



Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

dossiê técnico

Equipamentos e processos de secagem

Marina Fernanda Stocco Zempulski

Ladislau Nelson Zempulski

Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR





Serviço Brasileiro de **Respostas Técnicas**

dossiê técnico

Equipamentos e processos de secagem

O Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT fornece soluções de informação tecnológica sob medida, relacionadas aos processos produtivos das Micro e Pequenas Empresas. Ele é estruturado em rede, sendo operacionalizado por centros de pesquisa, universidades, centros de educação profissional e tecnologias industriais, bem como associações que promovam a interface entre a oferta e a demanda tecnológica. O SBRT é apoiado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e de seus institutos: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT.



Dossiê Técnico	ZEMPULSKI, Marina Fernanda Stocco; ZEMPULSKI, Ladislau Nelson Equipamentos e processos de secagem Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR 29/8/2007
Resumo	Este dossiê apresenta a operação de secagem, definida como o processo responsável pela retirada de água de um produto por evaporação ou sublimação mediante a aplicação de calor sob condições controladas. A importância da secagem está relacionada à redução do peso e do volume, redução nos custos de transporte e armazenamento, e conservação do produto livre da proliferação de microrganismos e de outras reações químicas e bioquímicas indesejáveis, aumentando, assim, sua vida útil. De forma prática, descreve-se os equipamentos de secagem usuais e a importância desta operação unitária na indústria.
Assunto	FABRICAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA AS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS, BEBIDAS E FUMO, PEÇAS E ACESSÓRIOS
Palavras-chave	Conservação; equipamento; máquina; processamento; secador de grão; secadora de alimentos; secagem



Salvo indicação contrária, este conteúdo está licenciado sob a proteção da Licença de Atribuição 3.0 da Creative Commons. É permitida a cópia, distribuição e execução desta obra - bem como as obras derivadas criadas a partir dela - desde que criem obras não comerciais e sejam dados os créditos ao autor, com menção ao: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - <http://www.respostatecnica.org.br>

Para os termos desta licença, visite: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

Sumário

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVO	3
3 DESENVOLVIMENTO	3
3.1 Apresentação	3
3.2 Processo	4
3.2.1 Influência da estrutura do sólido	4
3.2.2 Modos de secagem.....	4
3.2.3 Regime de operação.....	4
4 EQUIPAMENTOS DE SECAGEM	5
4.1 Secadores de bandeja	5
4.2 Secadores tipo túnel	7
4.3 Secadores transportadores	8
4.4 Secadores para sólidos granulados	10
4.4.1 Secadores rotatórios	10
4.4.2 Secadores à gravidade	12
4.4.3 Secadores instantâneos.....	13
4.5 Secadores pulverizadores	15
4.6 Secagem de lamas e pastas grossas	18
4.6.1 Secadores a parafusos geminados	18
4.6.2 Secadores de tambor.....	19
4.7 Secadores infravermelhos	20
Conclusões e recomendações	22
Referências	22

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

Em muitos casos se faz necessária a retirada de água de um produto, seja para redução do seu peso e volume, redução nos custos de transporte e armazenamento ou conservação do mesmo, livre da proliferação de microrganismos e de outras reações químicas e bioquímicas indesejáveis, aumentando, assim, sua vida útil.

Este processo se dá por evaporação ou sublimação, mediante a aplicação de calor sob condições controladas. O mesmo deve ser analisado em função do ar atmosférico, de sua velocidade de circulação, temperatura e teor de umidade; e quanto ao material, sua forma, granulação, porosidade e umidade.

É importante ressaltar que a secagem remove a umidade do sólido até certo limite. Esta umidade de equilíbrio varia em função da umidade relativa do ar, e o comportamento de cada sólido varia de material para material.

Esta operação pode ser utilizada para a conservação de um determinado produto ou estar associada a outras operações em um processamento. Alguns produtos que utilizam a secagem (seja como operação final ou como uma parte de seu processamento) são: biscoitos, cerveja, alimentos desidratados em pó, massa fresca tipo talharim, purê de batatas, sopas instantâneas, plásticos, resíduos (sólidos ou não), concreto refratário, papel, madeira, cerâmicas, etc.

Existem diversos métodos e equipamentos de secagem, que devem ser utilizados de acordo com o produto a ser processado. Dentre eles pode-se citar: secagem com ar quente, secagem por contato direto com uma superfície quente, secagem por radiação e liofilização. Para produtos líquidos ou pastosos, pode-se utilizar a secagem por *spray*, ou *spray-drying*.

2 OBJETIVO

Este dossiê aborda diversos aspectos de natureza tecnológica em relação aos processos de secagem e respectivos equipamentos, e tem por objetivos disseminar informações que possam promover o incremento de melhorias junto às micro e pequenas empresas, bem como sanar dúvidas com relação ao processo descrito e à seleção de equipamentos.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Apresentação

A operação unitária de secagem define-se pela transferência de um líquido presente em um sólido úmido (superfície e poros) para uma fase gasosa não saturada. Esse processo requer energia, uma vez que se deseja eliminar a umidade do material em questão. Através da correta manipulação do produto que se deseja secar, pode-se obter um maior rendimento do secador, economizar tempo, mão-de-obra, combustível, etc.

Como todo processo de transferência de massa, calor ou energia, a força motriz é o gradiente existente entre duas condições. Ou seja, a diferença de pressão parcial de vapor de água entre o ambiente quente (ar quente) e a superfície do produto ocasionará um transporte de massa do produto para o ar e, assim, o vapor será arrastado do material.

Sabe-se que durante esse processo é na superfície do material que ocorre a evaporação da água, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos desse transporte mais importantes são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor.

Quando ocorre a evaporação na superfície de um sólido, a umidade se desloca das camadas internas do sólido à superfície. Algumas teorias foram estabelecidas, visando explicar as formas das curvas de velocidade de secagem e determinar o tempo de secagem

no período decrescente, dentre as quais se destacam a teoria da difusão do líquido e a da capilaridade.

A primeira considera que o movimento da umidade no sólido é causado pelo gradiente de concentração existente entre as partes internas do sólido e a superfície. Já na segunda, considera-se que nos materiais granulares e porosos, como areia, argilas e outros, o movimento da água no seu interior se dá devido às forças capilares.

3.2 Processo

A secagem, seja por qualquer sistema, baseia-se na propriedade pela qual o aumento da temperatura do ar diminui a sua umidade e o torna capaz de absorver a umidade disponível em outros corpos. O teor de umidade do material acompanhará a diminuição de umidade do ar quando são submetidos a uma corrente de ar (quente), tendendo ao equilíbrio higroscópico.

3.2.1 Influência da estrutura do sólido

A estrutura dos sólidos faz com que a migração do líquido do interior para a superfície seja diferente em cada tipo de sólido. Essa estrutura influencia na velocidade e na eficiência da secagem, por isso é importante um estudo prévio das propriedades do sólido que se deseja secar para que seja escolhido o processo mais adequado.

A primeira classe de materiais é constituída por sólidos granulares ou cristalinos que retêm a umidade nos interstícios entre as partículas, ou em poros superficiais, rasos e abertos. Nestas substâncias, os teores de umidade no equilíbrio são usualmente muito próximos de zero. Alguns exemplos são a moinha de rocha (pó resultante da trituração desta) e o dióxido de titânio. Já a segunda classe é constituída pela maioria dos sólidos orgânicos que é amorfa, fibrosa ou ainda gelatinosa. Nestes materiais, a umidade é retida como parte integral da estrutura do sólido ou então permanece no interior de fibras ou de poros delgados internos. Em virtude de a água presente fazer parte da estrutura do sólido, estes são afetados pela remoção de umidade. Exemplos incluem cereais, amido e extrato de soja.

3.2.2 Modos de secagem

A secagem pode ser feita de dois modos: natural e artificial. A secagem natural é aquela em que a diminuição do teor de umidade do produto é causada pela incidência da radiação solar. No Brasil, é bastante utilizada na secagem de milho, feijão, trigo, café e cacau. A grande desvantagem dessa modalidade está na dependência das condições climáticas.

A secagem artificial consiste no emprego de artifícios para aumentar a velocidade do processo, ou seja, utilizando equipamentos chamados de secadores. Comercialmente, os secadores podem ser encontrados sob diferentes configurações e acessórios, como sistemas de aquecimento do ar por fornalhas a gás ou a lenha, sistemas de movimentação do ar com ventiladores e sistemas de movimentação dos grãos por elevadores de caçambas, transportadores helicoidais, fitas transportadoras, etc.

3.2.3 Regime de operação

A secagem pode ser executada em baixa e/ou alta temperatura, e o processo pode trabalhar em regime contínuo ou intermitente, dependendo do teor de umidade inicial do produto a ser secado, além de custo e tamanho do equipamento.

Nos processos contínuos, o produto entra úmido no secador e sai seco e relativamente frio, passando apenas uma vez pelo secador. Estes secadores conseguem operar apenas continuamente quando a umidade de entrada do produto não ultrapassa a 18%.

Para teores de umidades de entradas excedentes a 18%, consegue-se a secagem por regime intermitente, para o qual é necessário que o produto passe diversas vezes pelo secador antes de completar a secagem.

4 EQUIPAMENTOS DE SECAGEM

A aplicação dos princípios de secagem ao projeto de equipamentos adequados para realizar tal operação unitária exige um estudo minucioso das diversas variáveis envolvidas no processo. Dentre estas, cita-se a dificuldade de previsão da curva de velocidade de secagem; a variação das condições de secagem ao longo do secador; a diferença entre a área da transferência térmica e a área da transferência de massa; a configuração do escoamento do gás; o efeito das variáveis de operação e da escolha do equipamento relativamente às condições do produto seco.

Um equipamento perfeitamente projetado é muitas vezes difícil de se atingir, pois muitos fenômenos físico-químicos podem ser complexos e de difícil previsão. O fator econômico habitual dos custos de processamento no que diz respeito às condições desejadas do produto, do ponto de vista do mercado consumidor também não pode ser desprezado.

Por estas razões, a escolha do secador é usualmente baseada em ensaios preliminares, nos quais o material é seco em condições que se assemelham às da produção. A maioria dos fabricantes de unidades de secagem mantém laboratórios nos quais existem secadores na escala de planta piloto. O cliente comprador em perspectiva pode secar amostras do material nestes secadores, em diversas condições operacionais, para tentar encontrar a combinação ótima do tipo de equipamentos e das condições de operação.

A seguir, são descritos alguns dos principais tipos de secadores, bem como os mecanismos que controlam os processos e a comparação entre eles, de modo a evidenciar as vantagens relativas a cada equipamento.

4.1 Secadores de bandeja

Este é o modelo mais simples de secador, utilizado para operações descontínuas, de pequena escala, e secagem de substâncias granulares ou para peças separadas. A seguir, apresenta-se diferentes modelos de secadores de bandeja utilizados industrialmente (FIG. 1).

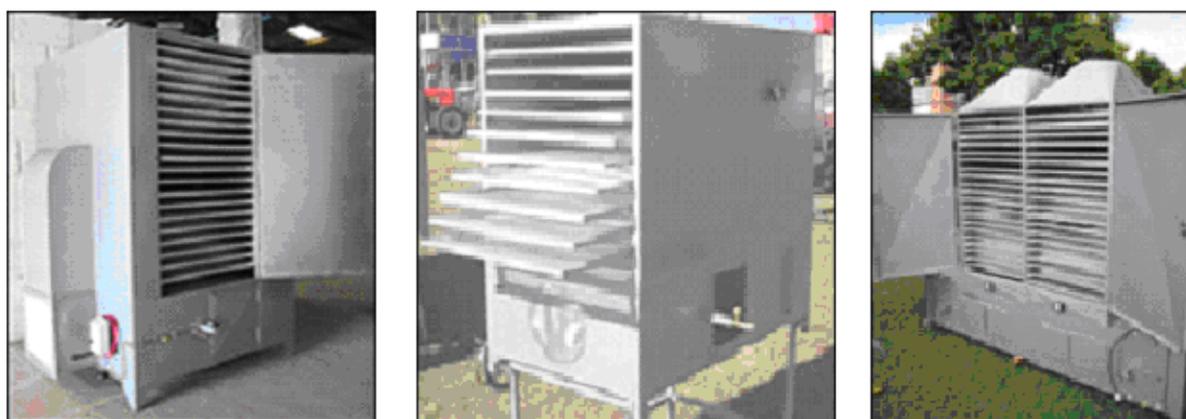


Figura 1 – Modelos de secadores de bandeja
Fonte: (MELONI, [200-?])

O equipamento é formado por uma câmara onde o material a ser seco é colocado em bandejas ou tabuleiros, as quais podem ter o fundo inteiriço, com ar circulando entre o topo de uma e o fundo da que fica em cima, ou podem ter o fundo telado, como no caso de materiais frouxamente compactados ou de materiais que podem ser moldados em pequenas formas, com a circulação do ar controlada de modo que o escoamento se faça através das bandejas e dos sólidos nelas contidos.

Nesta última disposição, o tempo de secagem é reduzido, mas a quantidade de material é geralmente menor em relação a um equipamento com bandejas de fundo inteiriço. O material a ser seco, no caso de ser constituído por folhas, pode também estar suspenso em cavaletes ou em ganchos.

A seguir, apresenta-se esquematicamente o funcionamento de um secador de bandejas simples (FIG. 2).

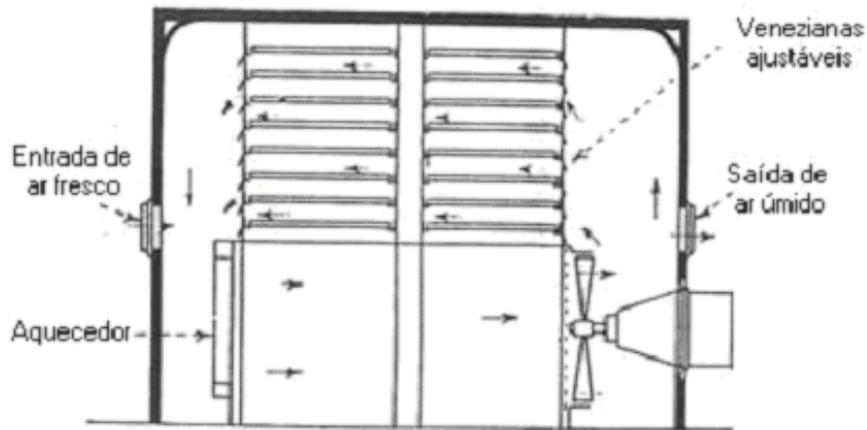


Figura 2 - Secador de bandejas descontínuo com aquecimento a vapor d'água
Fonte: (FOUST; WENZEL; CLUMP, 1982)

As operações de secagem são controladas com simplicidade e modificam-se facilmente, de modo que o secador é especialmente apropriado para operações de laboratório ou para a secagem de materiais que exigem modificações das condições de secagem à medida que o processo avança.

Quando as condições externas controláveis são constantes, as condições de secagem serão constantes em qualquer bandeja com os sólidos úmidos. As bandejas mais próximas da entrada de ar, no entanto, estarão sujeitas a condições que são nitidamente diferentes daquelas nas quais se encontram as bandejas localizadas no final da trajetória da corrente de ar. Por isso, o material em algumas bandejas seca com maior rapidez que a média, enquanto que o material em outras bandejas seca menos rapidamente que a média. O diagrama representado a seguir exemplifica esta circulação de ar (FIG. 3).

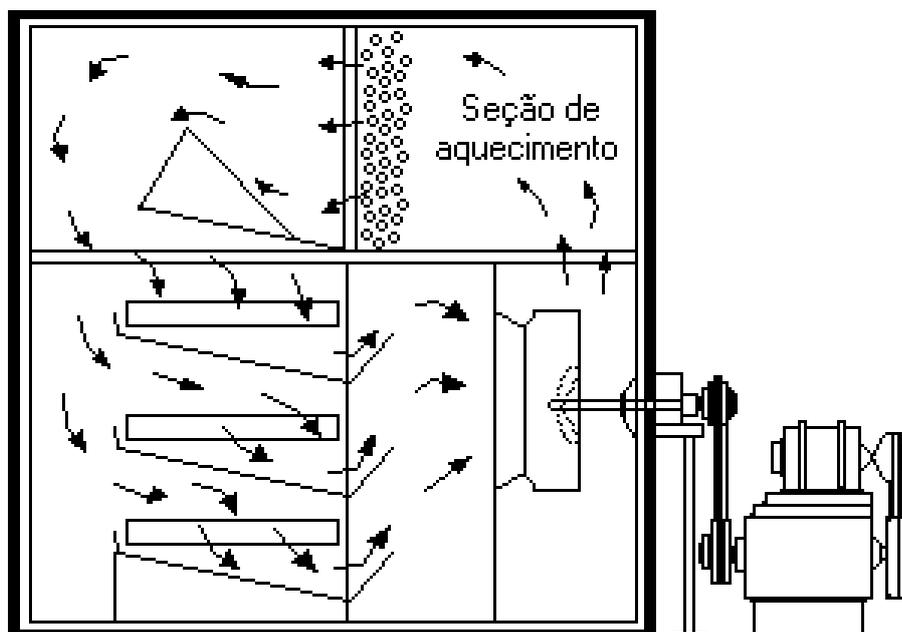


Figura 3 - Secador de bandejas com fundo telado, esquematizando a circulação do ar transversal
Fonte: (FOUST; WENZEL; CLUMP, 1982)

Este efeito não tem importância com materiais que não sejam sensíveis ao calor; porém, quando há secagem em excesso, pode provocar o chamusco do material. Logo, as bandejas devem ser retiradas em instantes diferentes, ou então, a temperatura do ar deve ser reduzida à medida que o processo de secagem se aproxima do seu término.

Nos secadores de bandeja, o meio secante pode ser o vapor de água, gás ou ar aquecido eletricamente, nos casos usuais. A principal parte do custo total do processo está relacionada ao custo de energia. A fim de conservar a energia e controlar a umidade do ar de modo a obter o produto nas condições desejadas, é possível reciclar uma parte do ar.

O ar descarregado dos secadores recebe mais energia na forma de calor latente, mas não mais energia como calor sensível. O resultado é uma economia direta de energia no combustível, embora seja necessário, proporcionalmente, um período de secagem mais dilatado.

Os secadores de bandeja podem ser construídos para excluir o ar atmosférico e usarem outros meios como vapores orgânicos superaquecidos ou o ar rarefeito de um vácuo, solucionando, assim, o problema dos materiais que não podem ser secos na condição desejada ao ar em pressão atmosférica normal, seja por se deteriorarem nas temperaturas necessárias para se obter taxas de secagem razoáveis, seja por reagirem com o oxigênio do ar.

O secador-congelador seca o material sob vácuo e a perda de líquido do material ocorre, em muitos casos, pela sublimação direta do estado sólido em temperaturas muito baixas (FIG. 4). Este método de secagem é essencialmente caro, utilizado apenas em produtos de elevado preço unitário, sendo seu emprego restrito a produtos farmacêuticos, biológicos e outros que podem ser sensíveis ao calor.



Figura 4 - Secador-congelador a bandejas operando a vácuo
Fonte: (FTS SYSTEMS, [200-?])

4.2 Secadores tipo túnel

No secador tipo túnel há o deslocamento contínuo de sólidos úmidos através da câmara de secagem pela montagem das bandejas em vagonetes. A secagem dá-se numa corrente de ar quente, sendo o túnel não necessariamente aquecido.

Este modelo é utilizado para secar, por exemplo, tabuleiros de cera de parafina, gelatina ou sabão e para a secagem de artigos de cerâmica, além dos casos em que a produção é tão grande que os secadores de armários individuais implicariam demasiado manuseio.

Num sistema alternativo, o material é colocado num transportador de correia que passa através do túnel.

A Figura 5 representa um secador a túnel mais moderno, com ventilação forçada e sistema de controle automático, sendo utilizado para alimentos como massas, cereais, batatas, cogumelos, frutas, etc. O secador consiste de três correias transportadoras movendo-se em uma única velocidade.

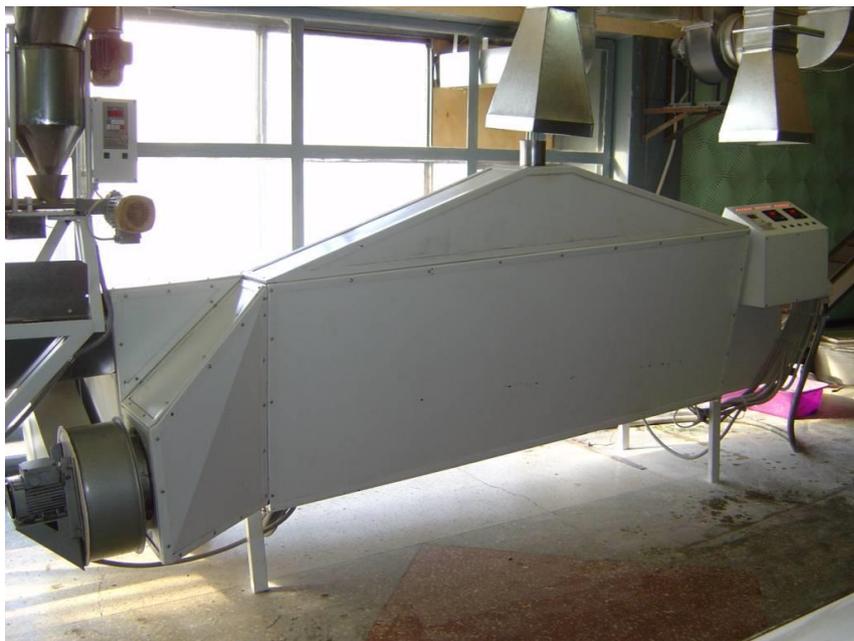


Figura 5 – Secador tipo túnel
Fonte: (JSC DONETSK PRODMASH PLANT, [200-?])

Uma mínima velocidade das correias receptoras facilita a remoção de umidade no início do período de secagem. A umidade é removida pela passagem de ar quente através das malhas do tecido das correias onde se encontra o material a ser secado.

4.3 Secadores transportadores

Este tipo de secador, bem como o modelo a túnel, caracteriza-se pela alteração do regime de um secador de bandeja de descontínuo para contínuo. Isto é feito pelo transporte do material mediante uma esteira transportadora (FIG. 6), ou então, no caso de material sob a forma de folha úmida, pela movimentação deste apoiado em roletes, através do secador.



Figura 6 – Secador transportador
Fonte: (POS PILOT PLANT COP, [200-?])

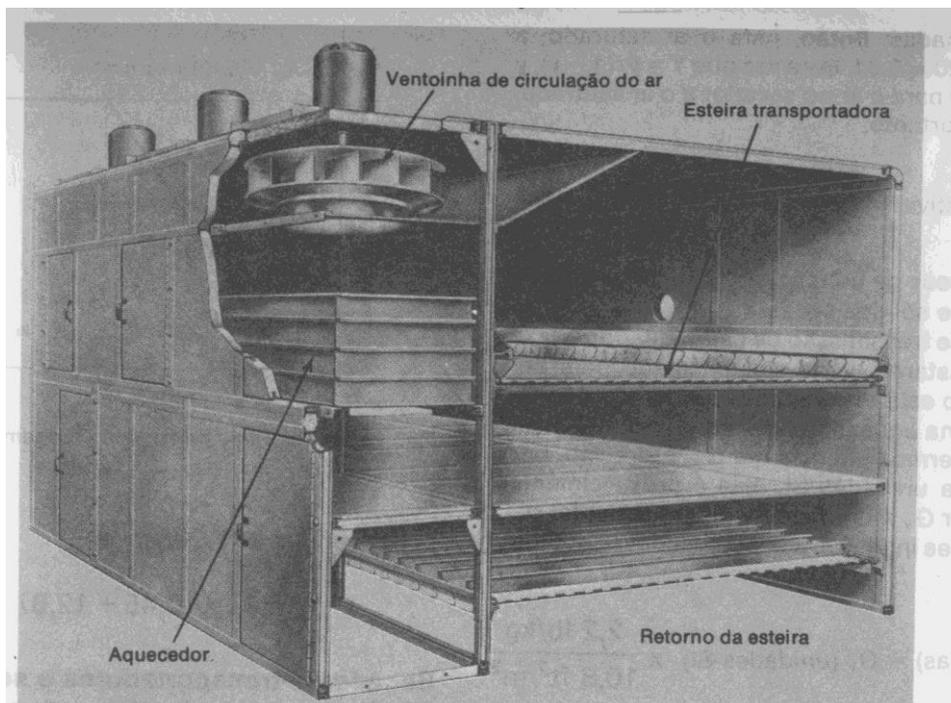


Figura 7 - Secador com esteira transportadora (esquemáticamente explicado).
Fonte: (FOUST; WENZEL; CLUMP, 1982)

Neste caso, as ventoinhas fazem com que o ar passe pelo aquecedor, e em seguida pelo material úmido inserido nas correias transportadoras. O material é transportado ao longo de todo o secador e retorna pelo fundo. O fluxo de ar pode ser transversal ao deslocamento do material, em contracorrente como o material ou em corrente paralela (FIG. 7).

O material fica sujeito a um meio secante de condições variáveis ao longo do percurso de secagem; motivo pelo qual a curva de secagem é bastante alterada. A taxa de secagem, considerada anteriormente constante, agora diminui à medida que a temperatura do ar de secagem diminui, mesmo que a temperatura superficial permaneça constante.

O cálculo da taxa de secagem e do tempo de permanência num secador contínuo exige balanços de entalpia e de massa, além do uso de equações da cinética da transferência de calor e de massa. Os cálculos são reduzidos a pequenos segmentos no interior considerando-se quatro hipóteses básicas que resultam na suposição de que o processo de secagem ocorre inteiramente à temperatura constante, na temperatura de saturação adiabática do ar secante que segue, durante a remoção da umidade, uma curva de temperatura de saturação adiabática constante.

1. Todo o calor se transfere do ar para o material, mediante os mecanismos da convecção; o que exige uma operação quase adiabática e que o calor transferido pela condução e pela radiação seja desprezível.
2. A área de transferência de massa igual à área da transferência de calor; o que não é muito correto uma vez que uma parte do calor é sempre transferida lateralmente e pelos fundos da bandeja ou do sistema de transporte. Somente nos secadores onde o ar de secagem flui através do sólido do processo considera-se a hipótese aprazível.
3. Não ocorre evaporação durante o período inicial de aquecimento ou no período de arrefecimento, acarretando erros dependentes da condição inicial da carga em relação à temperatura de regime permanente mantida durante o período de taxa constante.
4. Há completa remoção de umidade na temperatura de saturação adiabática. Assim, o aquecimento da amostra durante o período de taxa decrescente ocorre depois de o último traço de umidade ter sido removido; o que acontece, de fato, na secagem de material granuloso, com textura arenosa e é considerada uma hipótese seriamente equivocada no caso de materiais porosos ou fibrosos.

4.4 Secadores para sólidos granulados

No caso dos materiais particulados, em que há dificuldade de retê-los numa tela metálica ou numa esteira transportadora com chapas perfuradas, a secagem pode ser realizada, fazendo o material cascatear através da corrente de gás, como se faz no secador rotatório; impelir o mesmo em contracorrente ao gás numa unidade de disposição colunar, o que se observa no secador à gravidade; ou ainda soprá-lo juntamente com a corrente de gás, conforme o secador instantâneo ou *flash*.

4.4.1 Secadores rotatórios

No secador rotatório, os sólidos são derrubados numa corrente contínua, na região do eixo do tambor rotatório, enquanto o ar é injetado através da cascata de grãos. O sólido é elevado por peças suspensoras internas que controlam o cascatear através da corrente de ar. O secador é muitas vezes inclinado, de modo que os sólidos avancem gradualmente desde o bocal de alimentação até o bocal de saída. A seguir, apresenta-se um modelo secador rotatório (FIG. 8).



Figura 8 – Secador rotatório
Fonte: (TECNAL, [200-?])

Utiliza-se gases de combustão, vapor superaquecido ou ar aquecido eletricamente como meio secante. Alguns modelos possuem tubos aquecidos a vapor de água para manter a temperatura do ar e atuar como superfícies de secagem (FIG. 9).



Figura 9 - Vista interna de um secador rotatório, realçando a disposição dos tubos de vapor internos
Fonte: (DRYTECH ENGINEERING, [200-?])

Nos secadores a tambor rotatório, a superfície exposta do sólido é muito maior que a exposta nos secadores de bandejas ou nos túneis secadores, o que resulta numa taxa de secagem muito maior.

A elevada taxa de secagem é uma vantagem quando se pode manter o ar não saturado; o que requer uma grande vazão de ar ou este deve ser aquecido à medida que passa pelo secador. Para tanto, são acoplados a estes secadores tubos aquecidos a vapor, o que confere à curva da temperatura do ar contra umidade uma inclinação significativamente maior do que a da curva de saturação adiabática.

Estes secadores são construídos em grandes dimensões (comprimento e diâmetro), mas para o seu projeto é necessário estimar o tempo de retenção dos sólidos que passam pelo secador. O tempo de retenção, por sua vez, depende da densidade e do ângulo de repouso do sólido, da disposição dos suspensores no secador, da inclinação do secador e da massa do material presente no secador.

O movimento do sólido através do secador é regido por três mecanismos distintos e o seu estudo auxilia na determinação de relações para se determinar as variáveis de interesse no processo.

1. Ação dos suspensores: à medida que o tambor gira, cada partícula é levantada pelos suspensores e depois cai de uma certa altura;
2. Ação do forno giratório: as partículas, ao atingirem a parte de baixo do tambor, ricocheteiam; outras, ao atingirem as demais partículas, misturam-se a estas, enquanto as partículas que não foram levantadas pelos suspensores deslocam-se para frente, rolando umas sobre as outras;
3. O gás de secagem, soprando através do secador, favorece ou dificulta o avanço dos sólidos, de acordo com a direção do fluxo de ar (paralela ou contracorrente).

A carga dos sólidos úmidos nos secadores rotatórios afeta profundamente toda a operação, uma vez que uma quantidade pequena reduzirá a taxa de produção e uma quantidade muito grande provocará uma taxa elevatória irregular e incompleta, o que significa que o produto resultante pode estar úmido. Por isso, recomenda-se a manutenção de 3 a 10% do volume do secador cheio.

Estes equipamentos são aplicados à secagem de grãos, soja, milho, sólidos biológicos e lama, por exemplo. Há uma maior exposição da superfície do sólido, sendo a taxa de secagem maior do que nos equipamentos anteriormente citados. Deve-se ressaltar, porém, que esta somente será uma vantagem se for mantida a insaturação do ar, através de uma elevada vazão de ar ou o aquecimento durante sua passagem pelo secador. A secagem descontínua de sólidos particulados pode ser realizada em secadores rotatórios cônicos, nos quais os sólidos também cascateiam através do meio secante, operam frequentemente sob vácuo, e podem dispor de tubos internos aquecidos. São vantajosos quando se deseja secar materiais termossensíveis ou quando se deseja ter o confinamento integral do vapor. A Figura 10 esquematiza dois secadores rotatórios cônicos a vácuo.



Figura 10 - Secadores rotatórios cônicos a vácuo
 Fonte: (AARON EQUIPMENTS, [200-?])

Os secadores rotatórios cônicos a vácuo são aplicados à secagem de produtos farmacêuticos, materiais cristalinos, inseticidas, pesticidas. Fazem a secagem de polímeros, ou em necessidade de utilização de baixa temperatura, além de serem aplicados a processos com materiais granulares. O aquecimento é indireto e podem funcionar a baixas temperaturas, recuperando o solvente ou não.

4.4.2 Secadores à gravidade

Utilizado para secar sólidos particulados, o secador à gravidade possui chapas aquecidas e é especialmente útil quando o empoeiramento é um problema ou quando se deseja dispor de regiões de temperatura variável. Cada tabuleiro apresenta uma camisa de aquecimento, de modo que o material pode ser aquecido ao passar por algumas chapas e arrefecido ao passar por outras. O meio secante pode ser o ar, um gás inerte, um gás de combustão a pressão atmosférica ou em pressão menor (FIG. 11).

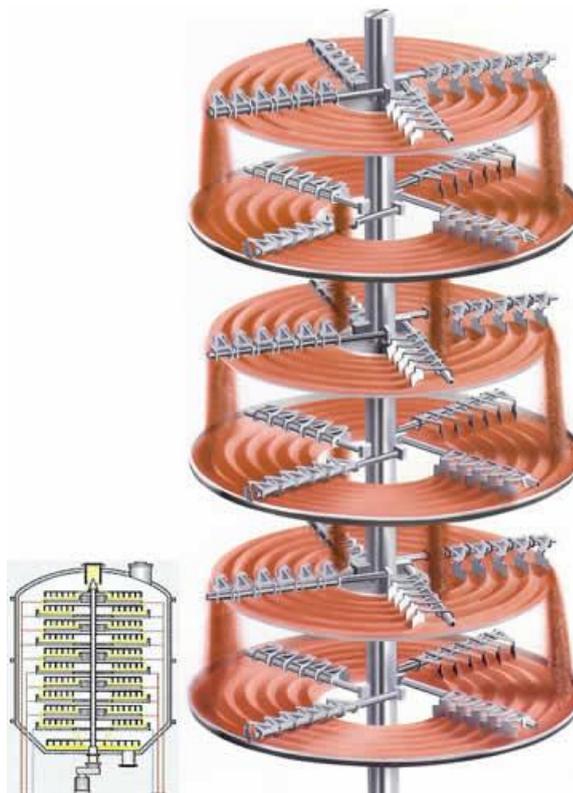


Figura 11 – Secador a gravidade
 Fonte: (PROCESS ENGINEERING, [200-?])

4.4.3 Secadores instantâneos

A secagem instantânea, ou *flash*, é caracterizada pela injeção dos sólidos particulados numa corrente móvel de gás quente. A uma certa distância, a jusante do ponto de carga, os sólidos são separados do gás, usualmente num ciclone coletor. Utiliza-se este mecanismo de secagem quando se deseja secar parcialmente uma pasta ou uma massa úmida usando-se um tempo de contato muito curto.

A Figura 12 apresenta algumas instalações industriais que utilizam os secadores instantâneos.

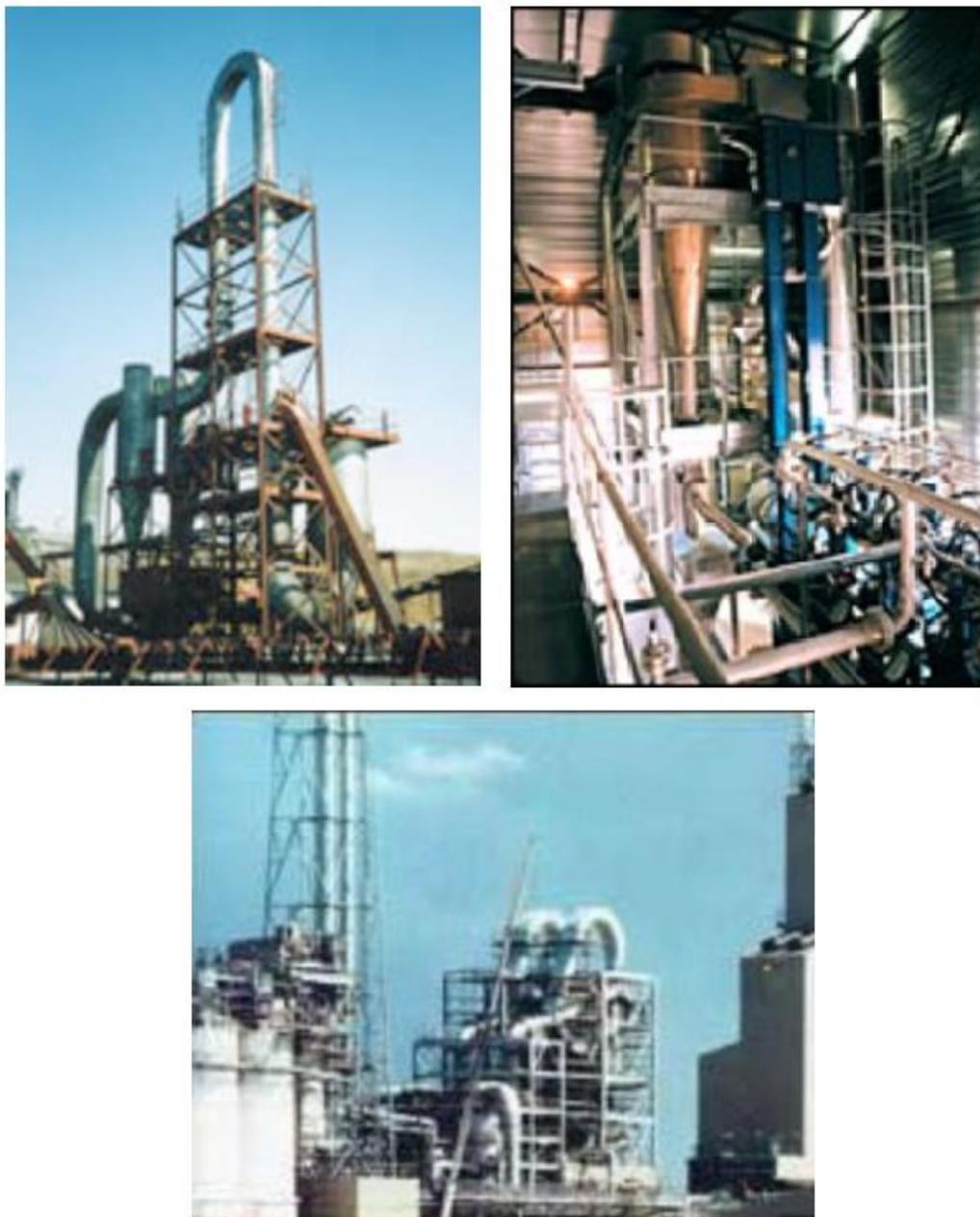


Figura 12 – Secadores instantâneos (flash)
Fonte: (AIRCON SYSTEMS, [200-?])

Observando o diagrama de escoamento representado a seguir, pode-se inferir que a estrutura básica é constituída por um dispositivo de alimentação dos sólidos, um duto que oferece o tempo de residência necessário, e um separador sólido-gás (FIG. 13).

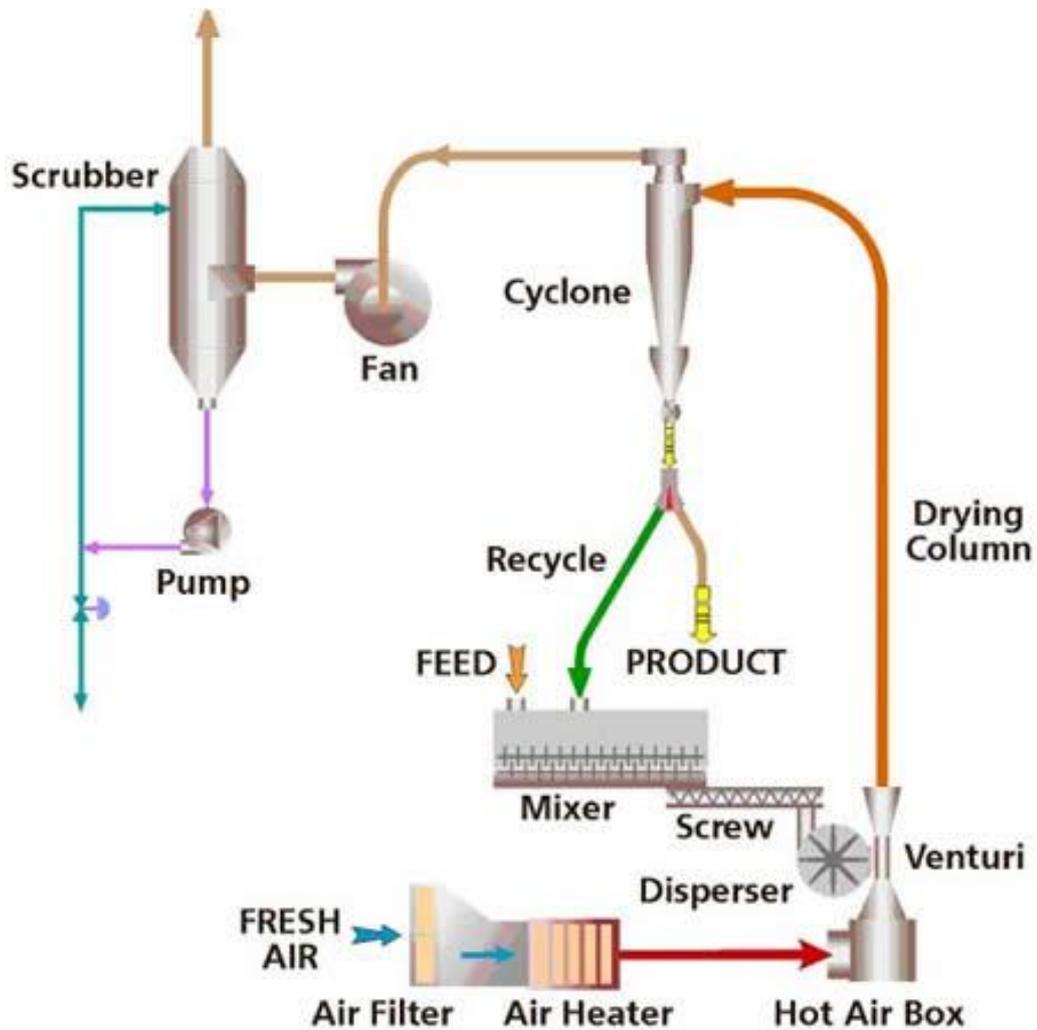


Figura 13 - Instalação de secagem instantânea (*flash*)
 Fonte: (GEA PROCESS ENGINEERING, [200-?])

Quando é desejado aumentar o tempo de contato ou uma secagem adicional do material seco na operação instantânea pode-se adotar um secador de leito fluidizado (FIG. 14).



Figura 14 – Secador de leito fluidizado
 Fonte: (CHEMICALS TECHNOLOGY, [200-?])

4.5 Secadores pulverizadores

Uma maneira prática de evaporar água de uma solução ou de uma suspensão de partículas sólidas consiste em pulverizar a mistura para um recipiente através do qual se faz passar uma corrente de gases quentes. Obtém-se, assim, uma grande área interfacial e, conseqüentemente, uma elevada velocidade de evaporação. O funcionamento de um secador pulverizador é esquematizado na Figura 15.

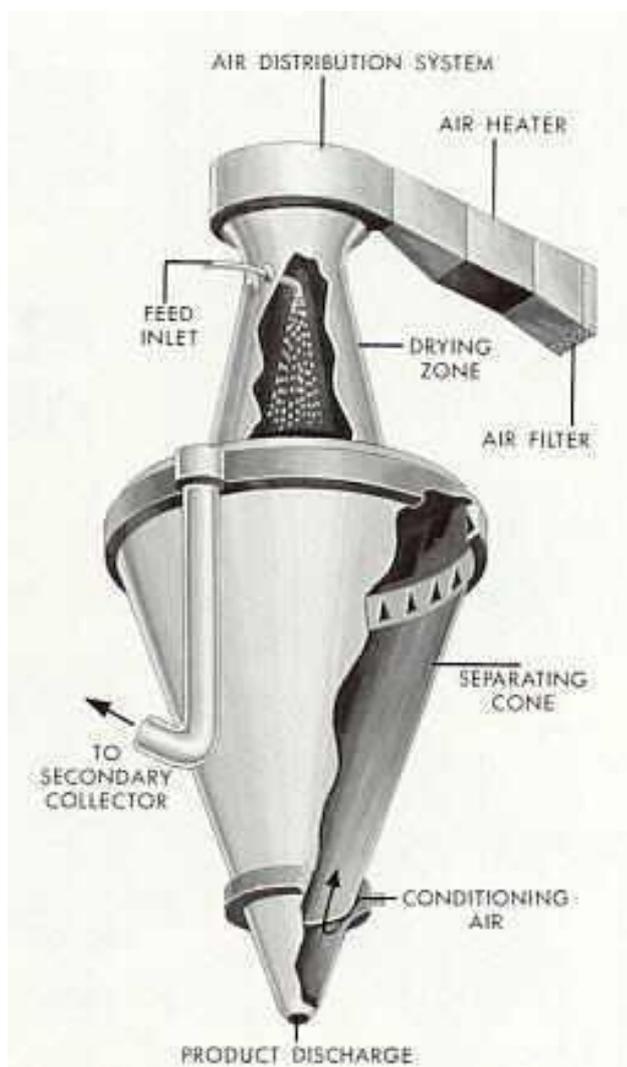


Figura 15 - Funcionamento esquemático de um secador pulverizador
Fonte: (SWENSON TECHNOLOGY, [200-?])

A temperatura das gotas permanece abaixo da temperatura de bulbo úmido do gás que faz a secagem até esta estar quase completa e o processo proporciona, deste modo, uma maneira prática de secar uma variedade enorme de substâncias que possam deteriorar-se a temperaturas elevadas, como leite, café, detergentes, corantes, pesticidas, polímeros, suspensões cerâmicas, plasma de sangue, enzimas, penicilina, amido, alumina, concentrados metálicos, etc.

A qualidade de funcionamento de um secador por pulverização depende do tamanho da gota produzida pelo atomizador e da maneira como o meio gasoso se mistura com as gotas. Define-se, portanto, atomizador como o dispositivo responsável pela desintegração do líquido em gotas confinadas a uma gama de tamanhos especificada e que controla a respectiva distribuição pelo espaço (COULSON, 1968).

Os secadores pulverizadores são relativamente grandes e podem ser pouco eficientes na utilização da energia. Na Figura 16 apresenta-se uma instalação típica destes secadores.

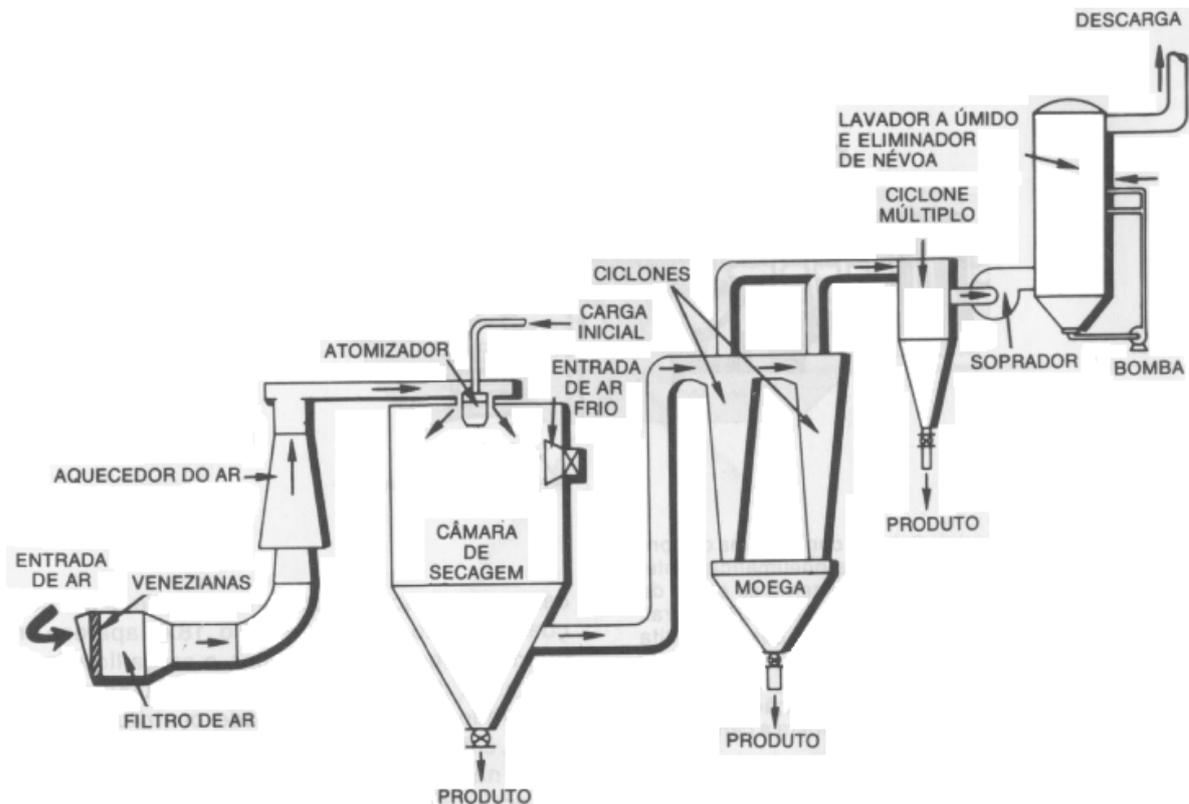


Figura 16 - Fluxograma de um sistema de secagem por pulverização
 Fonte: (FOUST; WENZEL; CLUMP, 1982)

O ar, injetado através de um filtro e de um aquecedor, penetra pelo topo da câmara de secagem, fluindo em corrente paralela com as gotículas a serem secadas, que se formam num bocal pulverizador ou num atomizador a disco rotatório. À medida que as gotículas atomizadas caem, a umidade se evapora no gás quente, e deixa o material sólido constitutivo da partícula. As partículas maiores caem até o fundo da câmara, enquanto as menores são arrastadas pelo gás até os ciclones separadores. As muito finas passam pelo soprador e entram num sistema de lavagem a úmido, sendo que esta suspensão, ou solução, pode retornar à carga inicial para ser recirculada.

A câmara de secagem pode operar em contracorrente com o fluxo de ar e o fluxo de produto, ou ainda ter uma configuração mais complexa. O ar secundário pode entrar na câmara de secagem, ser omitido, ou ainda ser injetado em diversos pontos. O sistema de coleta de produto utiliza-se do ciclone coletor, mas pode também ter um filtro de mangas, ou mesmo um precipitador eletrostático.

Qualquer sistema de secagem a pulverização dispõe das seguintes partes principais: sistema injetor de carga e atomizador, sistema de produção e de injeção de gás quente, câmara de secagem, sistema de separação sólido-gás e sistema de descarga do produto. O projeto de cada um destes sistemas depende do material a ser secado e é influenciado pelos projetos das outras partes da unidade. A Figura 17 apresenta um secador pulverizador.



Figura 17 – Secador pulverizador
Fonte: (MACHINERY, [200-?])

Como o elemento de partida para este processo é a atomização da carga, há enorme vantagem em estudar os vários tipos e projetos de atomizador de modo a escolher apropriadamente para a tarefa a executar, levando-se em conta as propriedades, que vão desde as soluções de produtos químicos, emulsões e dispersões até as polpas e coloides. Dentre as classes principais, destacam-se:

1. Bocais injetores a dois fluidos: usados na secagem à baixa taxa de produção (secadores pilotos e farmacêuticos, por exemplo), quando é desejada uma pequena dimensão de partícula;
2. Bocais injetores a um fluido e alta pressão: operam com maior taxa de produção (porte industrial) e produzem gotículas maiores e mais uniformes;
3. Bocais pneumáticos e de pressão: exigem fluidos completamente homogêneos e que passem através de passagens estreitas, pois caso contrário entupirão o bocal;
4. Atomizadores a disco centrífugo: usados para pulverizar líquidos não homogêneos o suficiente para passar através de um bocal, produzem gotículas de dimensões uniformes e não precisam de uma carga a alta pressão nem atribuem velocidade axial às gotículas pulverizadas.

A escolha do atomizador influencia ainda o projeto da câmara de secagem. Os bocais pulverizam o material numa direção axial e por isso têm que operar numa torre alta, relativamente elevada. Os atomizadores a disco pulverizam em direção radial e, portanto, a torre de pulverização deve ter diâmetro maior, mas pode ser mais curta. Em ambos os casos, a maior parte da secagem ocorre à curta distância do atomizador; se uma partícula atingir a parede da câmara, ela deve estar bem seca para evitar a aderência.

Depois de saírem do atomizador, as gotículas de líquido caem através do gás quente da câmara de secagem. Se a carga fosse água pura, a gotícula seria evaporada na temperatura de bulbo úmido do ar de secagem, até desaparecer completamente. Na secagem de soluções ou de emulsões, a partícula secante atinge uma temperatura mais elevada que a temperatura de bulbo úmido, à medida que a secagem avança.

Inicialmente, o líquido evapora da superfície da gotícula. A superfície, relativamente seca, pode formar um revestimento rígido através do qual deve haver a difusão do líquido interno. Esta difusão é um processo muito mais lento que o da transferência de calor através do revestimento, para o interior da gotícula, e por isto o líquido tem a possibilidade de evaporar-se no próprio interior do sistema. Desta maneira, a gotícula incha, o revestimento fica mais fino e a difusão através dele torna-se mais rápida.

O tempo de secagem é função da temperatura, da umidade e das condições de escoamento do gás de secagem, das dimensões das gotículas produzidas pelo atomizador e das propriedades do material que está sendo processado. Além disso, as propriedades do produto acabado dependerão dos mesmos fatores.

4.6 Secagem de lamas e pastas grossas

Para os processos deste tipo de material, por não apresentarem uma mobilidade livre, deve-se utilizar agitadores mecânicos. Os equipamentos operam normalmente em batelada. Quando se tem alto teor de umidade, tem-se um material de baixa viscosidade, escoando mais livremente, porém à medida que este material vai secando a viscosidade aumenta e o material tende a tornar-se mais pastoso. Depois de certo tempo de secagem, o material se torna uma massa densa, até que se quebra formando torrões que por sua vez se movem pelo secador tornando-se aos poucos um material granulado.

4.6.1 Secadores a parafusos geminados

A alimentação úmida é agitada pelas lâminas giratórias aquecidas, fazendo com que haja uma maior exposição das áreas às superfícies de aquecimento. Isto resulta na vaporização da umidade levando o material à umidade desejada.

Estes equipamentos são aplicados na secagem de sólidos cristalinos, sólidos pastosos, lamas, lixo orgânico e alguns produtos inorgânicos. Exemplos podem ser visualizados na figura a seguir (FIG. 18).



Figura 18 - Secadores a parafusos geminados
Fonte: (NARA PADDLE DRYER, [200-?])

Este modelo apresenta como vantagens a aplicabilidade a uma grande gama de alimentação (exceto líquidos e principalmente produtos granulares e pós); e a grande capacidade de evaporação, alta eficiência térmica, possível secagem parcial, operação contínua e instalação compacta.

4.6.2 Secadores de tambor

Realizam o processo de secagem de materiais pastosos continuamente. Constam de cilindros horizontais giratórios aquecidos internamente por vapor d'água. Nesses processos, uma produção em grande escala somente pode ser obtida quando se tem uma camada de sólido secante espessa, densa e contínua.

O filme molhado alimentado (em forma de líquido ou pasta) é aplicado ao cilindro de metal rotatório, dentro do qual, aquecedores estão presentes. O filme de material seca até o nível final de umidade e é retirado.

Os secadores de tambor duplo possuem uma alimentação do material lamoso que se dá entre os dois tambores girantes como mostrado na Figura 19. Pode-se observar o sentido de rotação dos tambores e os sistemas de alimentação e descarga.

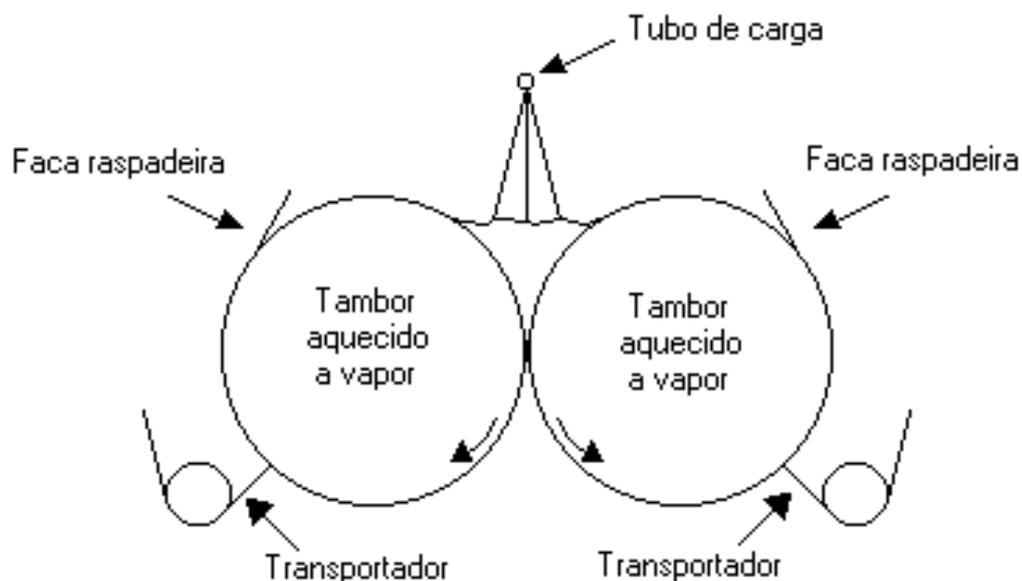


Figura 19 - Esquema de um secador de tambor duplo
Fonte: (FOUST; WENZEL; CLUMP, 1982)

Os secadores de tambores geminados são similares aos de tambor duplo, os tambores girando nesse caso em sentidos contrários, favorecendo a quebra de bolhas e homogeneização do revestimento da suspensão sobre os tambores. O tambor simples que funciona de modo semelhante aos anteriormente expostos. A Figura 20 esquematiza o funcionamento de algumas variações deste tipo de equipamento.



Figura 20 – Esquema de secadores de tambor
Fonte: (FOUST; WENZEL; CLUMP, 1982)

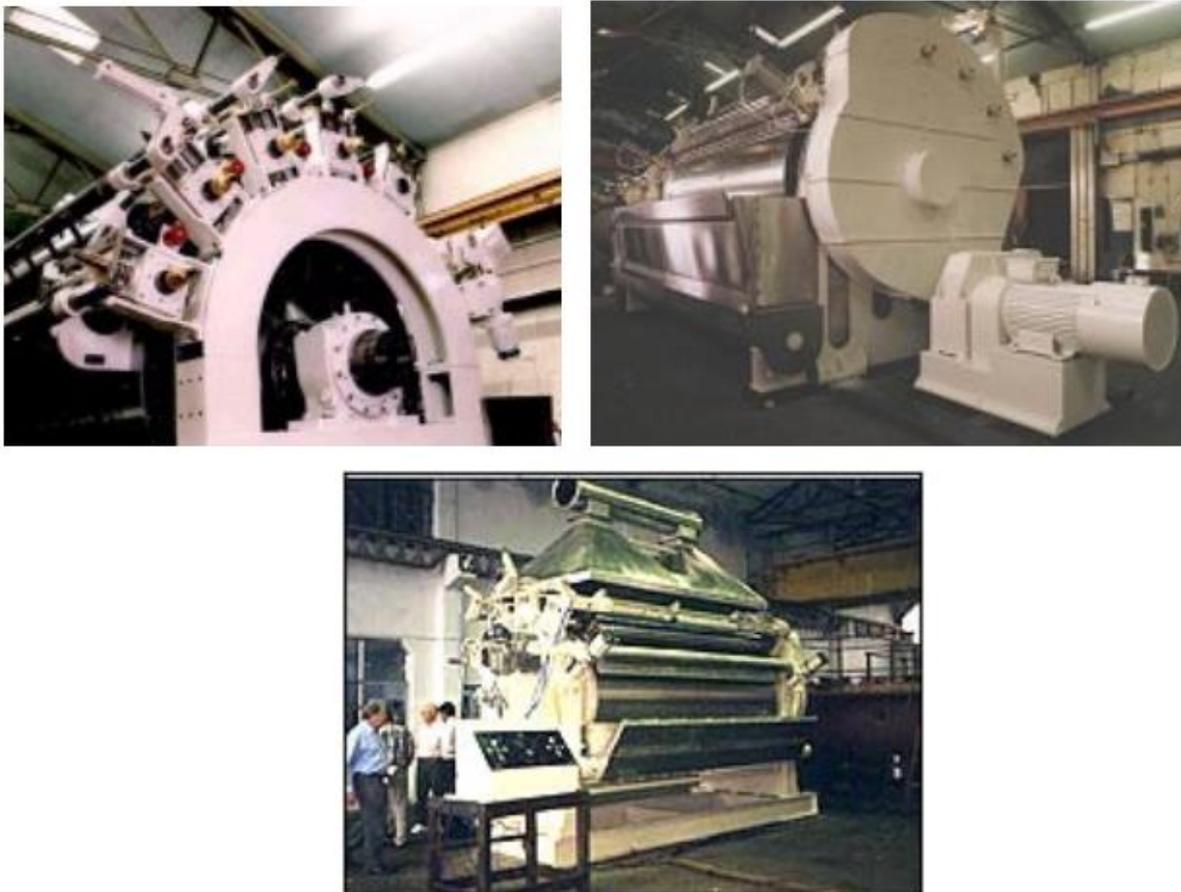


Figura 21 – Secadores de tambor
Fonte: (SIMON DRYERS, [200-?])

Aplicados nas áreas de laticínios, alimentos para bebês, cereais matinais, polpas de frutas e vegetais, amidos, materiais inorgânicos, sais, cola animal, fermentos, alguns produtos químicos e biológicos; possuem vantagens como produto obtido granular, em flocos; secagem uniforme devido à aplicação uniforme do filme; alta eficiência térmica; operação contínua e instalação compacta.

4.7 Secadores infravermelhos

A energia dos raios infravermelhos é utilizada para a secagem dos materiais, onde, considerando o grau de eficiência desses raios, o processo de secagem desses equipamentos torna-se consideravelmente econômico comparando-se com a secagem com ar quente.

O princípio desses equipamentos consiste em um tambor horizontal provido de uma hélice interna que transporta o material sob uma fonte de luz infravermelha. A intensidade de aquecimento e rotação da hélice (cerca de 2 rpm) podem ser variadas de acordo com o processo.

O produto a ser secado é inserido no tubo de dosagem de onde vai para o interior do sistema. O tempo de secagem é determinado pela velocidade. A temperatura é permanentemente controlada e a capacidade do radiador reajustada se necessário. O material é agitado pela rotação e ao mesmo tempo aquecido pelo infravermelho. O comprimento de onda dos raios é ajustado ao processo. A radiação quase não é absorvida pelo ar, aquecendo o material e vaporizando a água da superfície e interior do material (FIG. 22).

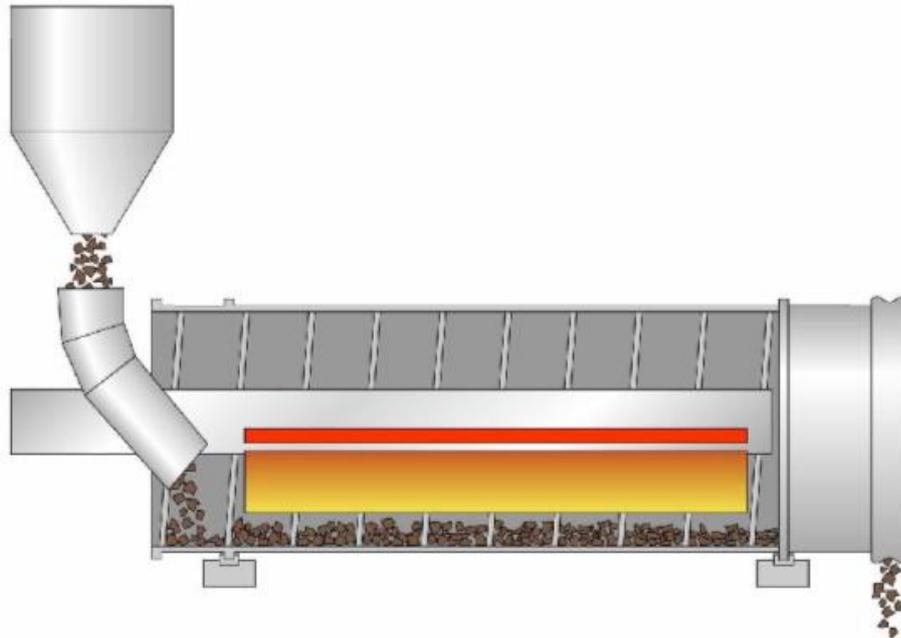


Figura 22 – Secador infravermelho
Fonte: (INTEREMPRESAS, [200-?])

Os secadores infravermelhos são aplicados na secagem de plásticos, filmes, tecidos, pós, fibras de Politereftalato de etila (PET), garrafas PET, fibras de madeira e farinhas. Em relação aos sistemas de secagem convencionais, possui vantagens como a redução no tempo de secagem de horas para minutos; processo integralmente contínuo; tratamento cuidadoso com o material; não há separação de material com diferentes densidades; alta eficiência, reduzindo o consumo de energia e fácil instalação. As figuras a seguir exemplificam estes modelos de equipamentos e o seu funcionamento.



Figura 23 – Secadores infravermelho
Fonte: (KREYENBORG GMBH, [200-?])

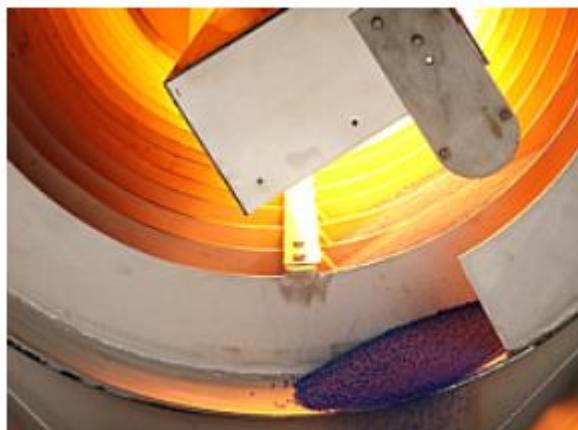


Figura 24 – Vista interna do tambor de um secador infravermelho
Fonte© KREYENBORG GMBH, [200-?])

Conclusões e recomendações

A secagem de materiais é, muitas vezes, a última operação em um processo industrial e corresponde a uma etapa essencial, seja por reduzir o custo de transporte, conferir determinadas propriedades desejadas ao material ou torná-lo mais manejável, ou ainda, por evitar a presença de umidade que pode deteriorar o produto ou provocar corrosão nas instalações.

Os secadores discutidos no presente trabalho representam apenas uma parcela dos modelos disponíveis no mercado. Apesar do objetivo comum, às vezes estes apresentam diferenças fundamentais com relação aos mecanismos envolvidos na operação de secagem, mas na maioria dos casos a diferenciação se dá através de elementos secundários.

O Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT informa que já existem, no banco de informação, Respostas Técnicas e Dossiês que abordam este assunto e podem complementar as informações aqui prestadas.

Para visualizar esses arquivos, acesse o *site* <www.respostatecnica.org.br> com seu *login* e senha e realize a Busca Avançada utilizando as palavras-chave para encontrar os arquivos recomendados para leitura: conservação; secadora de alimentos; secagem.

Referências

AARON EQUIPMENT COMPANY. Disponível em: <<http://www.aaronequipment.com>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

AIRCON SYSTEMS. Disponível em: <http://www.airconsystems.net/flash_dryer.html>. Acesso em: 14 ago. 2007.

ARROWHEAD. Disponível em: <<http://www.arrowhead-dryers.com>>. Acesso em: 9 ago. 2007.

CHEMICALS TECHNOLOGY. Disponível em: <<http://www.chemicals-technology.com>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

COULSON, J. M.; RICHARSON, J. F. **Tecnologia química – operações unitárias**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1968. vol. 2.

CRIMAR HOLDINGS. Disponível em: <<http://www.crimar.org>>. Acesso em: 9 ago. 2007.

DRYTECH ENGINEERING. Disponível em: <http://www.drytecheng.com/indirect_drying_technology_main.htm>. Acesso em: 14 ago. 2007.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W. *et al.* **Princípio das operações unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

FTS SYSTEMS. Disponível em: <<http://www.ftssystem.com/lyostarII.htm>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

GEA PROCESS ENGINEERING. Disponível em: <<http://www.gea-pen.nl>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

INTEREMPRESAS. Disponível em: <<http://www.interempresas.net/>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

JSC DONTSK PRODMASH PLANT. Disponível em: <<http://www.prodmash.donetsk.ua>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

KOMLINE-SANDERSON. Disponível em: <<http://www.komline.com/>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

KREYENBOURG GMBH. Disponível em:
<<http://www.kreyenborg.com/en/kreyenborg/index.php>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

MACHINERY & EQUIPMENT COMPANY. Disponível em:
<http://www.machineryandequipment.com/espanol/featured/equipos_farmaceuticos.asp>. Acesso em: 14 ago. 2007.

MELONI. Disponível em: <<http://www.meloni.com.br>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

NARA PADDLE DRYER. Disponível em: <<http://www.nara-m.co.jp/english/seihin/npd.html>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

POS PILOT PLANT CORP. Disponível em:
<http://www.pos.ca/news/article.php?article_id=37>. Acesso em: 14 ago. 2007.

PROCESS ENGINEERING. Disponível em: <<http://www.processengineering.com.au>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

PROCESS HEATING. Disponível em: <<http://www.process-heating.com>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

PRODMASH. Disponível em: <<http://www.prodmash.donetsk.ua>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

SWENSON TECHNOLOGY. Disponível em:
<<http://www.swensonotechnology.com/dryers.html>>. Acesso em: 9 ago. 2007.

TECNAL. Disponível em: <<http://www.tecnal.ind.br>>. Acesso em: 9 ago. 2007.





Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

www.respostatecnica.org.br