

Universidade de São Paulo  
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos  
Curso: Engenharia de Alimentos




**PROCESSAMENTO E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (ZEA 0567)**

**AULA 7:  
CONSERVAÇÃO ATRAVÉS DO CONTROLE DA UMIDADE**

Profa. Fernanda M. Vanin

1

**RECAPITULANDO ...**

Quais são as alternativas utilizadas para aumentar a vida útil dos alimentos?




**Destruição microbiana**

- ↑ temperatura: branqueamento, pasteurização, esterilização
- radiação: radiações ionizantes
- ↓ a<sub>w</sub>: concentração, desidratação, liofilização
- ↓ O<sub>2</sub> ↑ CO<sub>2</sub>

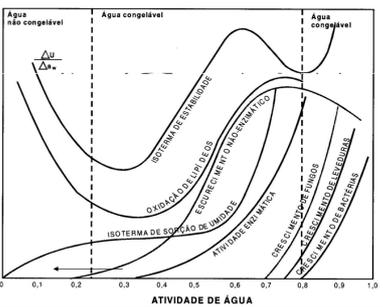
**Impede/controla crescimento microbiano**

- ↓ temperatura: refrigeração, congelamento
- fermentação
- + conservante/antioxidante/antimicrobiano

2

**RECAPITULANDO ...**

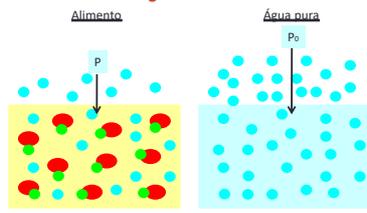
Diagrama de estabilidade dos alimentos



$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{URE}{100}$$

3

**Desidratação**



$P < P_0$  (na mesma T), pois o alimento possui ↓ [água disponível], diminuindo sua P de vapor.

• Água livre  
• Água ligada  
• Outros constituintes do alimento

Funciona como solvente, permitindo o crescimento dos microrganismos e reações químicas. É eliminada com relativa facilidade.

Mais difícil de ser eliminada, não é utilizada como solvente e não permite o desenvolvimento de microrganismos, além de retardar as reações químicas.

4

**Desidratação**

Conteúdo de água aproximado em alimentos "in natura"

ALIMENTOS	% H <sub>2</sub> O
Frutas: Laranja	90
Melancia	95
Banana	75
Morango	90
Abacate	70
Vegetais: Brócolis	85
Cenoura	85
Repolho	90
Batata	80
Carne	50 - 75
Peixe	70 - 80
Leite	85 - 90
Ovo	70 - 75

5

**Desidratação**

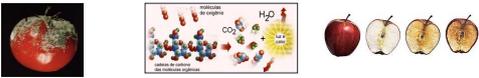
**Ação**

Objetivo principal

**Secagem ou Desidratação**

↓ X<sub>BU</sub> / a<sub>w</sub>

↓ microrganismos    ↓ respiração de vegetais    ↓ reações químicas e enzimáticas



6

## Desidratação



### Vantagens

- ↓ volume e peso
- ↑ vida de prateleira
- custo do processo relativamente ↓\$
- permite armazenamento > ↑ t
- permite consumo em períodos fora de safra
- conservação sem aditivos (em alguns casos)

7

## Desidratação



### Desvantagens

- ↓ valor nutricional
- alteração sabor e textura original
- T é insuficiente para destruir microrganismos e inativar enzimas, qualquer ↑ aw no armazenamento pode resultar em deterioração
- nenhum esporo patogênico no alimento é destruído (pode representar perigo se o alimento for consumido sem ser cozido)

8

## Desidratação



### Aplicações

- chá
- nozes
- massa
- farinhas
- leite em pó
- leguminosas
- café instantâneo
- alimentos infantis
- cereais matinais
- sopas instantâneas
- condimentos e temperos
- enzimas
- maltodextrina
- purê de carne seca
- isolado proteico de soja
- frutas e hortaliças em pó
- aromas e corantes encapsulados
- lactose, sacarose ou frutose em pó

9

## Desidratação

### conteúdo de Umidade (ou água)

- É uma das determinações mais utilizadas em



- Umidade em base úmida ( $U_{bu}$ )

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

"Teor de umidade é a relação percentual entre a quantidade de água e a quantidade total de produto"

$U_{bu}$  = teor de umidade, em base úmida, %;  
 $m_{H_2O}$  = massa de água contida no produto, kg;  
 $m_t$  = massa total do produto



$$m_t = m_{ms} + m_{H_2O}$$

10

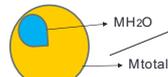
## Desidratação



### Aspectos Teóricos

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

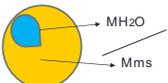
$U_{bu}$  = teor de umidade, em base úmida, %;  
 $m_{H_2O}$  = massa de água contida no produto, kg;  
 $m_t$  = massa total do produto



"umidade ( $U_{bu}$ ) é a relação percentual entre a quantidade de água e a quantidade total de produto"

$$U_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{ms}}$$

$U_{bs}$  = teor de umidade, em base seca, decimal;  
 $m_{ms}$  = massa de matéria seca, kg.



"umidade ( $U_{bs}$ ) é a relação percentual entre a quantidade de água e a quantidade de massa seca do produto"

11

## Desidratação



- Exemplo 1 - Uma carga de maçã de 32 toneladas apresenta umidade de 85 g de água/100 g de produto. Após a secagem, as maçãs apresentam massa final de 7 toneladas.

- Calcular a massa de água inicial, de matéria seca da carga e umidade final.

- $m_{H_2O i} = 27,2 t$
- $m_{MS} = 32 - 27,2 = 4,8 t$
- $U_{bu f} = 31\%$

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

$U_{bu}$  = teor de umidade, em base úmida, %;  
 $m_{H_2O}$  = massa de água contida no produto, kg;  
 $m_t$  = massa total do produto



12

## Desidratação



- Exemplo 2 - Determine a massa de água que será removida de um lote de 32 toneladas de milho com umidade inicial de 27% e que será seco até 13% de umidade.

- $m_{H_2O\ i} = 8,64\ t$
- $m_{MS} = 23,36\ t$
- $m_{H_2O\ f} = 3,49\ t$
- $m_{H_2O\ rv.} = 8,64 - 3,49 = 5,15\ t$

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

$U_{bu}$  = teor de umidade, em base úmida, %;  
 $m_{H_2O}$  = massa de água contida no produto, kg;  
 $m_t$  = massa total do produto



13

## Secagem e desidratação



### Métodos de secagem

⇒ **AR QUENTE (CONVECÇÃO)**: o calor fornecido por contato direto com o ar quente à pressão atmosférica e o vapor formado é eliminado por meio deste mesmo ar

⇒ **CONTATO EM SUPERFÍCIE AQUECIDA (CONDUÇÃO)**: o calor é fornecido indiretamente por contato com uma parede metálica

⇒ **POR CONGELAMENTO (LIOFILIZAÇÃO)**: a água se sublima diretamente a partir do material congelado

⇒ **MICROONDAS**

14

## Secagem e desidratação

### Tipos de secadores

- Natureza do produto
- Característica do produto final
- Fator econômico
- Condições de operação

1) **SECADORES ADIABÁTICOS**: o calor é conduzido por meio de ar quente: secador de cabine ou bandejas, de túnel, rotativo, atomizador ("spray dryer"), leito fluidizado, fornos secadores.

2) **TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR SUPERFÍCIE SÓLIDA**: geralmente trabalha-se com vácuo: secador de tambor ("drum-drier") e outros secadores a vácuo.

3) **LIOFILIZAÇÃO**: é um sistema especial de secagem (com congelamento e sob vácuo).

15

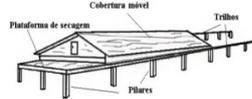
## Desidratação



### Equipamentos (ar quente) - secador solar



Vista geral de um terreiro de concreto para secagem de café.



Secador barcaça ou de plataforma.

(Silva, et al, 2008) Vista geral dos secadores solares rotativos (UFV-JPCI).

16

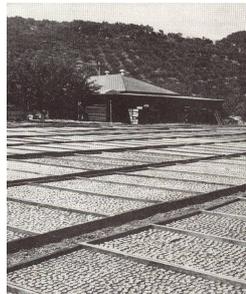
## Desidratação



### Equipamentos (ar quente) - secador solar



Secagem de damascos ao Sol



17

## Desidratação



### Equipamentos (ar quente) - secador solar



18

## Desidratação



Equipamentos (ar quente) - secador solar

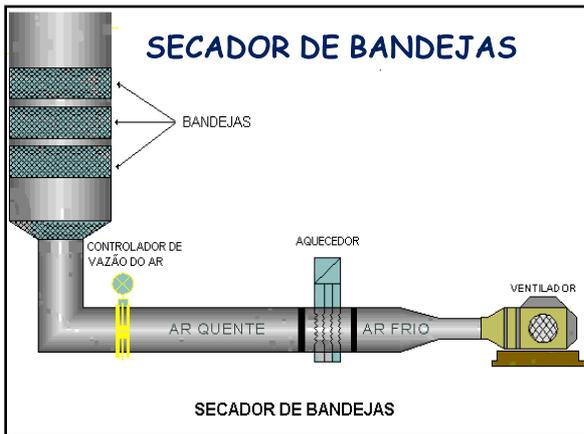


19

## Secagem Solar

- Brasil: alta incidência de luz solar no solo
- Dois tipos de processo:
  1. Exposição direta aos raios solares e condições do ar ambiente
  2. Utilização de equipamentos com coletor solar
- Economia de energia e material de construção
- Fácil manuseio
- Produto exposto ao ar ambiente por longos períodos ⇒ qualidade inferior

20



21

## Desidratação



Equipamentos (ar quente) - secador de bandejas



22

## Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de bandejas

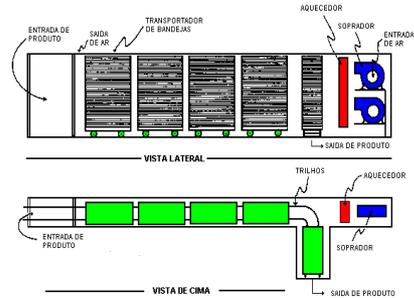
- T de secagem → 50° – 70°C;
- Velocidade do ar → 1,5 – 5,0 m/s
- Uniformização do produto final;
- Cabina secadora: fácil manutenção e flexibilidade
- Utilização: pesquisas de desidratação de frutas e hortaliças, e operações comerciais de pequena escala.
- 1 a 20ton/ dia

23

## Desidratação



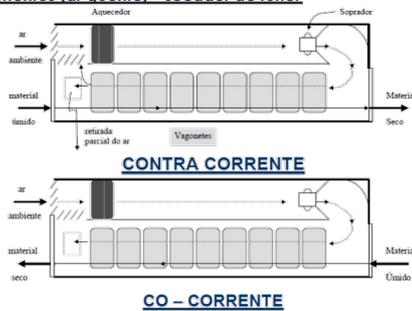
Equipamentos (ar quente) - secador de túnel



24

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador de túnel



25

## SECADOR DE TÚNEL

- Túneis (10-15m) e vagonetes com matéria-prima.
- Secagem: ar quente em fluxo concorrente ou contracorrente.
- Fluxo paralelo: ar mais quente → com produto mais úmido.
- Fluxo contracorrente: ar mais quente → com produto mais seco → em geral → maior tempo/melhor eficiência térmica.
- Fluxo combinado: 1º paralelo + 2º contracorrente

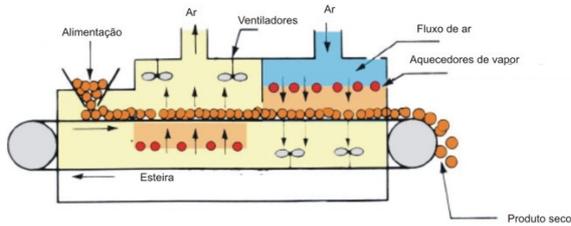
**Velocidade de secagem é afetada por (comum aos processos de secagem com ar):**

- propriedades do ar (T, %UR, velocidade de ar)
- propriedades da matéria-prima
  - (tipo e variedade, Aw, tamanho e porosidade)
- do teor de umidade que será removida **Utilização:**
  - frutos
  - hortaliças (cebola, alho, etc)
  - massas alimentícias

26

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador de esteira



27

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador de esteira

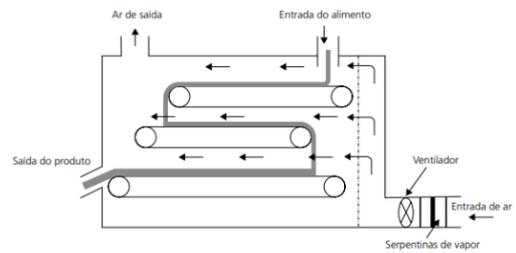


FIGURA 14.6 Secador de esteira de três estágios.

(Fellows, 2019)

28

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador de esteira

- até 20 m de comprimento e 3 m de largura;
- alimento desidratado em uma esteira perfurada com  $\delta = 5-15$  cm
- fluxo do ar de secagem transversal (+ comum), inicialmente para cima através do leito do alimento e para baixo nos estágios finais
- 2 ou 3 estágios usam leitos + profundos (15-25 cm e 250-900 cm), ↑ uniformidade secagem e economiza espaço no chão

Vantagens: bom controle sobre as condições de secagem e ↑ taxas de produção (até 5,5 t/h)

Aplicação: secagem de frutas e hortaliças em grande escala

29

## Desidratação

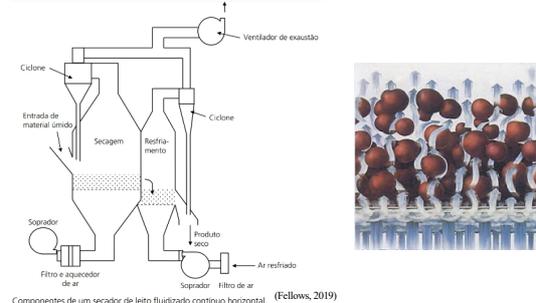
### Equipamentos (ar quente) - secador de esteira

- Transporte contínuo de material → esteira aço inoxidável.
- Fluxo do ar de secagem: concorrente, contracorrente, ou transversal (+ comum)
- Usado principalmente para produtos sólidos, mas pode também ser utilizado para líquidos.

30

## Desidratação

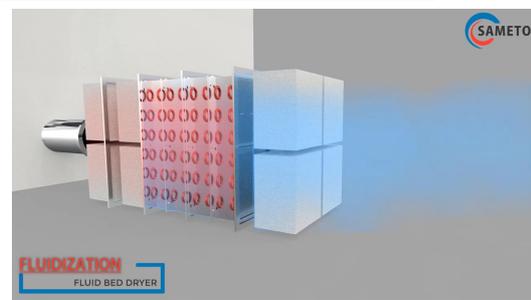
### Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado



31

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado



32

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado



33

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado

- sistema de secagem com esteira ou bandeja perfurada que contém um leito de alimentos particulados (5 até 15 cm);
- ar quente é soprado através do leito em  $\uparrow$  velocidade levando o alimento a ficar vigorosamente agitado em suspensão (fluidizado), expondo a máxima A sup. do alimento para a secagem;
- ar proveniente do leito fluidizado é filtrado em ciclones para separar partículas finas arrastadas pelo ar

Aplicações: limitada para alimentos pequenos e particulados que são fluidizados sem excesso de danos mecânicos (grãos, ervilha, feijão, café, trigo, aveia, batata em grânulos, cenoura, cebola, carne em cubos, farinhas em geral)

34

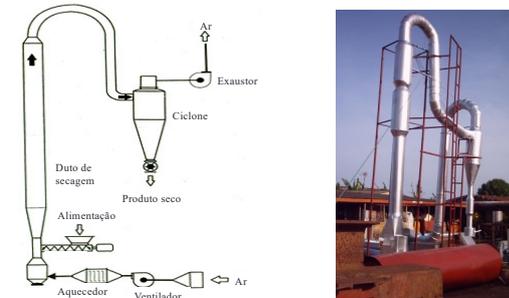
## Desidratação

- Sistema de secagem com esteira ou bandeja perfurada.
- Aplicação limitada → o alimento deve ser suspenso em ar quente.
- Principal característica: alta velocidade do ar.
- Aplicações: batata em grânulos, ervilha, cenoura, cebola, carne em cubos, farinhas em geral.

35

## Desidratação

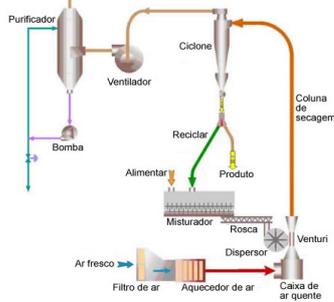
### Equipamentos (ar quente) - secador pneumático



36

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador pneumático



37

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador pneumático

• "Flash dryers"

- princípio similar ao leito fluidizado: convecção forçada
- alimentos introduzidos em tubulações e suspensos em ar quente de alta velocidade; o ar que transporta também seca
- partículas leves e menores (secam + rápido) são carregadas até um filtro ou ciclone + rápido que partículas pesadas e úmidas
- comprimento dos dutos ajustado para que o tempo de permanência do produto seja o adequado para a sua secagem (colunas em série ou recirculação)

Aplicação: coco ralado, grãos em geral, leite ou ovos em pó, grânulos de batatas, pastas, géis, polpas ou materiais gordurosos; finalizar a secagem de produtos parcialmente desidratados



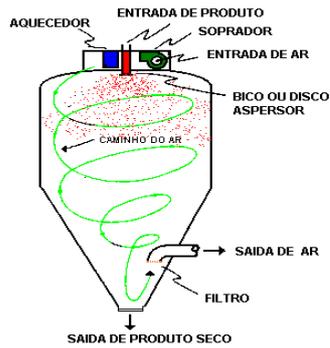
38

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



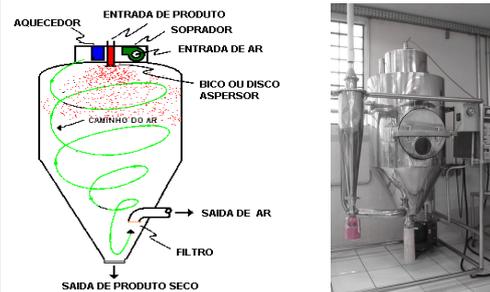
Bico atomizador



39

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



40

## Desidratação

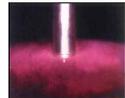
### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



Pulverização: bicos ou discos atomizadores



- Bico atomizador
- forçado a ↑ P
- 700 a 2.000 kPa
- 180-250 µm



- Disco atomizador
- sistema centrifugo
- 90-200 m/s
- 50-60 µm

41

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

1º o produto é concentrado em um evaporador

↓  
 Produto é atomizado dentro câmara secagem, forçando-o através de um bico p/ subdivisão do líquido em gotículas

↓  
 Contato do líquido e Secagem com ar quente forçado através da câmara

↓  
 Separação produto e ar (remoção pó da câmara)

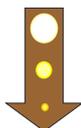
↓  
 Resfriamento e embalagem do produto

42

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

- o ar fornece calor para evaporação da água e a carrega
- descida ao longo da câmara secagem



gota líquida de **X ml** com **Y g** de sólidos  
(40-70% de água)

gota (sólido úmido) < volume com **Y g** sólidos

partícula de pó com **Y g** sólidos  
(2-3% de água)

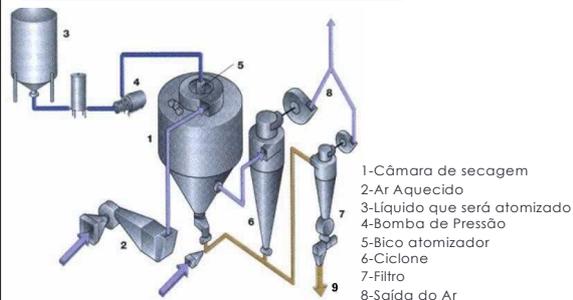
- operações adicionais podem ser utilizadas para permitir um produto que irá dissolver rapidamente



43

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



44

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

- atomização, pulverização ou "spray-drying";
- líquido atomizado recebe fluxo de ar quente em paralelo (materiais sensíveis ao calor) ou contracorrente (confere ↓ umidade final)
- μ material e presença de partículas determinam atomizador (bico e disco acoplados na mesma câmara de secagem)
- rápida evaporação da água permite manter ↓ T das partículas; assim a ↑ Tar (150-300 °C) não afeta o produto (40-50 °C)
- líquido ou pasta transforma-se em produto seco em ↓ t (1-30 s), pela ↑↑ A sup. das gotículas

Aplicações: leite, ovos, café, cacau, chá, mistura para sorvete, manteiga, creme e iogurte em pó, substitutos de leite, sucos de fruta, extratos de carne e levedura etc.



45

## Desidratação

### Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

Vantagens ☺

- rápida secagem
- ↓ custos de mão de obra
- ↑ qualidade dos produtos
- produção contínua em grande escala
- controle, operação e manutenção relativamente simples

Desvantagens ☹

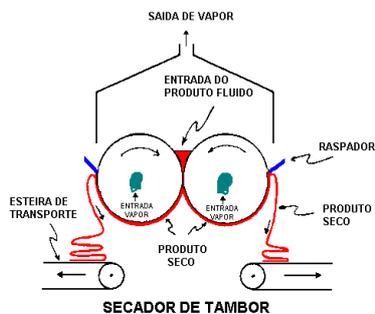
- ↑ perda de voláteis
- ↑ altos custos de investimento
- necessidade de ↑ umidade na alimentação, que ↑ custos de energia para remover a umidade



46

## Desidratação

### Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor

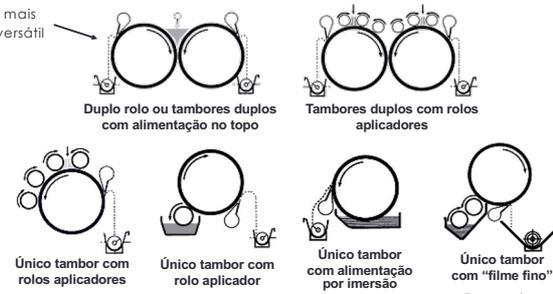


47

## Desidratação

### Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor

mais versátil



48

## Desidratação



### Aspectos Teóricos

- Secagem usando superfície aquecida:
  - calor conduzido da superfície quente através da pasta do alimento para evaporar umidade da superfície exposta
  - principal resistência à TC é a  $k$  alimento
  - resistência adicional surge se o alimento parcialmente seco se ergue da superfície quente formando uma barreira de ar entre o alimento e a superfície quente
  - necessário conhecimento das propriedades reológicas do alimento para determinar  $\delta$  ideal da camada e o modo de aplicação à superfície aquecida

49

## Desidratação



### Equipamentos (superfície aquecida)

- 3 vantagens principais com relação aos secadores com ar quente:
- não é necessário aquecer  $\uparrow$  quantidade de ar antes da secagem ( $\uparrow$  eficiência energética)
  - produzem  $\downarrow$  quantidade de ar de exaustão com poucas partículas entranhadas ( $\downarrow$  custo de limpeza do ar antes da liberação para o ambiente)
  - secagem pode ser feita na ausência de  $O_2$ , sob vácuo ou em atmosfera de  $N_2$  (protege componentes dos alimentos que são facilmente oxidados)

50

## Desidratação



### Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor

- processo chamado secagem em tambor ("drum drying"), em rolos ("roller drying") ou em filmes ("film drying")
- 1 ou 2 tambores com  $D = 0,5-1,5$  m,  $L = 2-5$  m, aquecidos internamente com vapor ( $120-170$  °C), a P atm. ou sob vácuo
- produto aplicado ao tambor quente em uma fina camada, que seca com uma volta (20 s a 30 min), por mergulho, borrafo, espalhamento ou rolos de alimentação auxiliares
- camada fina necessária para conduzir calor sem causar danos
- película seca removida por uma espátula e moída para dar ao produto final a forma de um pó fino

Aplicações: cereais matinais, polpas de frutas, produtos lácteos, levedura desidratada, alimentos para bebês, purê de batata desidratado etc.

51

## Desidratação



### Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor

- Vantagens ☺
- requer  $\downarrow$  espaço
  - $\uparrow$  taxa de secagem
  - + econômico que o secador "Spray" (para pequenos volumes)
- Desvantagens ☹
- TC limita a taxa de produção
  - produto seco pode ter um sabor queimado
  - solubilidade é  $<$  devido à desnaturação protéica.
  - $\uparrow$  custo investimento com tambores forjados com precisão

52

## Desidratação



### Aspectos Teóricos

- Liofilização/ Criosecagem:

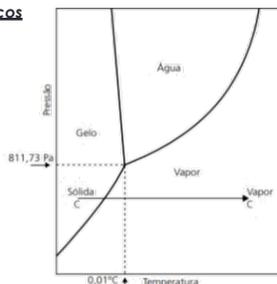


FIGURA 23.2 Diagrama de fase para água mostrando a sublimação do gelo. (Fellows, 2019)

53

## Desidratação



### Equipamentos (liofilização)

- processo a  $\downarrow$  T, sob vácuo evita modificações indesejáveis que podem ocorrer nos demais processos de secagem:
- desnaturação de proteínas
- perda de compostos voláteis
- contração dos produtos sólidos
- formação de crosta na superfície
- migração de sólidos solúveis para a superfície
- dificuldade de reidratação devido aos fatores acima

54

## Desidratação



### Equipamentos (liofilização)

Aplicações:

- cogumelos
- café solúvel
- sucos de frutas
- ervas e especiarias
- morangos e framboesas
- carnes, frutos do mar ou hortaliças
- refeições para campistas, militares ou voos espaciais
- alimentos de ↑ valor agregado com texturas ou aromas delicados
- iogurte e creme de leite fresco liofilizados para utilizar em cereais matinais, confeitos e como cobertura para sobremesas

55

## Desidratação



### Equipamentos (líoilização)

Vantagens ☺

- preservação de nutrientes
- preservação de aroma e sabor
- ↓ alteração na estrutura do produto
- melhor e + rápida reidratação (reidratação completa)

Desvantagens ☹

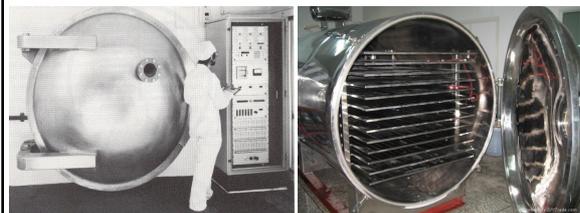
- ↑ custo do equipamento e operação (lenta, ↓ T e vácuo)

56

## Desidratação



### Equipamentos (líoilização)



57

## Desidratação



### Equipamentos (líoilização)

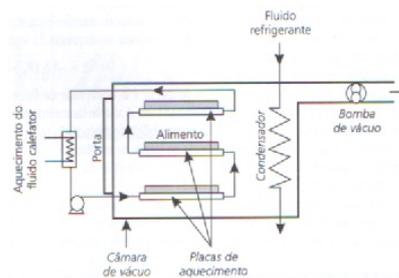


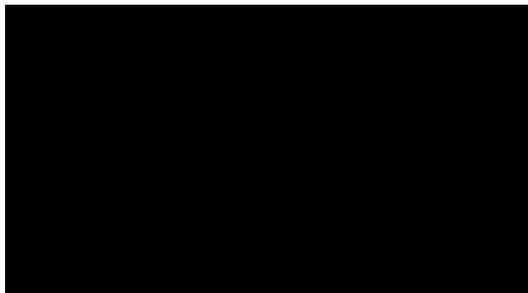
Figura 11.35 Principais componentes do liofilizador. (Október, 2005)

58

## Desidratação



### Equipamentos (líoilização)



59

## Desidratação



### Custo de Secagem

Secador	Consumo (Kw / Kg água removida)
Secagem em tambor	1,25
Pneumática	1,8
Spray-dryer	2,5
Leito fluidizado	3,5

60

## Desidratação



### Efeito sobre Alimentos

- ↓ qualidade quando comparado ao alimento fresco; objetivo é ↓ mudanças e ↑ eficiência do processo
- Textura:
  - ↑  $\mu$  alimento (fases de estados emborrachados e endurecidos até um estado sólido vítreo, irreversível, amorfo é obtido)
  - alimento pode se tornar pegajoso, implicando no design dos secadores e das condições de operação, embalagem e armazenamento
  - $\Delta$  umidade durante secagem propicia estresses internos que rompem e distorcem permanentemente células do alimento (aparência enrugada e murcha)