actas del II Congreso Iberoamericano de Ingenieria de Alimentos, Bahía Blanca, Argentina, 1998.

RATTI C., **Hot Air and Freeze-drying of High-value Foods; a Review**, Journal of Food Engineering. v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

ROSA E. D., TSUKADA M., FREITAS L. A. P., **Secagem por atomização na indústria alimentícia: Fundamentos e aplicações**, 2003.

VAN ARSDEL, W.B. e COPLEY, M.J., **Food Dehidration** Vol. 1. *Principles.*, AVI Puplicing, 1963.

## 6 SECAGEM DE CAFÉ: UMA REVISÃO

O presente artigo está formatado para a submissão em revista nacional

### **Relevância do trabalho**

O presente artigo tem como objetivo analisar e compreender os diferentes aspectos da operação de secagem de café na indústria de alimentos. Uma comparação entre os dados bibliográficos é bastante relevante, pois permite uma análise crítica dos métodos de secagem utilizados na indústria permitindo que seja traçado um paralelo entre eles. Através da constante avaliação destes métodos, permite-se um aprimoramento e o desenvolvimento de novas tecnologias.

### **Títulos:**

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE SECAGEM DE CAFÉ: UMA REVISÃO

COMPARISON BETWEEN THE METHODS OF COFFEE DRYING: A REVIEW

### **Título para cabeçalho:**

SECAGEM DE CAFÉ: UMA REVISÃO

**Informação para correspondência:**

Pâmela Virgínia Ramos Guimarães

Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre/RS

Email: [pamelavrg@yahoo.com.br](mailto:pamelavrg@yahoo.com.br)

**Autores:**

Pâmela Virgínia Ramos Guimarães<sup>1</sup>

Aline Schiling Cassini<sup>2</sup>

Carolina Pereira Kechinski<sup>2</sup>

**Instituições envolvidas:**

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>1</sup>ICTA: Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos

<sup>2</sup>DEQUI: Departamento de Engenharia Química

**RESUMO**

O café é um produto que apresenta alta perecibilidade, sendo assim processos de conservação são de fundamental importância e a secagem é o principal método de conservação do grão. Muitos são os tipos de secagem que são empregados no produto desde métodos rudimentares como a secagem natural até métodos sofisticados como o uso de micro-ondas. A comparação dos métodos de secagem é importante, pois possibilita o confronto das vantagens, das desvantagens e aplicações de cada método.

**Palavras-chave:** Secagem, Café, Revisão.

## **ABSTRACT**

Coffee is a highly perishable product, so conservation processes are of fundamental importance and drying is the main method of preservation of the grain. There are many methods used to dry the product from primitive methods such as natural drying up sophisticated methods such as using microwaves. The comparison of drying methods is important because enables comparison of the advantages of applications and disadvantages of each method.

**Key-words:** Dry, Coffee, Review

## **1. INTRODUÇÃO**

A introdução da cultura do café no Brasil ocorreu no período colonial, por volta de 1727, quando foram trazidas as primeiras mudas da Guiana Francesa e, desde então, o café se destaca como uma das mais importantes culturas do Brasil. Como o café é uma cultura anual e apresenta alta perecibilidade, devido à alta umidade, processos de conservação, principalmente de secagem, são de fundamental importância para permitir o armazenamento e transporte. (LACERDA e SILVA, 2006).

A secagem de café é, comparativamente, mais difícil de ser executada que a de outros produtos. Além do elevado teor de açúcar presente na mucilagem (mesocarpo de fruto), a umidade inicial, aproximadamente igual a 60% (base úmida), faz com que a taxa de deterioração seja alta, logo após a colheita. Qualquer que

seja o método de secagem utilizado para condicionar o produto ao armazenamento seguro, é fundamental evitar fermentações indesejáveis antes e durante a secagem e, além disso, evitar temperatura excessivamente elevada na massa de grãos (LACERDA e SILVA, 2006).

A secagem é uma operação fundamental para todas as etapas de processamento do café, tanto para o grão verde, quanto para a produção do café torrado e instantâneo. (LACERDA e SILVA, 2006).

Sendo assim, esse trabalho tem por objetivo, através de uma revisão bibliográfica, comparar os métodos de secagem tanto do café em grão quanto do café solúvel. Para tanto, primeiramente será apresentado uma revisão sobre os métodos de secagem do grão de café (secagem natural, por ar forçado e micro-ondas); a seguir alguns métodos utilizados na secagem de café solúvel são também apresentados e discutidos (liofilização, atomização e *spray-freezing*).

## **2. REVISÃO SECAGEM DO GRÃO**

### ***Café in natura***

Após a colheita, o café sofre três operações que garantem o bom armazenamento do produto: a primeira delas é a lavagem, que retira sujidades e separa a fração boia (grãos brocados ou mal granados que flutuam durante a lavagem); a segunda é a preparação para a secagem, que pode ser realizada por via seca (sem fase fermentativa) ou por via úmida (com presença de fase fermentativa). Por último, os grãos são secos através de diferentes métodos até atingirem de 11 a 13% de umidade (base úmida) (ORNELLAS, 2001).

Observou-se, em alguns estudos envolvendo a qualidade do café, que a secagem, quando mal conduzida, compromete a qualidade do produto principalmente quando ele passa a ser armazenado por longos períodos,

provocando o decréscimo da qualidade da bebida (SILVA et al., 2001; NOBRE, 2005).

### **Secagem natural**

O princípio da secagem solar da colheita, com a finalidade de preservar e armazenar os grãos, data do advento da civilização. Os métodos usados eram bastante simples, mas razoavelmente eficazes. O uso da energia solar, atualmente, é desejável porque a maioria das outras fontes de energia têm efeitos adversos ao ambiente e é, na maioria dos casos, mais cara. (KREIDER e KREITH, 1975).

São utilizados dois métodos de secagem de café com a utilização de energia solar. O primeiro é a secagem em terreiros, que consiste em espalhar o produto sobre pisos de cimento, de tijolo, de chão batido ou de asfalto, com o objetivo de expor o produto diretamente à radiação solar. Os grãos são revolvidos continuamente com o auxílio de um rodo ou de outro equipamento similar, objetivando movimentá-los através do ar. O segundo é a utilização de equipamentos que fazem uso da energia solar. Os secadores solares podem ser separados em secadores solares diretos, indiretos e especializados (KREIDER e KREITH, 1975).

Nos secadores solares diretos, o produto a ser desidratado fica exposto à radiação solar, o calor é gerado pela absorção da radiação solar no produto, assim como nas superfícies internas da câmara de secagem. Em secadores solares indiretos, a radiação solar não é diretamente incidente no material a ser seco; o ar é aquecido em um coletor solar e é canalizado para a câmara de secagem para secar o produto, isto é, nos do tipo indireto o produto é desidratado unicamente devido à passagem de ar aquecido pelo coletor (RABL, 1985).

Ambos os tipos de secadores operam segundo a conversão térmica da radiação solar sendo, portanto, operacionais também com radiação difusa pela presença da

radiação infravermelha. Os secadores especializados normalmente são construídos de acordo com o produto que se deseja secar e podem incluir sistemas híbridos onde outros tipos de energia são utilizados (WHITFIELD, 2000).

Já em 1965 estudava-se a eficácia da secagem solar de café, PHILLIPS (1965) investigou a eficácia de coletores de energia solar usados em conjunto com calefadores elétricos para o fornecimento de ar quente e seco para a secagem de café em grão durante duas safras. O autor observou que os custos com eletricidade foram reduzidos em 66% em comparação a outras instalações que não incorporam coletores de energia solar.

Embora os secadores solares indiretos sejam menos compactos quando comparados aos secadores solares diretos, os indiretos são geralmente mais eficientes. Os sistemas solares híbridos permitem secagem mais rápida, pois fazem uso de outras fontes de energia calorífica em suplemento ao calor solar. A energia coletada em um coletor solar depende do isolamento do sistema e do posicionamento do coletor solar no que diz respeito ao sol; além disso, a energia máxima somente pode ser coletada se os raios de sol incidem perpendicularmente ao sistema (CHUA e CHOU, 2003).

Os sistemas de secagem com o uso de energia solar são de fácil instalação e fácil operação, além disso, podem ser empregados em fábricas de pequena escala e em plantas agroindustriais. Esse tipo de tecnologia de secagem de alimentos é de baixo custo e rápido retorno. (SHARMA, 2009).

### **Secagem por ar forçado**

Em muitos países o café é seco através do uso da secagem por ar forçado através de secadores de cilindro devido às duas vantagens principais quando comparadas a secagem ao sol, são elas: capacidade produtiva da planta e

independência das circunstâncias climáticas (SFREDO, FINZER E LIMAVERDE, 2005).

Durante a secagem clássica por ar quente, o ar é fundido através de um calefator até a unidade de secagem. O calor é transferido para o material, secando-o. Esses sistemas podem funcionar com ou sem reciclo de ar (FLINK, 1977).

PELEGRINA, ELUSTONDO E URBICAN (1999), usaram secadores de cilindros para a secagem de grãos de café e mostraram que o uso de reciclo de ar fresco representa significativa economia de energia.

JORDÃO *et al.* (1980) realizaram experimentos de secagem de café em camada fixa, em substituição aos terreiros. Os autores verificaram que, no início do processo, esse tipo de secagem apresentou-se como alternativa econômica, não só por impedir que o produto fique exposto às condições adversas de clima, mas também, por realizar a secagem em menor intervalo de tempo combinando com outro sistema, quanto para a secagem completa dos frutos.

LACERDA (2006) testou sistemas de secagem de café com utilização de altas temperaturas e observou que uma maior temperatura aplicada ao ar de secagem proporcionou maior eficiência energética ao processo; observou também que o secador de fluxos concorrentes, com intermitência no processo de secagem, não comprometeu a qualidade dos frutos de café, secos com ar à temperatura entre 80 e 100 °C. Além disso, observou que a utilização da secagem de café, em sistema intermitente, com ar de secagem aquecido até 130 °C no início da operação, e 70°C, quando a umidade dos grãos era igual ou inferior a 18,0% (base úmida), resultou na mesma bebida produzida com o café secado em terreiro.

### **Secagem por micro-ondas**

A bibliografia também reporta a utilização de micro-ondas como alternativa tecnológica para a secagem de alimentos, inclusive de café in natura, já que a energia de micro-ondas acelera os processos de secagem convencionais a ar quente, também atuando como um complemento para o aquecimento convencional.

CUNHA, CANTO, MARSAIOLI (2003) indicaram que a energia micro-ondas pode trazer importantes vantagens se usada em conjunto com as tecnologias de aquecimento aplicadas aos secadores convencionais de café em grão, já que atua como um complemento para o aquecimento convencional, reduzindo substancialmente o tempo de secagem e provendo um melhor controle dos parâmetros do processo, tais como a uniformidade e a estrutura dos grãos, levando a uma qualidade melhorada. O autor também demonstrou a viabilidade econômica deste tipo de secagem.

Além disso, estudos realizados sobre secagem de milho para a trituração também mostram que o uso de micro-ondas reduz o consumo de energia durante a secagem e facilita a trituração, que foi indicada por índices reduzidos de trabalho mecânico do triturador (CANTO, 2005).

KAHYAOGLU, SAHIN e SUMNU (2010) compararam a secagem por ar forçado e por micro-ondas de um preparado de trigo (*bulgur*) e concluiu que o uso de micro-ondas diminui o tempo de secagem significativamente.

O uso da secagem por micro-ondas vem se mostrando, portanto, uma alternativa tecnológica quando associada a métodos convencionais de secagem para a redução do consumo energético, como é evidenciado por vários autores (DURAIRAJ, CHAUDHARY e BASAK, 2009; SUMNU, TURABI e OZTOP, 2005; WANG e Xi, 2005; HOLTZ, AHRNÉ e RASMUSON, 2010).

### 3. REVISÃO SECAGEM DO CAFÉ SOLÚVEL

#### Secagem por Atomização

A secagem por atomização (*spraydryer*) é uma técnica já estabelecida na indústria de alimentos, porém, a qualidade do produto obtido está ligada a sua estabilidade às altas temperaturas empregadas nessa operação.

A secagem por atomização é a transformação de um alimento de um estado fluido em pó seco através do uso de um meio de secagem quente. Esta técnica de secagem é utilizada em inúmeros produtos, tais como: alimentos, fármacos, detergentes, entre outros (MESTRE, 1972).

O uso da secagem por *spray dryer* é um dos métodos mais utilizados para a produção de café instantâneo. Neste processo, o extrato de café é concentrado e é atomizado em uma câmara de secagem, ocorrendo, assim, à remoção da água devido ao contato com o ar em temperaturas entre 200°C e 300°C. Esta técnica permite a produção em grandes escalas, fornecendo produtos de boa qualidade (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Devido à simplicidade relativa do equipamento, os custos de instalação e fabricação são baixos. As inconveniências do processo de secagem por atomização são as perdas de aroma e do sabor de caramelo dado ao produto (BASSOLI *et al.*, 1993).

HINO *et al.* (2000) afirmam que a técnica de atomização é aplicável mesmo para produtos com certa instabilidade ao calor em virtude da característica da operação de processamento rápido, garantido produtos com qualidade satisfatória. Além disso,

o autor afirma que o produto se torna menos higroscópico, quando comparado ao liofilizado, facilitando a etapa de armazenagem.

TAYLOR et al (1994) afirmam que as partículas mais finas preparadas pelo equipamento de *spray dryer* melhoram a propriedade de dissolução, o que é extremamente importante para o café instantâneo.

### **Secagem por Liofilização**

O processo de liofilização não é amplamente utilizado na indústria alimentícia devido a seu custo de operação ainda elevado. Embora novas tecnologias, tais como a adsorção, a fluidificação e as micro-ondas venham sendo pesquisadas na última década a fim reduzir custos, a liofilização é, até agora, a única tecnologia usada em uma escala industrial para secar o café, especiarias, carnes, ingredientes de alimento e outros alimentos valiosos. Entretanto, com a preocupação crescente sobre a qualidade do alimento, este processo pode ser considerado como uma alternativa valiosa para a preservação de outros alimentos (MUMENTHALER, 1991).

A técnica de liofilização é um dos processos mais úteis para secar as substâncias termolábeis, pois não utiliza calor e é também uma técnica muito utilizada para a obtenção de café instantâneo.

No método de liofilização, o extrato concentrado de café é inicialmente congelado e é então moído. Em seguida, os grânulos congelados passam por um processo anterior à secagem, que tem por finalidade assegurar tamanhos uniformes de partículas; posteriormente, em uma câmara de vácuo, a água é sublimada (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

OLIVEIRA *et al.* (2009) comparou sensorialmente amostras de café instantâneo liofilizado e café instantâneo atomizado; adicionados ou não de diferentes óleos aromáticos. O autor observou que o café liofilizado apresentou melhor aceitação

sensorial do que o café atomizado quando comparados sem a adição de óleos aromáticos e não observou diferença significativa na aceitação quando, nas amostras, foram adicionados os compostos aromáticos.

### **Secagem por *Spray Freezing***

O *spray freezing* é a combinação das técnicas de atomização e liofilização. O uso dessa técnica aplicada aos alimentos foi proposta por MERYMAN, em 1959. O método oferece vantagens sobre a liofilização, pois aumenta as taxas de transferência de calor e massa. Além disso, as pequenas gotas oferecem uma distribuição mais homogênea de temperatura, o que facilita o congelamento promovendo o desenvolvimento uniforme da nucleação e da microestrutura.

Ao contrário dos atomizadores tradicionais, no método *spray freezing* a secagem é realizada através da pulverização do concentrado em um ambiente frio e de baixa umidade. Desse processo, resultam partículas ínfimas que são então liofilizadas. Por esse método, as perdas de compostos aromáticos são reduzidas (MACLEOD, 2006).

MUMENTHALER e LEUEBERGER (1991) utilizaram o método de *spray freezing* como alternativa à liofilização tradicional para alimentos líquidos. Os autores concluíram que a transferência de calor foi mais eficiente e que a retenção de compostos aromáticos foi maior.

## **4. CONCLUSÕES**

A secagem é uma das operações mais importantes na conservação de alimentos, além disso, esta técnica vem sendo constantemente estudada e aperfeiçoada para obtenção de produtos com maior qualidade e menor tempo de processamento.

O processo de secagem é uma das operações mais importantes para a melhoria da qualidade do café. Se esse processo for mal conduzido pode acarretar perdas durante a armazenagem do grão e redução da qualidade dos produtos destinados ao consumidor final.

A secagem por ar forçado do café em grão pode ser utilizada como alternativa à secagem natural, no entanto estudos comprovam que a combinação dos dois métodos apresenta a redução do consumo energético, mostrando-se eficiente para a secagem do grão. Além disso, o uso de micro-ondas vem se mostrando uma alternativa tecnológica na secagem de café se associado a outros métodos convencionais para a redução do consumo energético.

Para a produção de café instantâneo a secagem por atomização é rápida e de baixo custo, porém o método de liofilização apresenta melhor qualidade do produto final. A combinação dos dois métodos, o chamado spray freezing aumenta a taxa de transferência de calor e a qualidade do produto.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSOLINI D., G., et al, *Instant Coffee With Natural Aroma by Spray-Drying*, Montpellier: Association Scientifique Internationale du Café, v 15, p. 712-718, 1993.

CHUA K., J., e CHOU S. K., *Methods for Developing Countries*, Food Science and Technology, v. 14, n. 12, p. 519-28, 2003.

CUNHA M. L., CANTO A., MARSAIOLI A., *Secagem de Café Cereja Descascado por Ar Quente e Microondas*, Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 23, n. 3, 2003

DURAIRAJ S., CHAUDHARY A., BASAK T., *Efficient microwave heating of discrete food samples layered with ceramic composites*. Journal of Food Engineering, v.95, n. 95, p. 62-75, 2009.

FLINK J.M., *Energy Analysis in Dehydration Process*, Food Technology, v. 31, n. 3, p. 76-83, 1977.

HOLTZ E., AHENÉ L., RASMUSON A. *Influence of Dielectric and Sorption Properties on Drying Behavior and Energy Efficiencies During Microwave Convective Drying of Selected Food and non*. Journal of Food Engineering. v. 97, n. 2, p. 144-153, 2010.

HINO T., SHIMABAYASHI S., OHNISHI N., FUJISAKI M., MORI H., WATANEBE O., KAWASHIMA, K., NAGAO K., *Development of a New Type Nozzle and Spray-drier for Industrial Production of Fine Powders*, Europe Journal of Pharmaceutics and biopharmaceutics, v. 49, n. 1-3, p. 79-85, 2000.

JORDÃO B.A., OKADA M., PULZ F.S., MORI E. E., *Secagem do Café no Secador Vitória: Modificações do Protótipo e Avaliação Posterior do Café Processado*. Boletim do ITAL de Campinas, v. 17, n. 2, p. 121-123, 1980.

KAHYAOGLU L. N., SAHIN S., SUMNU G., *Physical Properties of Parboiled Wheat and Bulgur Produced Using Spouted Bed and Microwave Assisted Spouted Bed Drying*. Journal of Food Engineering, v. 98, n. 2, p. 159-169, 2010

KREIDER, J.F. e KREITH, F. *Solar Heating and Cooling: Engineering, Practical Design, and Economics*, McGraw-Hill, New York, NY, 1975, ISBN 0-07-035473-1 HB.

LACERDA A. F. e SILVA J. S., *A Combined System for Coffee Drying, Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas*, v.10, n. 3, p. 671-678, 2006.

MUMENTHALER M., LEUENBERGER H., *Atmospheric Spray-freeze Drying: A Suitable Alternative in Freeze Drying Technology*, International Journal of Pharmaceutics, v. 72, p. 97-110, 1991.

NOBRE, G. W. *Alterações Qualitativas do Café Cereja Descascado Durante o Armazenamento*. Lavras: UFLA, 124p. Dissertação Mestrado, 2005.

OLIVEIRA, R. A. DE; OLIVEIRA, W. P. DE; PARK, K. J. *Determinação da Difusividade Efetiva de Raiz de Chicória*, Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, 2006.

OLIVEIRA A., L., CABRAL F. A., EBERLIN M. N., COEDELLO H. A. B. C., *Análise Sensorial de Bebida Preparada com Café Instantâneo com Alguns Compostos Voláteis Presentes no Óleo Aromático de Café Torrado*. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 29, n. 1, 2009;

ORNELAS, L.H. *Técnica Dietética: Seleção e Preparo de Alimentos*. Atheneu São Paulo, v.7 p. 296, 2001.

PELEGRINA, A. H., ELUSTONDO M. J., URBICAN M. J., *Rotary Semi-continuous Drier for Vegetables: Effect of Air Recycling*, Journal of Food Engineering, v. 41, n. 3-4, p. 215-219, 1999.

RABL, A. *Active Solar Collectors and Their Applications*. New York : Oxford University Press, p. 1-503, 1985.

SILVA, R. P. G.; VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; BOREM, F. M. *Qualidade de Grãos de Café (Coffea arábica L.) Armazenados em Loco com Diferentes Níveis de Umidade*. Revista Brasileira de Armazenamento, v. especial, n.3, p.3-10, 2001.

SFREDO M.A., FINZER J.R.D., LIMAVERDE, J.R. *Heat and Mass Transfer in Coffee Fruits Drying*, Journal of Food Engineering, v. 70, n. 1, p. 15-25, 2005.

SHARMA C.R. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 6-7, August-September, p. 1185-1210, 2009.

SUMNU G., TURABI E., OZTOP M., *Drying of Carrots in Microwave and Halogen lamp – microwave combination ovens*. Food Science and Technology, v. 38, n. 5, p. 549-553, 2005

TAYLOR K. M. G., CHAWLA A., NEWTON J. M., JOHNSON M. C. R., , *Production of Spray-dried Salbutamol Sulphate for Use in Dry Powder Aerosol Formulation*. Journal Pharm, v. 108, p. 233, 1994.

WANG J., XI Y. S., *Drying Characteristics and Drying Quality of carrot Using a Two – Stage Microwave process*. Journal of Food Engineering. V. 68, n. 4 p. 505-511, 2005.

WHITFIELD D.E., *Solar Dryer Systems and the Internet: Important Resources to Improve Food Preparation*, Proceedings of International Conference on Solar Cooking, Kimberly, South Africa, 2000.