

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

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO *DESIGN* HIGIÊNICO DE EQUIPAMENTOS E  
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA EM UM  
SECADOR DE BANDEJA DE BANCADA**

Rosana Stroschoen Steffens

Porto Alegre

2011/2

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

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO *DESIGN* HIGIÊNICO DE EQUIPAMENTOS E  
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA EM UM  
SECADOR DE BANDEJA DE BANCADA**

Rosana Stroschoen Steffens

Monografia apresentada ao curso  
de Engenharia de Alimentos como  
requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheira de Alimentos

Orientadora: Profa. Dra. Rosane Rech

Porto Alegre

2011/2

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO *DESIGN* HIGIÊNICO DE EQUIPAMENTOS E  
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA EM UM  
SECADOR DE BANDEJA DE BANCADA**

Rosana Stroschoen Steffens

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

Rosane Rech (Orientadora)  
Doutora em Biologia Celular e Molecular  
ICTA/UFRGS

Alessandro de Oliveira Rios  
Pós-Doutor em Química de Alimentos  
ICTA/UFRGS

Rafael Costa Rodrigues  
Doutor em Engenharia Química  
ICTA/UFRGS

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente a essa força a que chamamos Deus, que, mesmo sendo o maior mistério do Universo, é a única explicação lógica para a existência de todas as coisas que fazem ele ser o que é. A minha mãe (Lori), pelo apoio de sempre, em todos os sentidos, mesmo estando longe e sem a qual nada disso teria sido possível. A minha família, a qual eu tive de abandonar fisicamente para poder realizar esse objetivo, mas que sempre esteve ao meu lado em pensamento e que sempre fez questão de demonstrar orgulho e admiração pelo caminho que eu escolhi trilhar. Amo demais todos.

Agradeço pelo privilégio de ter sido “moldada” por alguns professores tão incríveis. Estes poucos e bons serviram de inspiração nos momentos mais difíceis, não me deixaram desacreditar que o ensino de qualidade é a base para um futuro muito melhor. Eles foram, são e sempre serão um perfeito exemplo do que é ser um mestre de verdade.

Gostaria de agradecer também à professora Rosane, que me desafiou a fazer este trabalho, que sempre serviu de inspiração e de exemplo e me fez ter orgulho de pertencer à engenharia.

Devo um agradecimento especial às cadeiras nas quais reprovei, pois foram as falhas mais positivas da minha vida acadêmica, já que permitiram que eu pudesse (re)ver algumas coisas sob diferentes perspectivas e trouxeram consigo pessoas muito especiais.

Não poderia deixar de agradecer aos meus adorados colegas de trabalho, Cris (*dear boss*), Fabi, Carine, Eslândia, Jucinéia, Débora, Flavi, Isabel, Pâmela, Mara, Diogo e Lili, que, mesmo nos dias mais difíceis, sempre tiveram muita paciência e um sorriso no rosto para oferecer, além das eventuais gargalhadas e conversas descontraídas. Com certeza a “coisa toda” ficou muito mais leve por causa do convívio e do incentivo de todos eles. À Fabi, devo um agradecimento à parte, pois além de colega, tornou-se uma grande amiga. Sem sombra de dúvidas, foi a pessoa que mais levou “pancada” devido aos meus surtos e oscilações de humor, sempre reagindo com muito carinho.

A meus Amigos, a gratidão não cabe nesta folha. A única palavra realmente capaz de sintetizar todo esse sentimento é obrigada. Deborah (*little sis*), Luana, Raquel, Karine, Carol, Lívia, João, Priscilla e Marina.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

## RESUMO

A secagem é a operação unitária mais antiga de que se tem conhecimento. Desde os primórdios, seu objetivo principal foi prolongar a vida útil dos alimentos. As técnicas de secagem que foram criadas estão em constante aperfeiçoamento por se tratar de um processo que pode alterar de forma significativa as características organolépticas e nutricionais dos produtos. Os conhecimentos que se fazem necessários para a minimização destas modificações (especialmente as nutricionais) estão sintetizados no Engenheiro de Alimentos. Levando em consideração estes aspectos, o objetivo deste trabalho foi propor algumas melhorias para um secador de bandeja utilizado em laboratório. Aumentar a vida útil dos produtos desidratados não depende apenas de o processo ser eficiente e bem modelado, ele também tem de ser conduzido de forma segura, isto é, as condições higiênico-sanitárias devem ser levadas sempre em consideração. Por essa razão, propôs-se a substituição da atual bandeja de secagem, que possui uma tela, por duas grades feitas de aço inoxidável (AISI 316L), de higienização mais fácil e a confecção de uma tela, como a que existe na bandeja atualmente, para proteção dos produtos da queda de sujidades. A outra proposta diz respeito à instalação de um controlador de temperatura, que permitirá um controle mais fiel e mais preciso da temperatura do ar de secagem, além de propiciar maior segurança a quem estiver operando o equipamento e reduzir os gastos energéticos. Foram avaliados dois modelos de controladores, um, relativamente simples, e outro, mais sofisticado, pensando-se em um acompanhamento remoto das secagens que duram muitas horas. Ambas as propostas terão de ser avaliadas em relação à viabilidade técnica e econômica.

**Palavras-Chaves:** Secagem de alimentos, *design* higiênico de equipamentos, controle de processos.

## ABSTRACT

Drying is the oldest unit operation that is known. Since the beginning, its main purpose was to increase the life of foods. The drying techniques that were created are constantly improving because it is a process that can significantly change the organoleptic and nutritional characteristics of dried products. The knowledge that is necessary to minimize these changes (particularly nutritional) is summarized in Food Engineer. Considering these aspects, the objective of this study was to propose some improvements to a tray dryer used in the laboratory. Extend the life of dehydrated products depends not only on the process to be efficient and well-shaped, it must also be conducted safely, that is, the sanitary conditions should always be taken into account. For this reason, it was proposed to replace the current tray drying, which has a screen, by two bars made of stainless steel (AISI 316L), easier to hygienize, and the making of a screen, as exists currently in the tray, for products protection from falling dirt. The other proposal concerns the installation of a temperature controller, a control that will allow more accurate and more precise temperature of the drying air, as well as providing greater security to those who are operating the equipment and reduce energy costs. We evaluated two models of controllers, a relatively simple, and another, more sophisticated; thinking in a remote monitoring of drying that lasts many hours. Both proposals will be evaluated for technical and economic feasibility.

**Key Words:** Drying of food, hygienic design of equipment, process control.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SECADOR ROTATIVO .....	16
FIGURA 2 – PARTE INTERNA DE UM SECADOR ROTATIVO .....	17
FIGURA 3 – ESQUEMATIZAÇÃO DE DOIS MODELOS DE SECADORES DE LEITO FLUIDIZADO .....	18
FIGURA 4 – SECADOR DE LEITO FLUIDIZADO .....	19
FIGURA 5 – SECADOR DE TAMBOR OU DE ROLOS .....	20
FIGURA 6 – DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM SECADOR DO TIPO SPRAY-DRYER .....	21
FIGURA 7 – SPRAY-DRYER.....	22
FIGURA 8 – LIOFILIZADOR DE BANCADA.....	23
FIGURA 9 – SECADOR DE BANDEJAS .....	24
FIGURA 10 – SECADOR DE TÚNEL .....	25
FIGURA 11 – ILUSTRAÇÃO DOS FENÔMENOS QUE OCORREM DURANTE A SECAGEM .....	26
FIGURA 12 – BASE COM RESISTORES ELÉTRICOS.....	38
FIGURA 13 – SUPORTE PARA O VENTILADOR .....	38
FIGURA 14 – BANDEJA DE SECAGEM.....	39
FIGURA 15 – CONTROLADOR E INDICADOR DE TEMPERATURA MT-511RI DA MARCA FULL GAUGE .....	41
FIGURA 16 – CONTROLADOR DE TEMPERATURA AUTOPIID <i>PLUS</i> DA MARCA FULL GAUGE .....	42
FIGURA 17 – INTERFACE CONV32 PARA INTERLIGAR CONTROLADORES AO COMPUTADOR (FULL GAUGE CONTROLS).....	42
FIGURA 189 – GRADE DE AÇO INOXIDÁVEL .....	44

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO .....</b>	<b>12</b>
2.1 <i>SECAGEM</i> .....	12
2.1.1 <i>Secagem de alimentos: a operação unitária mais antiga</i> .....	12
2.1.2 <i>Objetivos da desidratação de alimentos</i> .....	13
2.1.3 <i>Métodos de desidratação mais empregados na indústria de alimentos</i> .....	14
2.1.4 <i>Os principais tipos de secadores: uma breve descrição</i> .....	15
2.1.4.1 <i>Secador Rotativo</i> .....	16
2.1.4.2 <i>Secador de leito fluidizado</i> .....	18
2.1.4.3 <i>Secador de tambor ou de rolos (Drum dryer ou roller dryer)</i> .....	19
2.1.4.4 <i>Atomizador (Spray dryer)</i> .....	20
2.1.4.5 <i>Liofilizador</i> .....	22
2.1.4.6 <i>Secador de bandejas</i> .....	23
2.1.4.7 <i>Secador de túnel</i> .....	24
2.1.5 <i>Um processo, três etapas</i> .....	25
2.1.5.1 <i>Fenômenos envolvidos na desidratação</i> .....	26
2.1.5.2 <i>Alterações provocadas no produto devido à desidratação</i> .....	28
2.1.5.3 <i>Alterações provocadas em frutas e produtos de origem vegetal devido à desidratação</i> .....	29
2.2 <i>DESIGN HIGIÊNICO DE EQUIPAMENTOS</i> .....	31
2.2.1 <i>Por que utilizar o design higiênico?</i> .....	32
2.2.2 <i>Materiais de construção: exigência do design higiênico</i> .....	33
2.3 <i>SISTEMAS DE CONTROLE EM INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS</i> .....	34
2.3.1 <i>Tipos de Processos a Serem Controlados</i> .....	36
2.3.1.1 <i>Processos Discretos</i> .....	36
2.3.1.2 <i>Processos Contínuos</i> .....	36
<b>3. MATERIAIS &amp; MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
3.1 <i>PROJETO INICIAL DO SECADOR DE BANDEJA</i> .....	37
3.2 <i>SITUAÇÃO ATUAL DO SECADOR DE BANDEJA</i> .....	39
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
4.1 <i>PROPOSTAS DE MELHORIA PARA O EQUIPAMENTO</i> .....	40
4.1.1 <i>Controladores de temperatura passíveis de serem instalados no secador</i> .....	40
4.1.2 <i>Aplicação do design higiênico</i> .....	43
4.1.3 <i>Tela de proteção</i> .....	46
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Sendo a secagem, de um modo geral, a operação unitária mais antiga descoberta pelo homem, desde os seus primórdios ela tem passado por diversas transformações e está em constante aperfeiçoamento. Tal processo é empregado em diversas áreas, tais como: metalúrgica, cerâmica, farmacêutica, alimentícia, etc. É um dos processos mais complexos para se modelar e entender matematicamente, pois envolve vários fenômenos, essencialmente transferência de calor e de massa. Por essa razão, o Engenheiro de Alimentos tornou-se o profissional mais indicado para estudá-la e aperfeiçoá-la constantemente, pois sua carreira acadêmica fornece todas as ferramentas e conhecimentos básicos necessários para compreender tudo que está envolvido na desidratação de alimentos, além do conhecimento sobre os alimentos em si.

Levando-se em consideração que, por se tratar de um processo de transformação, a secagem necessariamente causa mudanças nos produtos, é indiscutível a necessidade de avaliar a melhor forma de aplicação, o equipamento mais adequado, o produto obtido ao final desse processo, os custos, etc. Por tais motivos é importante conhecer o produto (o alimento) e as consequências do processo. Na maioria das vezes, a secagem é única para cada tipo de produto, corroborando com a necessidade de constantes estudos e melhorias.

Tendo em mente essas mudanças devido ao processamento, basicamente de ordem organoléptica e, especialmente, de ordem nutricional, o Engenheiro de Alimentos é o responsável por maximizar as mudanças desejáveis e minimizar as indesejáveis. Além disso, ele responde pela segurança dos alimentos produzidos. Todos esses fatores ainda devem refletir de forma viável nos custos da operação. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi propor melhorias em um secador de bandeja em nível de bancada, aplicando o conceito de *design* higiênico de equipamentos e sugerindo a instalação de instrumentos de controle para o mesmo.

Aplicar o conceito de *design* higiênico ao equipamento tem por objetivo produzir alimentos mais seguros para o consumo, já que seu foco principal é evitar a contaminação dos produtos durante seu processamento e/ou envase.

A instalação de um sistema de controle visa regular uma ou mais variáveis de um processo, neste caso, a temperatura, mantendo-a em um valor desejado (*set-point*), de acordo com o produto que se quer obter. Controlar uma variável de processo representa obter

resultados mais confiáveis e produtos dentro da especificação, colaborando para a redução de custos de energia, de manutenção, de *recall* de produtos, etc.

A etapa seguinte foi a avaliação da viabilidade técnico-econômica destas propostas.

## 2. REVISÃO

### 2.1 Secagem

#### 2.1.1 Secagem de alimentos: a operação unitária mais antiga

A necessidade de racionalizar alimentos fez com que o homem desenvolvesse, há milhares de anos atrás, métodos de conservação. Naturalmente, esses métodos eram artesanais e, um dos primeiros a surgir, foi o método de secagem. O mais antigo de que se tem notícia é o da secagem pelo sol, que foi utilizado no antigo Egito para a secagem de uvas (PARK *et al*, 2006).

A primeira máquina para desidratar frutas e vegetais por meios artificiais foi construída na França, em 1795, entretanto a desidratação só passou a ser aplicada de forma significativa na Primeira Guerra Mundial, em razão da necessidade de alimentos em larga escala destinados a suprir as tropas em combate. Idêntica expansão ocorreu de 1939 a 1944, sendo desenvolvidas nos Estados Unidos, durante a Segunda Guerra Mundial, técnicas para desidratação de mais de 160 tipos de vegetais. Nos últimos cinquenta anos, tanto a ciência quanto à tecnologia se empenharam no sentido de aprimorar novos sistemas na área de preservação de alimentos e esses esforços tornaram viável a desidratação de enorme variedade de produtos para fins comerciais (RODRIGUES, 2004).

Por essa razão, a secagem de materiais sólidos é uma das mais antigas operações unitárias, comumente encontrada em processos utilizados pela agricultura, indústria cerâmica, indústria química, indústria de alimentos, farmacêutica, de mineração, polímeros, etc. Além disso, é uma das mais complexas operações devido às dificuldades e deficiências em descrever matematicamente os fenômenos que ocorrem simultaneamente (MUJUMDAR, 1995).

Conservar alimentos, atualmente, se resume, essencialmente, em transforma-los pelo uso de métodos físicos e químicos, tais como: utilização de altas e baixas temperaturas, aplicação de substâncias químicas, uso de radiação, eliminação de água, entre outros. Todos esses processos têm como objetivo prolongar a *shelf life* dos alimentos (PARK *et al*, 2006).

Os métodos de conservação não surgiram apenas pela necessidade de se ter alimentos disponíveis por mais tempo, mantendo a qualidade com uma vida de prateleira maior, mas, também, devido ao estilo de vida das pessoas. Hoje, o consumidor passa muito mais tempo fora de casa e dedica-se um menor tempo às refeições. Esse comportamento, aliado ao fato de que as mulheres anteriormente eram apenas “donas do lar” e tornaram-se provedoras do sustento da família, fez com que as indústrias dedicassem suas forças na produção de alimentos prontos e semi-prontos. Inicialmente, percebeu-se que as pessoas estavam mais preocupadas em alimentar-se do que com a qualidade nutricional dos alimentos (PARK *et al.*, 2006).

Com o retorno das discussões sobre qualidade de vida, essa atitude mudou. As pessoas passaram a preocupar-se mais com a qualidade da sua alimentação, isto é, com a “saudabilidade” dos alimentos. O ressurgimento dessa preocupação fez com que a secagem de alimentos retomasse seu lugar como importante método de transformação e conservação, já que alimentos instantâneos (prontos e semi-prontos), muitas vezes, tem produtos secos como matéria-prima (PARK *et al.*, 2006).

Para manter a máxima qualidade dos produtos transformados, é preciso atentar para o fato de que a deterioração é inerente aos processos de transformação, sendo necessária a sua quantificação. Tendo em mente quanto um produto pode perder em qualidade, faz-se, então, o dimensionamento e o controle dos processos e equipamentos de forma a minimizar as perdas (PARK *et al.*, 2006).

Sendo assim, é importante delinear muito bem o processo de secagem que trará os resultados esperados ao produto final (PARK *et al.*, 2007).

### *2.1.2 Objetivos da desidratação de alimentos*

A secagem, de uma forma geral, visa reduzir o teor de umidade dentro de um produto por aplicação de energia térmica para a obtenção de produtos secos de atributos desejados (DUFOR, 2006).

Essa remoção de água garante a estabilidade microbiana e um maior vida de prateleira do produto. Ao projetar um processo de desidratação, duas questões importantes devem ser levados em conta (LEWICKI, 2006):

- Atributos de qualidade esperados no produto final;
- A forma como o produto será utilizado.

Ambas as questões estão inter-relacionadas já que, em muitos casos, a forma como o produto é utilizado define os índices de sua qualidade. A qualidade esperada de um produto seco, que será usado como “*ready-to-eat*” (pronto para o consumo), pode ser substancialmente diferente do que o previsto para o material usado como um semi-pronto, que poderá ser utilizado como matéria-prima para a fabricação de outros produtos. A análise mais aprofundada desta questão mostra que ambos, “*ready-to-eat*” e semi-prontos, podem ser usados em um estado seco ou vão precisar de reidratação antes do consumo ou processamento (LEWICKI, 2006).

Em um produto “*ready-to-eat*”, que é consumido em um estado seco, na maioria das vezes, a importância dos índices de qualidade torna-se evidente. Os atributos sensoriais, como cor, tamanho, forma, são muito importantes do ponto de vista do consumidor (LEWICKI, 2006).

Em estudo realizado com macadâmias, a combinação de dois métodos de secagem foi testada para se atingir os atributos de qualidade almejados e que fosse relativamente rápido e econômico, pois os métodos tradicionalmente usados podem levar até um mês. A qualidade da macadâmia seca foi avaliada em termos do teor de umidade, atividade de água ( $a_w$ ), cor, teor de açúcares redutores e índice de peróxidos. Os resultados mostraram que a combinação dos dois métodos de secagem propostos, bomba de calor (ou bomba térmica) seguido de secagem com ar quente, podia gerar uma economia no tempo de secagem, que levaria de 15 a 45 horas e o produto atingiria as características desejadas (BOROMPICHAICHARTKUL *et al*, 2009).

Outro aspecto importante são os menores custos de transporte e armazenamento, uma vez que ocorre redução de peso e de volume do material desidratado (FELLOWS, 2006).

### 2.1.3 Métodos de desidratação mais empregados na indústria de alimentos

Os produtos alimentícios podem ser desidratados por processos baseados na vaporização, sublimação, remoção de água por solventes ou na adição de agentes osmóticos. Os métodos de desidratação utilizados em maior escala são os que tem como base a exposição

do alimento a uma corrente de ar aquecida, sendo que a transferência de calor do ar para o alimento se dá basicamente por convecção (VEGETAIS..., 2009).

Abaixo, uma descrição breve sobre os principais métodos empregados:

- **Desidratação por uso de ar quente**

Nesses equipamentos, o alimento entra em contato com a corrente de ar quente que proporciona o calor sensível e o calor latente de evaporação. O ar arrasta o vapor d'água liberado do alimento. É um dos métodos mais utilizados (FELLOWS, 2006).

- **Desidratação por contato com superfície quente**

Essa desidratação ocorre quando o calor é conduzido através do alimento por meio de uma superfície aquecida, como por exemplo, secador de tambor (“*drum dryer*”) (VEGETAIS..., 2009; FELLOWS, 2006).

- **Desidratação por fornecimento de energia eletromagnética**

Proporciona-se calor por radiação (ondas eletromagnéticas), através das micro-ondas ou por aquecimento dielétrico. Um fato crucial que se deve ter em mente é que as micro-ondas e o aquecimento dielétrico não são formas de calor propriamente ditas, mas formas de energia que são manifestadas como calor através de suas interações com os materiais, ou seja, essas interações fazem com que o alimento se “auto aqueça” (MUJUMDAR, 1995).

#### *2.1.4 Os principais tipos de secadores: uma breve descrição*

Existem diversos tipos de desidratadores usados normalmente e uma série de outros, patenteados, mas que não apresentam muita importância prática. A escolha de um determinado tipo é ditada pela natureza do produto que vai ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação.

Os equipamentos de secagem podem ser classificados de diversas maneiras, por exemplo, de acordo com o fluxo de carga e descarga (contínuo ou intermitente), pressão utilizada (atmosférica ou vácuo), método de aquecimento (direto ou indireto), ou ainda de

acordo com o sistema utilizado para o fornecimento de calor (convecção, condução, radiação ou dielétrico) (VEGETAIS..., 2009).

A seguir, encontram-se descritos alguns dos equipamentos mais empregados.

#### ***2.1.4.1 Secador Rotativo***

Os secadores rotativos funcionam mediante um tambor rotativo do tipo eixo horizontal (Figura 1). Dentro dele estão montados vários tipos de pás; de rebatimento, de avanço e de alto rendimento, que favorecem a troca térmica entre os gases quentes e o material a ser submetido à secagem (Figura 2). Estes secadores trabalham em "contracorrente": o fluxo dos gases quentes é contrário à direção de avanço dos materiais que devem ser secos, o que aumenta o rendimento térmico do processo.

O material entra com os gases quentes no interior do secador onde, então, é rebatido continuamente, o que favorece a secagem. As pás especiais se encarregam de fazer o material avançar até a boca de descarga, enquanto que o material leve é transportado pelo fluxo dos gases (SECADORES..., 2007).



Figura 1 – Secador rotativo  
Fonte: BUHLER (a) (2010).



Figura 2 – Parte interna de um secador rotativo  
Fonte: MANFREDINI & SCHIANCHI (2011).

### 2.1.4.2 Secador de leito fluidizado

Um secador de leito fluidizado é um equipamento no qual uma alimentação contínua de material particulado úmido é seco por contato direto com ar quente, o qual é soprado através do leito deste material para mantê-lo em um estado fluidizado (suspensão no ar), aumentando a área superficial do alimento para a secagem (FELLOWS, 2006).

Abaixo, uma esquematização da operação de um secador de leito fluidizado (Figuras 3 e 4).

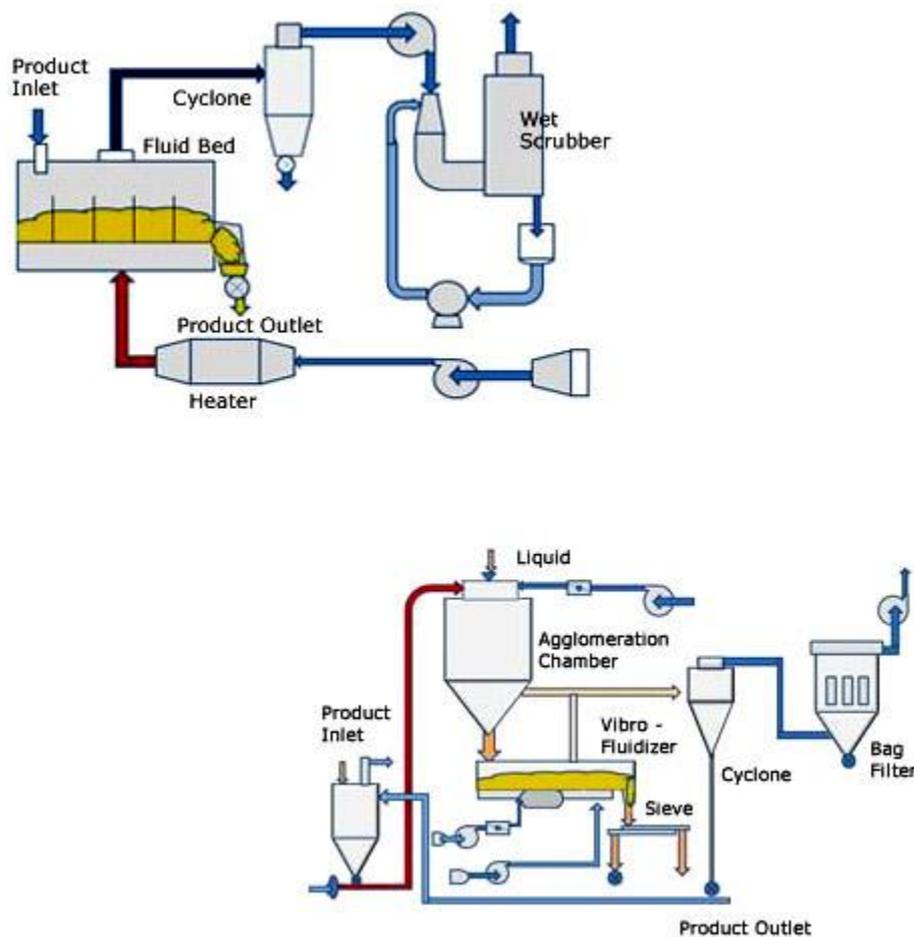


Figura 3 – Esquematização de dois modelos de secadores de leito fluidizado  
Fonte: SAKA (2011).



Figura 4 – Secador de leito fluidizado  
Fonte: KILBURN (2011).

#### ***2.1.4.3 Secador de tambor ou de rolos (Drum dryer ou roller dryer)***

O secador de rolos é composto por dois cilindros de aço de grandes dimensões que se voltam para si e são aquecidos internamente por vapor. O produto concentrado é aplicado ao tambor quente em uma fina camada que seca durante menos de uma revolução (entre 20 segundos e 3 minutos), sendo raspado do tambor por uma lâmina de aço. É muito utilizado na indústria de derivados do leite (FELLOWS, 2006).

Abaixo, o funcionamento desse tipo de secador (Figura 5).

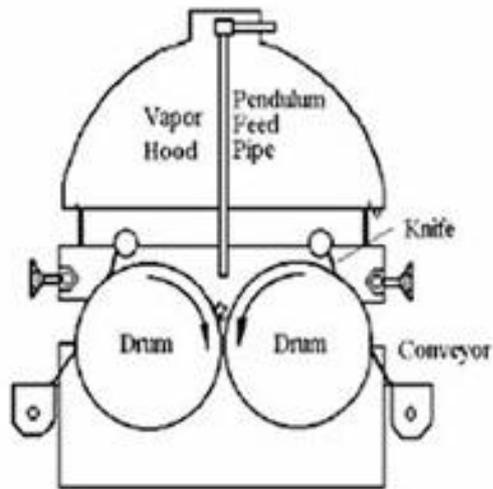


Figura 5 – Secador de tambor ou de rolos  
Fonte: MARJANI (2011).

#### 2.1.4.4 Atomizador (*Spray dryer*)

O *spray dryer* (secador por aspersão) é um equipamento que permite a alimentação somente em estado fluido, isto é, solução, suspensão ou pasta, e a converte em uma forma particulada seca (atomizada) pela aspersão do fluido em um agente de secagem aquecido (usualmente o ar). Uma característica importante neste tipo de sistema é o tempo extremamente curto, variando de 3 a 12 segundos, sendo a temperatura do produto, durante o processo de secagem, relativamente baixa (FELLOWS, 2006).

Abaixo, uma figura esquemática da operação deste secador e outra de um equipamento (Figuras 6 e 7).

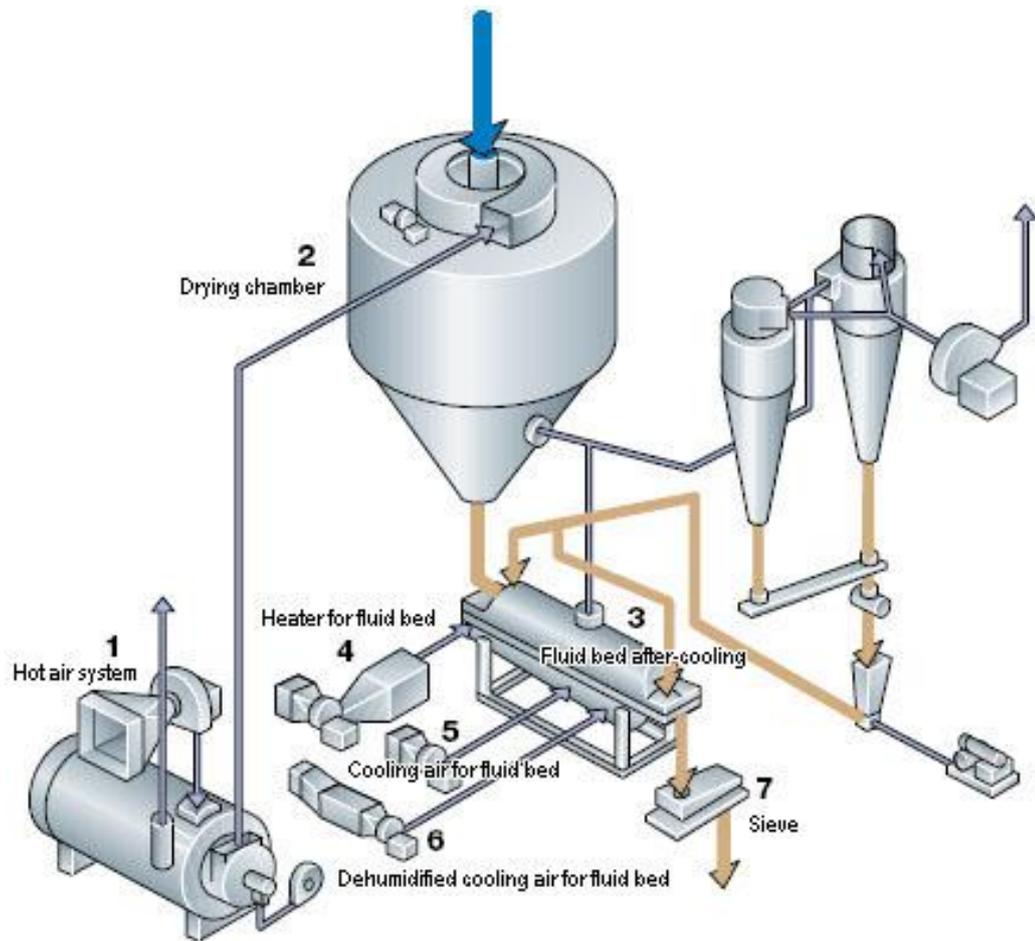


Figura 6 – Desenho esquemático de um secador do tipo Spray-dryer  
Fonte: FOOD (2010).



Figura 7 – Spray-dryer  
Fonte: MILK POWDER (2009).

#### ***2.1.4.5 Liofilizador***

Certos materiais biológicos, farmacêuticos e alimentos, que não podem ser aquecidos nem a temperaturas moderadas em processos comuns de secagem, devem ser liofilizados. A substância ou material a ser seco é usualmente congelado. Na liofilização, a água ou qualquer outro solvente é removida por sublimação na forma de vapor do produto congelado em uma câmara de vácuo (MUJUMDAR, 1995).

Como regra, a liofilização produz um alimento ou produto com mais alta qualidade do que com qualquer outro método de secagem. Uma das grandes vantagens desse método é a pouquíssima perda de sabor e aroma, além da alta capacidade de reidratação e a minimização das reações de degradação (escurecimento não enzimático, desnaturação proteica e reações enzimáticas). A grande desvantagem ainda é o seu alto custo de operação (MUJUMDAR, 1995).

A seguir, um exemplo de liofilizador de bancada (Figura 8).



Figura 8 – Liofilizador de bancada  
Fonte: TERRONI (2011).

#### ***2.1.4.6 Secador de bandejas***

O aspecto mais importante a ser considerado no desenho de um secador de bandeja (Figura 9) é a recirculação econômica de ar para manutenção uniforme da temperatura e controle de umidade. Os secadores de bandejas mais simples consistem em um sistema de grelhas, colocadas em uma cabine. As grelhas são carregadas e descarregadas manualmente. O ar pode ser aquecido eletricamente ou em trocador de calor, empregando-se, para tanto, vapor d'água. De forma alternativa, podem ser empregados equipamentos para manipulação

mecânica das bandejas. Qualquer que seja o desenho do sistema de bandejas, a eficácia da operação depende da uniformidade e da distribuição das partículas e fatias sobre as mesmas (CRUZ, 1990).

Os secadores de bandeja são mais comuns em produções em pequena escala, que variam de 1 a 20 toneladas por dia ou para trabalhos em escala-piloto ou laboratorial. Possuem custos de manutenção e de capital inicial relativamente baixos e podem operar com mais variedades de alimentos, pois são flexíveis. O controle, a nível industrial, é mais complicado e os alimentos desidratados tem qualidade variável devido ao posicionamento dos mesmos dentro da câmara (mais próximos ou mais afastados das fontes de calor) (FELLOWS, 2006).



Figura 9 – Secador de bandejas  
Fonte: BUHLER (b) (2010).

#### ***2.1.4.7 Secador de túnel***

O secador de túnel (Figura 10) possui até 20 m de comprimento e uma seção circular ou retangular de 2 m a 3 m, que permite a operação contínua ou semi-contínua (maior produção). O produto é distribuído em camadas uniformes sobre bandejas dispostas em vagonetes ou carros (5 a 15 cm), de modo a se manter um espaço adequado entre as bandejas para a circulação do ar. É utilizado para secagem a nível industrial, de grande escala (FELLOWS, 2006).



Figura 10 – Secador de túnel  
Fonte: MEGA (2011).

### *2.1.5 Um processo, três etapas*

A secagem de alimentos consiste em três etapas, ou seja, processo de pré-secagem, a secagem em si e a pós-secagem do material. Os processos de pré-secagem dependem do estado físico do material. Líquidos são concentrados a vácuo, tratados com enzimas ou espuma, enquanto os sólidos são sulfitados, embebidos em soluções de diferentes compostos, desidratados por osmose, branqueados, congelados ou tratados por alta pressão. Materiais submetidos à secagem podem ser aquecidos por aquecimento da superfície ou por aquecimento volumétrico, e o processo pode ser estático ou dinâmico. A estabilidade de armazenamento de um material seco depende do estado em que o processo de secagem é concluído. O efeito de todos estes passos sobre a qualidade do produto final deve ser levado em consideração. Deste modo, para projetar um processo de secagem com ar quente é necessária uma profunda compreensão de todas as operações que afetam a qualidade (LEWICKI, 2006).

### 2.1.5.1 Fenômenos envolvidos na desidratação

Muitos estudos foram desenvolvidos para se compreender quais fatores estavam envolvidos na qualidade de um produto após o mesmo ser desidratado. Atualmente sabe-se que, durante o processo de secagem, ocorre uma transferência simultânea de calor e de massa (PAVÓN-MELENDE *et al.*, 2002).

De uma forma resumida, os seguintes fenômenos ocorrem (Figura 11) (MAROULIS *et al.*, 1995):

- Difusão de umidade no sólido em direção a sua superfície externa;
- Vaporização e transferência convectiva do vapor no fluxo de ar (quando se trata de secagem por ar quente);
- Transferência de calor por condução dentro da massa sólida;
- Transferência de calor por convecção do ar para a superfície do sólido.

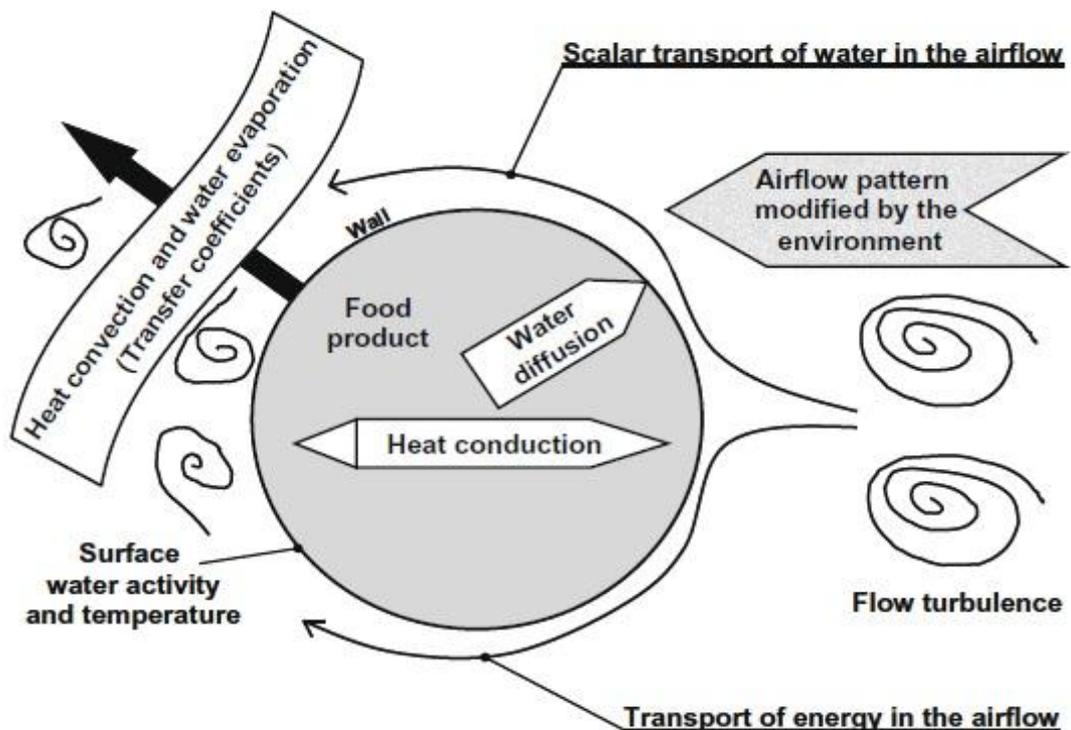


Figura 11 – Ilustração dos fenômenos que ocorrem durante a secagem  
Fonte: LE PAGE *et al.* (2009).

Durante os processos de secagem de alimentos, fluxos de calor e de umidade variam com o tempo, e seus valores instantâneos, portanto, dependem de algumas variáveis ligadas ao fluxo de ar (temperatura, umidade relativa, velocidade, intensidade de turbulência) e de variáveis e características do produto a ser seco, como temperatura da superfície, atividade de água, difusividade da água, forma do produto, a composição e a estrutura. Todos estes fatores afetam os coeficientes de transferência de calor e de massa na interface ar-produto, como mencionado muitas vezes na literatura (LE PAGE *et al.*, 2009; FELLOWS, 2006).

Por se tratar de um processo complexo, com influência de diversos aspectos, as pesquisas nessa área são constantes e necessárias. Compreendendo essa necessidade de aperfeiçoar o entendimento sobre o assunto e traduzi-lo matematicamente, Aversa *et al.* (2007) realizou um estudo no qual objetivou modelar da forma mais fiel possível os fenômenos de transporte que ocorrem durante a secagem, de maneira a atingir uma maior precisão na modelagem, utilizando o método matemático de elementos finitos.

- Transferência de calor

A maioria das operações unitárias em processamento de alimentos envolve a transferência de calor. Dentre os fenômenos que ocorrem na desidratação, temos a transferência de calor por condução e por convecção. A condução é o movimento de calor pela transferência direta de energia molecular dentro dos sólidos. A convecção é a transferência de calor por grupos de moléculas que se movem como resultado da diferença de densidade ou como resultado de uma agitação (FELLOWS, 2006).

A transferência de calor desempenha um papel essencial em tudo que fazemos. Nossos corpos são expostos a um ambiente em mudança constante e, para viver, devemos permanecer em 37,6°C. A dinâmica da atmosfera do planeta e os oceanos são movidos pelas variações sazonais no fluxo de calor do sol. Esta dinâmica, por sua vez, dita se vai chover ou nevar, se haverá furacões ou tornados, secas ou inundações, se as culturas vão crescer ou morrer. Os combustíveis são queimados para aquecer as residências, para que usinas criem o vapor para girar turbinas para produzir eletricidade. Existem experiências diárias envolvendo a transferência de calor. Entre elas estão a condução de calor em sólidos por vibrações moleculares, convecção de calor em fluidos pelo movimento de elementos líquidos quentes para regiões frias, radiação térmica em que o calor é transferido de superfície para superfície pela radiação eletromagnética, e de transferência de calor latente em que o calor é transferido de uma superfície, causando uma mudança de fase líquido-vapor em um fluido adjacente (MEYERS, 2001).

Todos esses exemplos de transferência de calor são regidos por gradientes de temperatura, isto é, o trânsito de energia ocorre devido a diferenças de temperaturas (INCROPERA E DEWITT, 1992).

- Transferência de massa

A transferência de massa nada mais é do que o movimento de uma espécie química (no caso da secagem, a água), através de outra, em que ambas constituem uma mistura. O movimento dessa espécie química através da mistura é causado pelo gradiente de concentração, isto é, ela se desloca de uma região de alta concentração (o alimento úmido) para uma região de baixa concentração (o ar seco) (INCROPERA E DEWITT, 1992).

#### ***2.1.5.2 Alterações provocadas no produto devido à desidratação***

A qualidade dos alimentos desidratados depende, em parte, das mudanças que ocorrem durante o processamento e armazenamento. Algumas destas mudanças envolvem modificações na estrutura física. Estas modificações afetam a textura, a reidratação e a aparência. Outras mudanças são também devido a reações químicas. No alimento desidratado, a atividade enzimática residual, a atividade microbiana e a reidratação são parâmetros de grande importância. Durante o processo de secagem convectivo, o alimento sofre perdas da qualidade, tais como a cor, sabor, textura e tendo, muitas vezes, uma reidratação deficiente. A contração de volume e o endurecimento (formação de casca na superfície) do produto são também considerados problemas de grande importância na desidratação de alimentos. Na atualidade, as pesquisas estão voltadas no sentido de aumentar a retenção das propriedades nutritivas sensoriais do produto desidratado mediante a alteração das condições de processo e o uso de pré-tratamentos. Poucas diferenças são observadas nos teores de carboidratos, proteínas, fibras e cinzas, quando a variação no conteúdo de umidade é levada em consideração (VEGETAIS..., 2009).

As mudanças que ocorrem durante a secagem são principalmente químicas, particularmente se as reações enzimáticas são consideradas como mudanças químicas. Quando as condições de secagem e a matéria-prima a ser utilizada são satisfatórias, nenhuma

das transformações que ocorrem durante a secagem é devido à atividade de microrganismos (VEGETAIS..., 2009).

### ***2.1.5.3 Alterações provocadas em frutas e produtos de origem vegetal devido à desidratação***

As mudanças na cor tem grande influência na determinação da procedência de secagem para cada fruta. Os pigmentos antociânicos presentes nas frutas são geralmente alterados durante e após a secagem. Esses pigmentos, caso as frutas não sejam tratadas por meio de sulfuração ou sulfitação, geralmente tornam-se castanhos devido à oxidação durante a secagem (VEGETAIS..., 2009).

O escurecimento enzimático pela ação da peroxidase e outras enzimas oxidativas ocorre na fruta durante a secagem, principalmente nas superfícies cortadas, onde ocorre com maiores velocidades devido à exposição direta (VEGETAIS..., 2009). Comercialmente, a maioria das frutas deve ser tratada antes da desidratação para manter uma boa aparência e para prevenir o escurecimento, perdas do sabor e da vitamina C. Os agentes mais comumente utilizados no pré-tratamento são ácido ascórbico e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). O pré-tratamento com esses agentes tem como principais finalidades:

- preservação da cor natural dos alimentos;
- prolongar o armazenamento;
- retardar as perdas de vitamina C;
- prevenir a deterioração microbiana.

O SO<sub>2</sub> evita as reações enzimáticas e oxidativas que ocorrem durante a desidratação devido a sua ação redutora e propriedades inibidoras de enzimas. O SO<sub>2</sub> retarda a formação de pigmentos escuros, mas não evita a sua formação nem os branqueia após terem sido formados. O tratamento pode ser realizado através da sulfuração pela queima de enxofre ou pela sulfitação em solução aquosa com bissulfito de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (VEGETAIS..., 2009).

Uma vez que o maior consumo de frutas secas ocorre no mercado de alimentos naturais, a utilização desses tratamentos descaracteriza os produtos como 100% naturais. O fabricante deve informar no rótulo a presença de agentes sulfitantes. Para contornar essa situação, recomenda-se que a produção, quando possível, seja realizada de acordo com o giro

dos produtos, de forma que os mesmos sejam consumidos rapidamente, evitando com isso os problemas causados pelo escurecimento não enzimático.

As alterações no sabor das frutas secas seguem estreitamente as mudanças na coloração, sendo, em alguns casos, desejáveis (VEGETAIS..., 2009).

Já as alterações na textura que ocorrem com a secagem das frutas não são de natureza química. O principal fator alterador da textura das frutas secas é o teor de umidade final. Com teores baixos de umidade, a textura é muito dura, enquanto que com teores mais elevados tornam-se mais apetitosas (VEGETAIS..., 2009).

Em estudo realizado por Sampaio (2006), foram analisadas as influências da temperatura do ar de secagem (50 °C e 70 °C) e a geometria do material (inteiro ou fatiado) na qualidade do cogumelo shiitake desidratado. Os cogumelos fatiados e secos a 70 °C desidrataram-se em tempo aproximado de 8,5 horas, enquanto os cogumelos inteiros e secos a 50 °C apresentaram tempo superior a 14 horas. A geometria de corte tem papel mais decisivo no processo de secagem do que a temperatura do ar, já que os cogumelos fatiados secaram mais rapidamente que os inteiros, mesmo quando a temperatura era mais baixa. A temperatura de secagem a 70 °C conferiu menor escurecimento da face superior do cogumelo, aspecto importante a se considerar para aceitação pelos consumidores.

Kotovicz (2011) realizou um estudo que teve como objetivo a otimização do processo de desidratação osmótica de yacon (*Polymnia sonchifolia*), visando a obtenção de um produto com máxima perda de água e mínima incorporação de sólidos. Foram analisados os parâmetros perda de umidade, incorporação de sólidos e atividade de água ( $A_w$ ) das fatias de yacon durante o processo de desidratação osmótica, tendo como variáveis independentes a temperatura de desidratação (30 – 50 °C), a concentração da solução de frutose (40 – 68% p/p) e a utilização de revestimento com cobertura comestível de alginato de sódio. As condições ótimas de desidratação foram: revestimento com alginato de sódio, em solução a 68 °Brix e temperatura de 30 °C por 60 minutos. Em relação à perda de água, a concentração de frutose foi o fator mais significativo e a atividade de água final do produto foi afetada pela temperatura, pela concentração da solução de frutose e pela presença da cobertura.

## 2.2 Design Higiênico de Equipamentos

Uma das preocupações das indústrias de alimentos em geral é assegurar a segurança dos seus produtos. Como ponto de partida, devem-se manter condições adequadas de trabalho, como plantas, processos e equipamentos projetados de forma higiênica nos quais as tarefas básicas de manutenção, limpeza e desinfecção, além do controle do processo, devem ser facilitadas. Por essa razão, as empresas responsáveis pela fabricação de todos os equipamentos e pela manutenção dos mesmos se tornam aliadas para o cumprimento das exigências higiênico-sanitárias (ALLES *et al.*, 2008).

O *design* higiênico tem por objetivo eliminar ou minimizar os riscos de contaminação, infecção, doenças ou danos à saúde e/ou integridade dos consumidores. O foco principal é evitar a contaminação dos produtos originada no processamento e/ou no envase, quando um *design* inadequado pode dificultar a limpeza do equipamento e permitir que resíduos fiquem retidos em fendas, ranhuras e áreas mortas (ALLES *et al.*, 2008).

As legislações atuais estabelecem que as etapas de manipulação, preparo, processamento e envase de alimentos devem ser feitas de forma higiênica, com local e maquinário adequados.

Na União Europeia e nos Estados Unidos, existem documentos (diretrizes e normas) que ditam os requisitos gerais e específicos do *design* higiênico. Entre eles, publicados pelo EHEDG (*European Hygienic Engineering & Design Group*) e pelo AMI EDTF (*American meat Institute – Equipment Design Task Force*), estão as normas EN ISO 14159:2002 e EN 1672-2:2005 e as normas de órgãos certificadores dos EUA como 3-A *Sanitary Standards* e NSF *International* (ALLES *et al.*, 2008).

Na legislação brasileira, não existem documentos específicos sobre o assunto. A Portaria da ANVISA nº 326, de 30 de Julho de 1997, apenas afirma que todos os equipamentos e utensílios usados nos estabelecimentos industrializadores e produtores de alimentos devem ser desenhados, construídos e instalados de modo a assegurar a higiene e permitir uma fácil e completa limpeza e desinfecção, mas não descreve e nem conceitua os requisitos do *design* higiênico (BRASIL, 1997).

### 2.2.1 Por que utilizar o design higiênico?

A adequação às normas internacionais beneficia as indústrias responsáveis pela fabricação e manutenção dos equipamentos, pois agrega valor aos maquinários e ainda permite a exportação dos mesmos, gerando, dessa forma, uma vantagem competitiva em relação a outros fabricantes. Já para as indústrias processadoras / produtoras de alimentos que fazem uso desses equipamentos, as vantagens são muitas. Entre elas, temos (ALLES *et al.*, 2008):

- Garantia da qualidade dos produtos;
- Garantia de segurança dos alimentos;
- O processo se torna mais eficiente;
- Redução de custos e aumento da produtividade, já que o tempo gasto na higienização da linha acaba sendo reduzido;
- Paradas menos frequentes da produção para manutenção;
- Utilizando as normas como base de certificação, pode-se comprovar a qualidade higiênica dos produtos.

Em um estudo realizado por Mariot (2010), foi avaliada a contaminação microbiológica em diferentes estágios da primeira etapa de um abatedouro frigorífico de suínos, levando em consideração os aspectos do *design* higiênico dos equipamentos. Os resultados das análises feitas mostraram que o *design* higiênico influenciou diretamente na redução da contaminação das carcaças, denotando a importância de se seguir os requisitos do mesmo.

Em estudo realizado por Lehto *et al.* (2011), objetivou-se determinar o nível de contaminação das superfícies (tais como cortadores) após a limpeza das mesmas em plantas de processamento de vegetais frescos cortados e identificar os pontos críticos nos processos e nas salas de operação. A maioria das contagens de bactérias medida nas superfícies foi inaceitável quando utilizadas as diretrizes finlandesa de higiene como critérios. Dentre as sugestões dadas pelos autores para melhoria da qualidade dos vegetais produzidos, está, justamente, a aplicação do *design* higiênico, tanto nos equipamentos quanto na própria linha de produção, mostrando, mais uma vez, a importância do mesmo.

Outro estudo, realizado por Roddis (2010), comprova a importância de se pensar muito bem e de forma criteriosa no *design* higiênico. O autor avaliou a importância de uma vedação eficiente e higiênica em equipamentos como bombas. Em sua explanação, Roddis

(2010) afirma que o dispositivo de vedação deve proteger o fluido que está circulando no processo de contaminação ambiental e ser facilmente limpo para evitar o crescimento de microrganismos. O equipamento que é difícil de limpar resulta em um produto inferior, o que pode oferecer um lote de produtos rejeitado, com custos de reprocessamento adicional, *recall* de produtos e representam um perigo para o uso ou consumo humano.

Em se tratando da segurança dos produtos, a necessidade de se entender e estudar as melhores condições para garanti-la é inegável. Carpentier e Cerf (2011) estudaram a persistência da *Listeria monocytogenes* em equipamentos e instalações da indústria de alimentos (habilidade de formar biofilmes, suportar altas temperaturas, resistir aos produtos de higienização, etc). Diversos ensaios foram feitos em laboratório para avaliar o comportamento da bactéria em relação aos processos de limpeza das linhas, aos produtos utilizados normalmente, às condições de tempo e temperatura usuais em alguns processos, além de observar a influência do *design* dos equipamentos para a permanência e multiplicação do microrganismo. Os autores comprovaram que condições de um bom crescimento podem ser encontradas em locais chamados *harborage* (“abrigos”), ou seja, locais onde o design é anti-higiênico nos equipamentos e instalações ou sem higiene adequada ou quando os materiais estão danificados. Além disso, descobriu-se que foram necessárias quantidades muito pequenas da bactéria em um desses “abrigos” para que a multiplicação acontecesse.

### 2.2.2 Materiais de construção: exigência do design higiênico

Quais são a utilidade e a funcionalidade de um equipamento com desenho higiênico se o material para manufatura do mesmo não é levado em consideração? Os materiais para a construção dos equipamentos para que estes atendam aos requisitos mínimos do *design* higiênico devem ser resistentes (à corrosão, a altas e baixas temperaturas), passíveis de limpeza e, sempre que necessário, de desinfecção. Além disso, não podem soltar pedaços, lascas, quebrar, possuir fissuras e escamar. Não podem permitir o acúmulo de materiais indesejados e devem resistir bem à abrasão. Não devem também transferir odores, cores ou manchas para os alimentos (ALLES *et al.*, 2008).

A superfície que entrará em contato com o alimento deve ter rugosidade *Ra* (rugosidade média) de 0,8  $\mu\text{m}$  ou menor, assim como não pode ter imperfeições (pites, rugas, trincas) na sua conformação final (ALLES *et al.*, 2008).

Um dos materiais mais utilizados pelas indústrias de alimentos é o aço inoxidável. Há uma extensa gama de aços disponíveis no mercado. Sua escolha dependerá, basicamente, das condições do processo: pH, temperatura, processo de limpeza empregado e os produtos utilizados no mesmo. Além destas, deve-se levar em conta as condições mecânicas as quais ele pode ser submetido, como tensões e trações. O custo, naturalmente, é avaliado também (ALLES *et al.*, 2008).

### **2.3 Sistemas de Controle em Indústrias de Alimentos**

Controlar um sistema pode ser entendido como supervisionar e manter o processo em um determinado ponto de operação, isto é, medir o valor da variável que se quer controlar e aplicar o valor conveniente a variável que se pode manipular (grandeza variada pelo controle de modo a afetar a variável controlada), limitando erros ou desvios. Benefícios de um controle bem realizado: diminuição de funções repetitivas, incremento de produtividade, diminuição de erros e perdas no processo (OGATA, 1998; SILVEIRA, 1998).

Durante a última década, tem havido um aumento significativo no uso de sistemas de controle digital na indústria de transformação de alimentos. Controladores digitais estão realizando funções muito mais complexas do que os sistemas eletro-pneumático-mecânicos. Falhas potenciais do sistema de controle podem afetar a segurança do operador e do processo. Medidas apropriadas de validação do sistema podem evitar tais falhas potencialmente trágicas (ILYUKHIN, 2001).

Durante a secagem, o objetivo mais importante é ajustar algumas das condições para alcançar os principais atributos desejados ao produto final com o melhor desempenho e eficiência possível. Dentre elas tem-se (DUFOUR, 2006):

- Aumentar o rendimento ao obter as propriedades finais especificadas e a qualidade desejada dos produtos secos necessárias para o seu uso comercial. Isto inclui: tamanho, cor, aparência, porosidade, estabilidade, textura, etc. Além disso, deve-se minimizar a quantidade de produtos fora de especificação induzida por alterações em algumas das condições de secagem: desejado *setpoint*, velocidades, taxas de avanço, características de alimentação ou condições atmosféricas (por exemplo: a umidade ambiente).

- Diminuição do custo de produção devido a: consumo de energia, custo de manutenção e tempo de secagem. Sobre o consumo de energia, a secagem é uma operação de altos gastos energéticos e representa de 10% a 25% da energia industrial consumida no mundo desenvolvido. Além disso, também sabe-se que a maioria dos secadores industriais opera em baixa eficiência energética, entre 10% até e 60% (essa relação é definida como a energia teórica necessária para a secagem e a energia real consumida). Portanto, globalmente, devido à escalada dos custos de energia e a concorrência mais intensa, o desempenho nessa área tem de ser melhorado constantemente. Isto pode ser feito usando as ferramentas de controle.

No entanto, em muitas situações, os objetivos especificados estão em conflito. Por exemplo, a melhoria nas propriedades e na qualidade muitas vezes demanda um aumento no custo de produção, por outro lado diminuir o tempo de secagem pode implicar em uma perda de qualidade. Portanto, ajustar as condições de secagem não é simples. Procedimentos de controle manual são os mais fáceis de obter e de se trabalhar, mas a desvantagem é que o desempenho, em geral, não é o melhor que se pode esperar. Então, não é uma surpresa que o desenvolvimento de um "secador inteligente" surgiu recentemente na tecnologia de secagem. No "secador inteligente", um controlador ajusta automaticamente as condições de secagem de tal forma que o desempenho final esperado, em geral, é atingido. O uso da tecnologia inteligente é mais comum na indústria química e poucos trabalhos têm sido feitos até agora no aperfeiçoamento das tecnologias envolvidas no controle de processos como a secagem de alimentos (DUFOUR, 2006).

Os benefícios que a utilização de ferramentas de controle propicia, a nível industrial, são indiscutíveis. Isso se reflete diretamente na diminuição do consumo de energia e na redução de uma produção fora de especificação. Além disso, mesmo se o estudo do sistema de controle, inicialmente, não é simples (por exemplo: no caso de se fazer a modelagem da operação e desenvolver algum tipo de *software*), o retorno sobre este investimento é relativamente curto, uma vez que não excede um ano a meio, segundo Dufour (2006).

### *2.3.1 Tipos de Processos a Serem Controlados*

#### *2.3.1.1 Processos Discretos*

São processos produtivos que envolvem variáveis discretas no tempo. A produção é medida em unidades produzidas, tais como a indústria automobilística e fábricas em geral. Nos processos discretos, as variáveis de interesse normalmente são “ligado”, “desligado” e limites de quaisquer variáveis (tais como temperatura alta, nível baixo, limite de posição, etc) (OGATA, 1998; SILVEIRA, 1998).

#### *2.3.1.2 Processos Contínuos*

São processos que envolvem variáveis contínuas no tempo, nos quais se mantem os valores dentro do ponto de operação. Envolvem variáveis como temperatura, pressão, nível e vazão (OGATA, 1998; SILVEIRA, 1998).

### 3. MATERIAIS & MÉTODOS

A base teórica para o desenvolvimento deste projeto foi a disciplina ITA02224 - Operações Unitárias III, ministrada ao curso de Engenharia de Alimentos. De um modo geral, estudam-se diversos processos que envolvem, essencialmente, a transferência de massa, como: extrações (sólido-líquido, líquido-líquido), secagem, destilação, resfriamento e umidificação.

Para uma melhor assimilação do conteúdo referente à secagem de alimentos, Ongaratto (2006) desenvolveu um secador de bandeja, que opera com convecção forçada de ar quente, que teve como objetivo principal a sua utilização em aulas práticas da disciplina e, paralelamente, para uso em projetos de pesquisa.

#### *3.1 Projeto Inicial do Secador de Bandeja*

A carcaça do secador foi construída em chapa galvanizada com 1,5 mm de espessura, na forma cilíndrica, com 0,5 m de altura e 0,3 m de diâmetro. No interior dessa carcaça, foram soldadas seis placas de metal de aproximadamente 0,06 m de comprimento e 0,02 m de largura para fixação dos resistores elétricos (Figura 12). Além disso, foi soldada uma aba de chapa galvanizada com 1,5 mm de espessura, diâmetro externo de 0,32 m e diâmetro interno de 0,3 m, na parte inferior do secador, com o objetivo de prender o suporte do ventilador a ser utilizado, possibilitando a troca desse sempre que necessário (ONGARATTO, 2006).

Cada ventilador apresenta um suporte específico, construído em chapa galvanizada com 1,5 mm de espessura, diâmetro externo de 0,32 m e diâmetro interno de 0,18 m para o caso do ventilador modelo RT180 e de 0,12 m para o modelo RT120 (MULT..., 2011). Os ventiladores foram parafusados nesses suportes e esses, por sua vez, podem ser parafusados na parte inferior do secador (Figura 13).



Figura 12 – Base com resistores elétricos  
Fonte: ONGARATTO (2006).

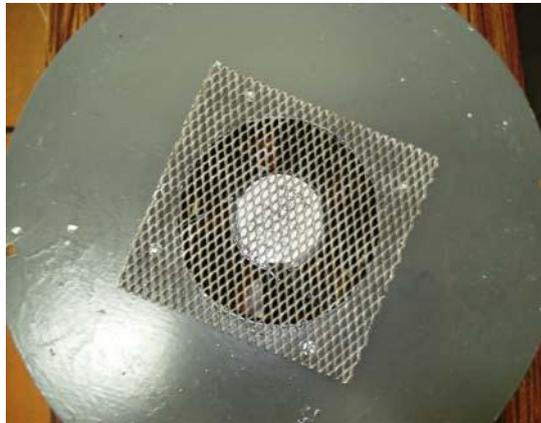


Figura 13 – Suporte para o ventilador  
Fonte: ONGARATTO (2006).

Foi construída uma bandeja do mesmo material que o corpo do secador (chapa galvanizada com espessura de 1,5 mm), com 0,1 m de altura, 0,28 m de diâmetro e peso total de aproximadamente 1.222 g, que é encaixada na parte superior do secador. Essa bandeja apresenta fundo telado sobre o qual é depositado o material a ser desidratado (Figura 14) (ONGARATTO, 2006).



Figura 14 – Bandeja de secagem  
Fonte: ONGARATTO (2006).

Para a quantificação do calor que seria requerido dos resistores elétricos e, conseqüentemente, quantos seriam necessários para produzi-lo, Ongaratto (2006) realizou alguns cálculos, levando em consideração as propriedades do ar, a variação pretendida de temperatura (diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura do ar de secagem) e a vazão de ar que seria produzida pelo ventilador, modelo RT180, segundo dados do fabricante. Ongaratto (2006) determinou, então, a quantidade de seis resistores elétricos de 2500 W cada um, para uma tensão de 220 V.

Para a realização dos experimentos do projeto, Ongaratto (2006) fez uso do ventilador modelo RT120 (MULT..., 2011), o que implicou em novos cálculos para determinar o calor que seria requerido dos resistores e o coeficiente de troca térmica.

### ***3.2 Situação Atual do Secador de Bandeja***

Em relação à estrutura básica, o secador continua praticamente igual, tal qual foi desenvolvido no projeto de Ongaratto (2006), com a diferença de que a tela que havia sido acoplada a saída de ar produzido pelo ventilador, teve de ser removida, pois a sua conformação provocava desvios no fluxo de ar e isso ocasionava o surgimento de regiões com diferentes temperaturas. As demais mudanças que ocorreram após isso relacionam-se, basicamente, ao fornecimento (geração) de calor, isto é, ao invés dos seis resistores elétricos, ocorre a operação com apenas três. Estes, por sua vez, estão ligados a um potenciômetro, através do qual se regula a resistência elétrica dos mesmos, provocando, assim, uma variação na quantidade de calor dissipado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *4.1 Propostas de Melhoria para o Equipamento*

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, não há sucesso no que não se gerencia”. (William Edwards Deming)

#### *4.1.1 Controladores de temperatura passíveis de serem instalados no secador*

Considerando a temperatura máxima do ar de secagem na entrada do secador que já foi utilizada (até o momento, 90 °C na secagem de mirtilos) foi feita uma seleção de alguns controladores de temperatura, o MT-511Ri e o AutoPID *plus*, que possuem temperatura de controle de -50 °C até 105 °C. Ambos são fabricados pela Full Gauge Controls, empresa gaúcha, instalada em Canoas.

Ambos podem operar com o termopar do tipo J (o mais empregado na indústria de alimentos), que é adquirido separadamente, e custa, aproximadamente, R\$ 60,00, com um cabo de 1,5 m (PLANETA..., 2011).

O termopar do tipo J pode ser colocado no secador por meio de uma pequena perfuração na carcaça, de acordo com o local onde se quer medir e controlar a temperatura do ar de secagem. Os dois controladores propostos permitem a ligação de apenas um termopar (ou outro sensor de temperatura) em cada um.

Pela descrição do fabricante, o MT-511Ri é um controlador e indicador de temperatura. Pode ser configurado para controlar tanto refrigeração como aquecimento. O produto está em conformidade com CE (União Europeia) e UL Inc. (Estados Unidos e Canadá). Seu preço é de aproximadamente R\$ 159,00 (REFRIGERAÇÃO..., 2011). Abaixo, foto ilustrativa do controlador (Figura 15).



Figura 15 – Controlador e indicador de temperatura MT-511Ri da marca Full Gauge  
Fonte: REFRIGERAÇÃO (2011).

A opção de se utilizar o MT-511Ri deve-se a sua aparente simplicidade e para o caso de se ter uma pessoa acompanhando o processo de secagem.

O AutoPID *plus* é um controlador digital para processos de refrigeração e aquecimento. Utilizando controle tipo PID (proporcional, integral, derivativo) é possível controlar a temperatura com variações mínimas. Tal produto está em conformidade com UL Inc. (Estados Unidos e Canadá). O preço é de aproximadamente R\$ 330,00 (PLANETA..., 2011). O AutoPID *plus* é um controlador que pode ser interligado, por meio de uma Interface Serial RS-485, a um computador com o *software* Sitrad. O Sitrad é um *software* de gerenciamento à distância, desenvolvido pela Full Gauge Controls para utilização em instalações de refrigeração, aquecimento, climatização e aquecimento solar. O *software* avalia, configura e armazena continuamente dados de temperatura, umidade, tempo, pressão e voltagem (cada parâmetro com um controlador específico), permitindo a modificação dos parâmetros de operação com total segurança e precisão, de qualquer lugar do mundo, via Internet, através do computador ou celular. Versátil, acessa tanto local como remotamente instalações dos mais diversos segmentos, desde redes de supermercados, frigoríficos e restaurantes, até hotéis, hospitais, laboratórios, residências, entre outros e pode ser baixado gratuitamente pelo site que leva o nome do programa (SITRAD, 2010).

A Interface CONV32 da Full Gauge (Figura 17) permite que os controladores da mesma marca com comunicação serial sejam conectados a um computador que possua uma porta de comunicação USB. A interface se encarrega então de transformar o padrão elétrico utilizado pelo computador para o padrão elétrico RS-485 utilizado pelos controladores. A Full Gauge utiliza a rede RS-485 para proporcionar maior robustez e confiabilidade à comunicação entre seus controladores e o *software* Sitrad. A comunicação é estabelecida a dois fios (A e B), podendo-se então efetuar uma comunicação Half-Duplex em que o computador é o mestre e os controladores são os escravos. O dispositivo USB compatível

somente com o padrão USB 2.0 em Windows NT, 2000, 2003, 2008, XP, Vista e 7 (FULLGAUGE, 2011). Seu preço é de aproximadamente R\$ 290,00 (PLANETAFRIO, 2011).

A seguir, fotos ilustrativas do controlador AutoPID *plus* (Figura 16) e da Interface CONV32 (Figura 17).



Figura 16 – Controlador de temperatura AutoPID *plus* da marca Full Gauge  
Fonte: DELLTECH (2011).



Figura 17 – Interface CONV32 para interligar controladores ao computador (Full Gauge Controls)  
Fonte: PLANETAFRIO (c) (2011).

Outra opção seria utilizar o AutoPID *plus*, o qual atribui, primeiro, maior controle sobre o processo e todas as variações que o mesmo sofre ao longo do tempo, já que este pode ser interligado a um computador (Sitrad) e, em segundo, a segurança de se poder acompanhar os registros de todas essas variações e o comportamento do processo, uma vez que o mesmo

pode ser visualizado de forma remota, em especial, quando o processo demorar muitas horas. Naturalmente, o investimento é mais significativo e se justificaria, de maneira mais óbvia, por uma produção mais frequente de alimentos desidratados. Abaixo, imagem ilustrativa do funcionamento de controladores com o Sitrad (Figura 18).

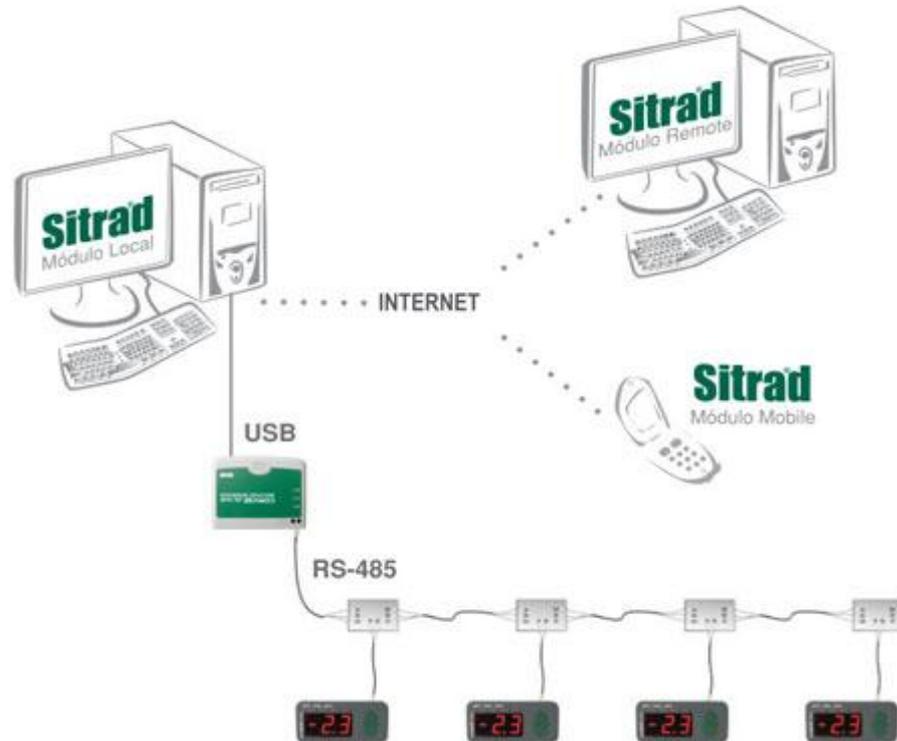


Figura 18 – Controladores conectados ao Sitrad pela interface RS-485 (Full Gauge Controls)  
Fonte: SITRAD (2011).

#### 4.1.2 Aplicação do design higiênico

Dentre as melhorias propostas para o secador, além da instalação de um sistema de controle da temperatura do ar de secagem, inclui-se a aplicação do *design* higiênico ao equipamento.

Os equipamentos ditos higiênicos devem ser de fácil higienização e manutenção para garantir o cumprimento das suas funções na prevenção de contaminantes microbiológicos (ALLES *et al.*, 2008).

Levando esse fato em consideração, foi possível concluir, mediante observação durante aula prática, que a tela da bandeja de secagem é de difícil higienização. A proposta do presente trabalho é a confecção de duas grades feitas de aço inoxidável, AISI 316L, de grau alimentício.

A escolha do material é justificada pela sua resistência à corrosão devido ao fenômeno da passividade. Os elementos de liga presentes nos aços inoxidáveis reagem com muita facilidade com o meio ambiente e um deles em particular, o cromo (no mínimo 11% da composição), ajuda a formar um filme fino e aderente que protege o material de subsequentes ataques corrosivos. Além disso, abaixo listados, estão outros atributos importantes que corroboram para a escolha desse material (AÇO..., 2011):

- Resistência mecânica superior aos aços baixo carbono;
- Facilidade de limpeza / baixa rugosidade superficial;
- Aparência higiênica;
- Material inerte: não modifica cor, sabor ou aroma dos alimentos;
- Facilidade de conformação;
- Facilidade de soldagem / união;
- Mantém suas propriedades numa faixa muito ampla de temperatura, inclusive muito baixas (criogênicas);
- Acabamentos superficiais variados;
- Forte apelo visual (modernidade, leveza e prestígio);
- Relação custo / benefício favorável;
- Baixo custo de manutenção;
- Material 100% reciclável.

As grades são no formato circular, para encaixe na bandeja, e ambas seriam confeccionadas conforme a Figura 19 abaixo:

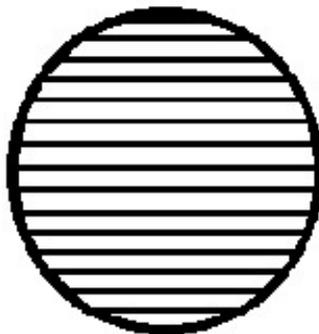


Figura 189 – Grade de aço inoxidável  
Fonte: Elaborado pela autora (2011).

O diâmetro de ambas tem de ser menor que 0,28 m para o encaixe na bandeja, como por exemplo, 0,275 m. A bandeja já possui quatro “ganchos” que podem servir de apoio para as duas grades.

A utilização de duas grades tem por objetivo sobrepor ambas, de modo que suas barras fiquem posicionadas perpendicularmente, formando uma tela. A utilização de apenas uma grade pode ser feita nos casos em que o alimento a ser seco é maior, ou é seco inteiro, ou que, ao ser fatiado ou partido, ainda seja suficientemente grande para não passar através das barras. Isto traz benefícios à secagem, pois aumenta a superfície de contato ar-alimento, com menos barreiras à circulação do ar.

As demais dimensões, como espaçamento entre as barras e o diâmetro das mesmas, teriam de ser avaliadas experimentalmente. Mas levando em consideração que a utilização das grades é viável para alimentos que vão sofrer fatiamento / corte para o processo de secagem ou que, mesmo que sejam desidratados inteiros, permanecerão suficientemente grandes para não atravessar a tela formada pelas grades, pode-se intuir uma faixa de dimensões, especialmente para o espaçamento entre as barras de inox, que pode ser de 0,007 m a 0,01 m, por exemplo, levando-se em consideração, também, o diâmetro das mesmas, para as quais, o ideal seria o menor diâmetro possível e este tem de ser compatível com o que é factível metalurgicamente.

Pode-se ainda produzir uma grade na qual o espaçamento entre as barras de aço inox seja maior do que o proposto anteriormente, por exemplo, de 0,01 a 0,02 m, para produtos como maçã fatiada e alimentos semelhantes quanto ao tamanho.

Para a secagem de alimentos mais particulados, como é o caso da produção de farinhas, o uso de uma tela não tem como ser dispensado, pois a abertura produzida pelas grades é grande para este processo. O que se pode fazer a respeito é substituir a tela atual por uma tela feita de aço inox.

#### *4.1.3 Tela de proteção*

Outra melhoria a ser realizada é a manufatura de uma tela (em alumínio ou outro material mais acessível economicamente) para ser colocada como proteção no topo da bandeja, pois, mediante alguns experimentos realizados, certos alimentos podem requerer um tempo de secagem bastante significativo, de até 15 horas, como foi observado na secagem de uvas. O objetivo principal da tela é evitar a queda de sujidades (especialmente, insetos) sobre os alimentos que estiverem sendo secos.

## 5. CONCLUSÃO

Foram feitas propostas de melhorias para o secador de bandeja de bancada utilizado em aulas práticas da disciplina de Operações Unitárias III e em projetos de pesquisa com o intuito de torna-lo mais apropriado no que diz respeito ao desenho higiênico, com a reformulação da bandeja de secagem, trocando a atual tela por duas grades confeccionadas em aço inoxidável AISI 316L, para permitir a higienização mais adequada e, por consequência, para produzir alimentos desidratados mais seguros.

Além disso, propôs-se a instalação de um sistema de controle de temperatura, que atualmente é feito de forma não tão precisa e de forma indireta, pela manipulação da resistência elétrica dos três resistores instalados no secador por meio de um potenciômetro, o qual não foi confeccionado para indicar a temperatura, mas apenas a quantidade de potência que está sendo utilizada dos resistores elétricos. Dessa forma, a temperatura do ar que chega aos alimentos tem sido monitorada por meio de termômetros de mercúrio. Com um controlador de temperatura, é possível definir um *set-point*, isto é, a temperatura exata (ou em torno da qual) para o ar de secagem que chega à bandeja. Além disso, ele permite um monitoramento mais seguro do processo, maior precisão, menores variações e, muito provavelmente, uma redução nos gastos energéticos.

Em adição a estas duas propostas, está a de confeccionar uma tela de proteção, tal qual a tela utilizada atualmente na bandeja, para ser colocada, como uma tampa, sobre a mesma, evitando a queda de sujidades, como insetos, sobre os alimentos que estiverem sendo desidratados.

Pode-se concluir também que trabalhar com projetos e melhorias de equipamentos exige bastante dedicação e, especialmente, que se tenha uma facilidade ou, melhor relatando, um maior interesse por ter de entrar em contato com várias áreas do conhecimento, pois todos os aspectos envolvidos ultrapassam a fronteira de uma única área de formação.

## REFERÊNCIAS

- ALLES, M. J. L.; MARIOT, R. F.; DUTRA, C. C. (coord). **Manual do Design higiênico: para máquinas, equipamentos e instalações da Indústria de Alimentos e Bebidas**. Porto Alegre: SENAI – RS, 2008. 111 p.
- AÇO Inox na Arquitetura. Met@lica. 2011. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/aco-inox-na-arquitetura/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.
- AVERSA, M.; CURCIO, S.; CALABRO, V.; IORIO, G. An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. **Journal of Food Engineering**, Italy, v.78, p.922–932, 2007. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 22 de outubro de 2011.
- CARPENTIER, B.; CERF, O. Review — Persistence of *Listeria monocytogenes* in food industry equipment and premises. **International Journal of Food Microbiology**, France, v.145, p.1–8, 2011. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 25 de novembro de 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/326\\_97.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/326_97.htm) >. Acesso em: 18 de dezembro de 2011.
- BOROMPICHAICHARTKU, C.; LUENGSODE, K.; CHINPRAHAST, N.; DEVAHASTIN, S. Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process. **Journal of Food Engineering**, Thailand, v.93, p.348–353, 2009. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.
- BUHLER Aeroglide (a). 2010. Disponível em: <[http://www.aeroglide.com/\\_Portuguese/truck-tray-ovens-dryers-po.php](http://www.aeroglide.com/_Portuguese/truck-tray-ovens-dryers-po.php)>. Acesso em: 10 de novembro de 2011.
- BUHLER Aeroglide (b). 2010. Disponível em: <<http://www.aeroglide.com/rotary-dryers.php>>. Acesso em: 28 de outubro de 2011.
- CRUZ, G.A. **Desidratação de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Globo, 1990. 207p.
- DELLTECH instrumentos. São José do Rio Preto – SP, 2011. Disponível em: <<http://www.delltech.com.br/produto/controlador-de-temperatura-autopid-plus-saida-pwm>> Acesso em: 15 de novembro de 2011.
- DUFOUR, P. Control Engineering in Drying Technology: Review and Trends. **Drying Technology**, France, v.24, issue 7, p.889–904, 2006. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/toc/ldrt20/24/7>>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FOOD Network Solution. 2010. Disponível em:  
<<http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/971>>. Acesso em: 28 de outubro de 2011.

FRUTAS Desidratadas - uma opção de saúde e renda. Viçosa – MG: Emprego e renda. 2.ed, 2011. Disponível em:<<http://www.empregoerenda.com.br/paginas/91/3/frutas-desidratadas-uma-opcao-de-saude-e-renda>>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.

ILYUKHIN, S.V.; HALEY, T. A.; SINGH, R. K. A survey of control system validation practices in the food industry. **Food Control**, USA, v.12, p. 297 – 304, 2001. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 18 de dezembro de 2011.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992. 455 p.

KILBURN Engineering Limited. 2011. Disponível em:  
<<http://www.kilburnengg.com/fluidbeddryers&coolers.htm>> Acesso em: 29 de outubro de 2011.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do yacon (*Polymnia sanchifolia*)**. 2011. 88 p. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. UFPR - Curitiba, 2011.

LEHTO, M.; KUISMA, R.; MÄÄTTÄ, J.; KYMÄLÄINEN, H.-R.; MÄKI, M. Hygienic level and surface contamination in fresh-cut vegetable production plants. **Food Control**, Finland, v.22, p. 469–475, 2011. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 25 de novembro de 2011.

LE PAGE, J.-F.; CHEVARIN, C.; KONDOYAN, A.; DAUDIN, J.-D.; MIRADE, P.-S. Development of an approximate empirical-CFD model estimating coupled heat and water transfers of stacked food products placed in airflow. **Journal of Food Engineering**, France, v. 92, p. 208–216, 2009. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 10 de novembro de 2011.

LEWICKI, P. P. Design of hot air drying for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, Poland, v.17, p. 153–163, 2006. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

MILK POWDER. 2009. Disponível em:  
<<http://www.milkpowdertech.com/en/Products/Content.aspx?pid=44> >. Acesso em: 13 de dezembro de 2011.

MANFREDINI & SCHIANCHI. Italy, 2011. Disponível em:  
<<http://www.manfredinieschianchi.com/305-02-4PO-secadores-rotativos.htm>>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

MARIOT, R. F. **Avaliação Do Design Higiênico De Equipamentos Que Contribuem Para A Contaminação De Carcaças Na 1ª Etapa De Abate De Suínos**. 2010. 71p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente como

um dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Microbiologia Agrícola. UFRGS – Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Porto alegre, 2010.

MARJANI, Adi. 2011. Disponível em:

<<http://adimarjani.wordpress.com/2010/09/15/teknologi-pengeringan-drum-drum-drying/>>

Acesso em: 27 de outubro de 2011.

MAROULIS, Z. B.; KIRANOUDIS, C. T.; MARINOS-KOURIS, D. Heat and Mass Transfer Modeling in Air Drying of Foods. **Journal of Food Engineering**, Greece, v.26, issue 1, p. 113–130, 1995. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

MEGA Brasil. 2011. Disponível em: <<http://www.wmegabrasil.com.br>>. Acesso: 10 de novembro de 2011.

MEYERS, R. A. Encyclopedia of Physical Science and Technology. 3.ed., 2001. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 29 de outubro de 2011.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 2 nd., Vol. 1. Revised and Expanded. Montreal: Marcel Dekker, Inc., 1995. 742p.

MULT Comercial Ltda. – Componentes Eletrônicos. Santa Efigênia – SP, 2011. Disponível em: <[http://loja.multcomercial.com.br/ecommerce\\_site/produto\\_5116\\_4689\\_Microventilador-120x120x38mm-RT-120-Bivolt-Rolamento-53102](http://loja.multcomercial.com.br/ecommerce_site/produto_5116_4689_Microventilador-120x120x38mm-RT-120-Bivolt-Rolamento-53102)>. Acesso em 15 de novembro de 2011.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1998. 208p.

ONGARATTO, R. S. **Construção de um secador experimental de alimentos e validação do projeto**. 2006. 69f. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos para obtenção do título de Engenheiro de alimentos – UFRGS - Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, 2006.

PARK, K. J. B; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; DAL FABBRO, I. M.; PARK, K. J. Seleção De Secadores: Fluxograma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande – SP, v.9, n.2, p.179–202, 2007. Disponível em:

<<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev92/Art920.pdf> >. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. de; PARK, K. J. B. Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXXV, 2006, Campinas – São Paulo. **Anais eletrônicos...**Campinas: 2006.

PAVÓN-MELENDEZ, J.A. G. HERNÁNDEZ, M.A. SALGADO, M.A. Dimensionless analysis of the simultaneous heat and mass transfer in food drying. **Journal of Food Engineering**, Mexico, v.51, p.347–353, 2002. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 28 de outubro de 2011.

PLANETA Frio (a). São Paulo, 2011. Disponível em:  
<<http://www.planetafrio.com.br/Produtos.asp?ProdutoID=316>>. Acesso em: 15 de novembro de 2011.

PLANETA Frio (b). São Paulo, 2011. Disponível em:  
<<http://www.planetafrio.com.br/Produtos.asp?ProdutoID=642>> Acesso em: 15 de novembro de 2011.

PLANETA Frio (c). São Paulo, 2011. Disponível em:  
<<http://www.planetafrio.com.br/Produtos.asp?ProdutoID=310#descricao>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2011.

REFRIGERAÇÃO Marechal. São Paulo. 2011. Disponível em:  
<<http://www.refrigeracaomarechal.com.br/produto/fgmt511220/controlador+full+gauge+mt+511+ri>> Acesso em: 15 de novembro de 2011.

RODDIS, A. The importance of a hygienic seal design. **World Pumps Magazine**. p.34–36, Novembro de 2010.

RODRIGUES, M. G. V. Produção E Mercado De Frutas Desidratadas. Jaboticabal – SP: Toda Fruta, 2004. Disponível em:  
<<http://www.todafruta.com.br/portal/icNoticiaAberta.asp?idNoticia=6687>>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.

SAKA Engineering Systems Private Limited. Índia, 2011. Disponível em: <  
<http://www.indiamart.com/sakaengineering/industrial-drying-and-evaporation-systems.html>>  
Acesso em: 28 de outubro de 2011.

SAMPAIO, S.M; DE QUEIROZ, M. R. Influência Do Processo De Secagem Na Qualidade Do Cogumelo Shiitake. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.570 – 577, maio/agosto 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2011.

SECADORES rotativos. Manfredini & Schianchi, Sassuolo (MO) – Italy, 2007. Disponível em: <<http://www.manfredinieschianchi.com/305-02-4PO-secadores-rotativos.htm>>. Acesso em: 25 de setembro de 2011.

SILVEIRA, P. R., SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto**. 7ª ed. São Paulo: Editora Érica, 1998. 256 p.

SITRAD – Gerenciamento via Internet. 2010. Disponível em:  
<<http://www.sitrad.com.br/conheca.asp>> Acesso em: 19 de novembro de 2011.

TERRONI Equipamentos Científicos. São Carlos – SP. 2011. Disponível em: <  
<http://www.terroni.com.br/produtos/liofilizadores-de-bancada/serie-ld/>>. Acesso em: 14 de novembro de 2011.

VEGETAIS desidratados. **Revista Aditivos & Ingredientes**. Editora Insumos, n. 61, p. 42 - 52 , Março/Abril de 2009.