

## CAPÍTULO 5

### SECAGEM E SECADORES

Juarez de Sousa e Silva  
Adriano Divino Lima Afonso  
Sérgio Maurício Lopes Donzelles

#### 1. DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA

A secagem é uma das etapas do pré-processamento dos produtos agrícolas que tem por finalidade retirar parte da água neles contida. É definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. A remoção da umidade deve ser feita em um nível tal que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado e deve ser feita de modo a preservar a aparência, as qualidades nutritivas e, no caso de grãos, a viabilidade como semente.

Para entender adequadamente os fundamentos da secagem de grãos e o controle das técnicas, o leitor deve, primeiramente, ter conhecimento dos princípios de psicrometria (capítulo 3 - Princípios Básicos de Psicrometria), teor de umidade e umidade de equilíbrio (capítulo 4 - Indicadores da Qualidade dos Grãos), quantidade e movimentação do ar (capítulo 10 – Seleção e Construção de Ventiladores e capítulo 11 - Aeração de Grãos Armazenados).

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta à medida que cresce a produção, devido às seguintes vantagens:

- permite antecipar a colheita, disponibilizando a área para novos cultivos;
- minimiza a perda do produto no campo;
- permite armazenagem por períodos mais longos, sem o perigo de deterioração do produto;
- o poder germinativo é mantido por longos períodos; e
- impede o desenvolvimento de microrganismos e insetos.

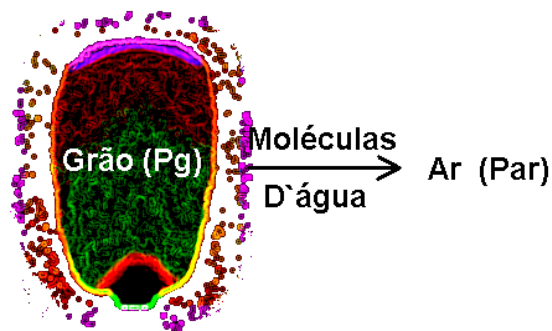
#### 2. PRINCÍPIOS GERAIS DA SECAGEM

Durante a secagem, a retirada da umidade é obtida pela movimentação da água, decorrente de uma diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve (Figura 1). A condição para que um produto seja submetido ao processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto ( $p_g$ ) seja maior do que a pressão do vapor d'água no ar de secagem ( $p_{ar}$ ). As seguintes observações podem ser feitas:

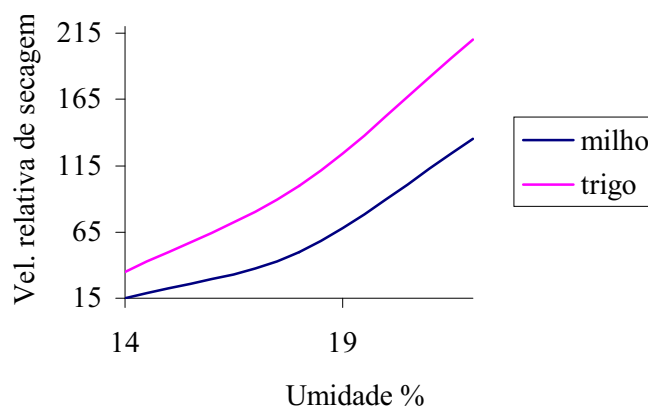
- 1 - se  $p_g > p_{ar}$ : ocorrerá secagem do produto;  
se  $p_g < p_{ar}$ : ocorrerá umedecimento do produto; e  
se  $p_g = p_{ar}$ : ocorrerá o equilíbrio higroscópico.
- 2 - A velocidade de secagem de um produto depende, além do sistema de

secagem utilizado, das características de secagem do grão individualmente. Em geral, para os grãos pequenos, a velocidade de secagem é maior que para grãos de grandes dimensões. Grãos desprovidos das camadas protetoras (sementes nuas) secam mais rapidamente do que aqueles que apresentam a estrutura integral. Os grãos de milho, por serem maiores que os de arroz e trigo, secam mais lentamente. Por outro lado, apesar de apresentarem tamanho comparável, os grãos de arroz em casca secam mais lentamente que os de trigo. Da mesma maneira, pode-se fazer comparações com os grãos de café. Se não forem convenientemente separados por estado de maturação, tamanho e condição física semelhantes, dificilmente se terá um produto final (café beneficiado) que apresente secagem homogênea e mesmo ponto de torra.

Para efeito de comparação, apresentam-se, na Figura 2, as velocidades relativas de secagem de dois tipos de grãos, submetidos à determinada condição de secagem. Grãos com menores tamanhos e com menor conteúdo de umidade diminuem as velocidades relativas de secagem. Outro fenômeno verificado nos produtos agrícolas é a velocidade da absorção de água pelo grão, que é muito mais lenta do que na dessorção.



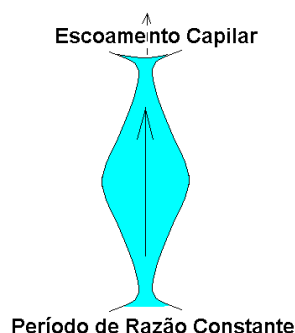
**Figura 1- Representação da movimentação da água durante a secagem.**



**Figura 2 - Velocidades relativas de secagem para milho e trigo.**

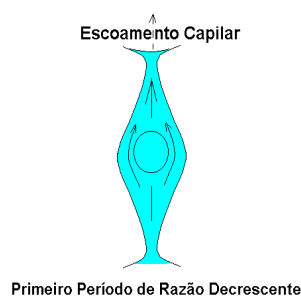
Existem várias hipóteses para a movimentação da água durante a secagem, e a mais aceita é a do movimento capilar (gargalo). Segundo esta, o processo de secagem que ocorre no interior do produto pode ser dividido em dois períodos, um denominado período de razão constante e outro de período de razão decrescente, o qual, por sua vez, pode ser caracterizado por mais períodos, como apresentado a seguir:

- a) **Período de razão constante:** quando o produto se encontra completamente úmido, no início da secagem a água escoar, na fase líquida, sob um gradiente hidráulico (Figura 3) e, em condições naturais, à temperatura do produto se iguala a temperatura de bulbo molhado. Com a retirada da umidade, ocorre decréscimo no diâmetro dos poros e capilares e, conseqüentemente, decréscimo de volume do produto aproximadamente igual ao volume da água evaporada. A energia utilizada para a secagem nesse período é praticamente igual à necessária para evaporação da água em uma superfície livre. Com exceção dos cafés (cerejas e verdes) recém-saídos do lavador, este período não é observável em produtos agrícolas, como grãos, porque, ao serem colhidos, este período já ocorreu no campo, estando, portanto, a secagem no período de razão decrescente.



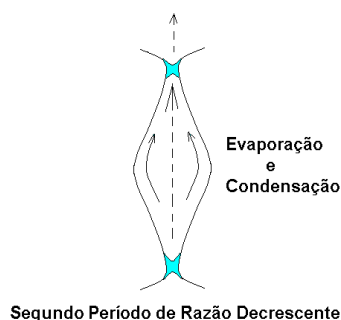
**Figura 3 – Representação da movimentação da água de um produto no período de razão constante.**

- b) **Primeiro período de razão decrescente:** à medida que a secagem prossegue e tenha passado pelo ponto de umidade crítica, teor de umidade em que a água deixa de comportar-se como água livre, o teor de umidade decresce e a água na fase líquida faz a ligação entre as partículas sólidas (produto), formando as pontes líquidas. Apesar de poder ocorrer escoamento de água na fase de vapor, o escoamento é predominantemente capilar (Figura 4). A temperatura do produto atinge valores superiores à temperatura de bulbo molhado.



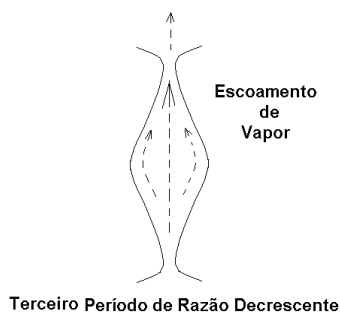
**Figura 4 - Movimentação da água durante o primeiro período de razão decrescente.**

- c) **Segundo período de razão decrescente:** a água existente nos gargalos dos poros pode migrar, arrastando-se ao longo das paredes capilares ou evaporando e condensando, sucessivamente, entre as pontes líquidas (Figura 5). A pressão parcial de vapor decresce e a contração de volume do produto continua, porém em menor intensidade.



**Figura 5 - Movimentação da água durante o segundo período de razão decrescente.**

- d) **Terceiro período de razão decrescente:** a secagem ocorre no interior do produto. O teor de umidade de equilíbrio é atingido quando a quantidade de água evaporada se iguala à quantidade condensada (Figura 6).



**Figura 6 - Movimentação da água durante o terceiro período de razão decrescente ou durante o equilíbrio higroscópico.**

**3. SISTEMAS DE SECAGEM**

Devido à inexistência de uma classificação oficial e apenas por questões didáticas, os métodos de secagem serão classificados e estudados segundo a seqüência a seguir:

Sistemas de secagem	Natural – no campo, na própria planta				
	Artificial	Ventilação Natural	Terreiros e paióis		
			Secagem Solar		
			Outros		
		Ventilação Forçada	Ar Natural		
			Altas Temperaturas	Quanto aos fluxos	Camada fixa
					Cruzados
					Concorrentes
					Contra-correntes
					Cascata
					Rotativo
					Fluidizado
					Solar híbrido
			Baixas Temperaturas	Quanto à operação	Intermitentes
					Contínuos
Sistemas Combinados					
Seca-aeração					
Convecção					

A secagem natural é caracterizada pela secagem do produto no campo, na própria planta, sem a interferência do homem.

A secagem artificial é caracterizada pela utilização de processos manuais ou mecânicos tanto no manejo do produto quanto na passagem do ar através da massa de grãos. No caso do terreiro e do paiol, a secagem ocorre pela ventilação natural (ação dos ventos), mas na maioria dos casos o ar é forçado por meio de ventiladores. Em alguns secadores o ar de secagem é movimentado por meio de correntes convectivas.

Na secagem com ventilação forçada, podem-se empregar baixa temperatura, alta temperatura, secagem combinada e outros.

Secagem em baixas temperaturas é um método artificial de secagem em que se utiliza ar natural ou ar levemente aquecido (até 10 °C acima da temperatura ambiente).

A secagem com alta temperatura é aquela em que o ar de secagem é aquecido a uma temperatura superior a 10°C acima da temperatura ambiente. Naturalmente, este limite não é rígido, mas esta é a diferença que caracteriza o processo como não sendo mais de baixa temperatura.

A secagem combinada consiste em utilizar secadores em altas

temperaturas na fase em que o produto apresenta alto teor de umidade. A partir de um teor de umidade preestabelecido, que é função das condições ambientais, o produto é transferido ainda quente para um sistema de baixa temperatura, onde a secagem será completada.

A secagem por convecção natural utiliza alta temperatura, sendo necessários trocadores de calor entre o ar de combustão e o ar de secagem. Nos secadores por convecção não são usados ventiladores. O ar atravessa a massa de grãos por diferença de densidade (ver Secagem de Cacao no capítulo 17).

#### **4. SECAGEM NATURAL**

A secagem natural é um método amplamente utilizado em regiões tropicais subdesenvolvidas e/ou em desenvolvimento. Várias razões justificam essa utilização, como o desconhecimento de técnicas mais modernas pela maioria dos agricultores. Normalmente, as condições climáticas nestas regiões permitem a secagem natural; além disso, os investimentos para realizá-la são mínimos.

O início do processo de secagem ocorre logo após a maturação fisiológica do produto, quando este apresenta elevado teor de umidade. A movimentação do ar é feita pela ação do vento e a energia para evaporação de umidade provém do potencial de secagem do ar e da incidência direta da energia solar.

Embora, com o passar do tempo, alcance um teor de umidade adequado para armazenagem, o produto fica sujeito ao ataque de pragas, ao tombamento de plantas e às intempéries, que contribuem para acarretar grandes perdas e qualidade do produto. Uma grande desvantagem da secagem natural no campo é que o solo fica ocupado por muito tempo, retardando as operações de preparo do solo para novo cultivo. No caso de culturas perenes como o café, o retardamento da colheita provoca um ciclo bianual de produtividade. Além de facilitar o desenvolvimento e ataque de pragas, o trabalho de colheita fica dificultado, e, no caso de colheita mecânica, o baixo teor de umidade do produto faz com que, durante a colheita e a debulha, apareçam grandes quantidades de danos mecânicos e perdas no campo.

Como não é técnica aconselhável e pouco utilizada na produção comercial da maioria dos grãos, não será objeto de estudo neste livro.

#### **5. SECAGEM ARTIFICIAL**

Na secagem artificial existe a interferência do homem, acelerando e melhorando o processo. Ela pode ser feita com ventilação natural, ventilação forçada e convecção natural.

##### **5.1. Ventilação Natural**

**a) Secagem em terreiro:** difere da secagem natural simplesmente pelo fato de o produto ser retirado da planta e espalhado em camadas de espessura geralmente inferior a 5 cm em um pátio previamente preparado, que pode ser de concreto, asfalto, alvenaria ou de terra batida, denominado terreiro. A energia utilizada para a remoção da umidade é proveniente da radiação solar e da entalpia

do ar. No Brasil, além do café, o produto de maior expressão que utiliza esse método de secagem é o cacau.

Maiores detalhes sobre a secagem em terreiros e suas variações serão vistos nos capítulos 7 e 17 (Secagem de Grãos com Energia Solar e Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas, respectivamente).

A secagem em terreiros apresenta a desvantagem da dependência dos fatores climáticos, que, se forem desfavoráveis, retardam o processo e propiciam a infecção do produto por microrganismos que causam a deterioração e depreciam o produto.

### **5.2. Ventilação Forçada**

A secagem de grãos em silos com ventilação forçada utilizando apenas ar natural ou com baixa temperatura é um processo lento. A baixa velocidade de secagem é devida ao pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos e à dependência da capacidade de secagem do ar em estado natural. Por ser realizada em silo, é também entendida como secagem durante o armazenamento, pois, após a secagem, o produto pode permanecer armazenado no mesmo silo.

O silo secador-armazenador (Figura 7) apresenta algumas características especiais que não são exigidas para os silos empregados apenas para a armazenagem: o piso deve ser todo de chapas metálicas perfuradas, com no mínimo 15% de área perfurada, para promover a distribuição uniforme do ar; e o ventilador deve fornecer quantidade de ar suficiente para realizar a secagem de toda a massa de grãos sem que ocorra a deterioração, e as dimensões do silo (diâmetro e altura) e o produto a ser armazenado determinam a potência do ventilador a ser usado.

Como a pequena quantidade de ar por unidade de massa de grão torna o processo lento e baixas temperaturas do ar diminuem a capacidade de evaporar a água do produto, o processo é dificultado em regiões de alta umidade relativa. Algumas vezes utilizam-se fontes suplementares de aquecimento (resistência elétrica, fornalha, energia solar, entre outras) para contornar este problema, que pode, no entanto, provocar uma supersecagem que resulta em prejuízo para o usuário. Este problema pode ser solucionado pela adaptação de um umidistato e de um termostato ao plenum, para controlar o funcionamento da fonte de aquecimento.

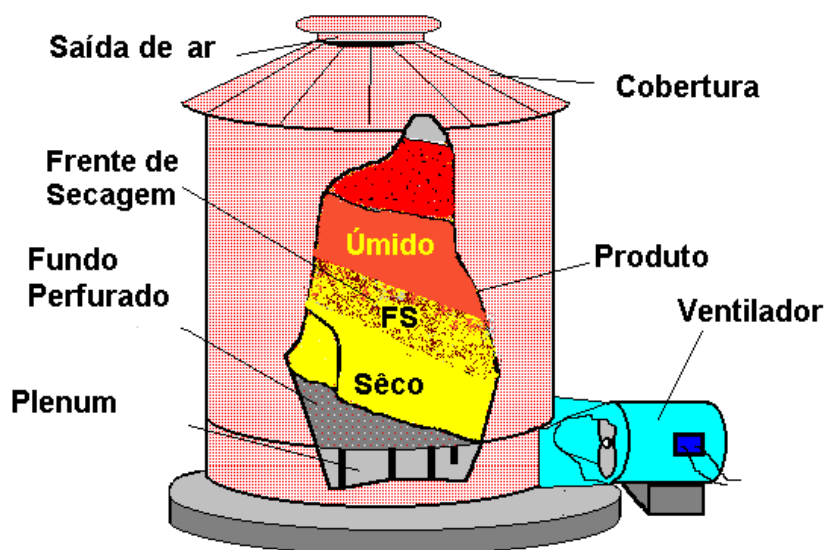
Normalmente, na secagem com ar natural, o potencial de secagem do ar ambiente e o pequeno aquecimento provocado pelo ventilador (2 a 3 °C) são suficientes para propiciar a obtenção do teor de umidade final recomendado para um armazenamento seguro. Sistemas de secagem com ar natural e em baixas temperaturas devidamente projetados e manejados são métodos econômicos e tecnicamente eficientes.

A secagem com ar natural ou com baixa temperatura inicia-se na camada inferior do silo e vai progredindo até atingir a última camada, na parte superior. Durante este período distinguem-se três camadas de umidade (Figura 7).

Na primeira camada, formada pelos grãos secos, o produto já atingiu o equilíbrio higroscópico com o ar. Na segunda, denominada frente de secagem, está ocorrendo a transferência de umidade do produto para o ar. A espessura desta faixa varia geralmente de 30 a 60 cm.

A terceira faixa é formada por grãos úmidos, cujo teor de umidade está próximo ao inicial, pois, ao passar por essa camada, o ar está com sua capacidade de secagem esgotada. A temperatura, nesta camada, normalmente é inferior à temperatura do plenum, uma vez que o ar é resfriado devido à troca de calor com o produto na frente de secagem.

O cálculo da vazão do ar de secagem e a escolha dos equipamentos devem ser feitos com muito cuidado. A vazão deve ser tal que permita à frente de secagem alcançar as camadas superiores sem ocorrência de deterioração. A Figura 8 mostra o tempo permissível de armazenamento (TPA) para que o produto (milho), com diferentes teores de umidade, permaneça no processo à baixa temperatura sem a ocorrência de deterioração.



**Figura 7 – Silo para secagem com ar natural ou com baixa temperatura, mostrando a frente de secagem (FS).**

### 5.3. Manejo e Recomendações para Ventilação em Silos Secadores

- a) Utilizar um ventilador com fluxo de ar de acordo com o teor de umidade inicial dos grãos, conforme Tabela 1.
- b) Para o carregamento adequado de um silo com milho ou café despulpado com teor de umidade de 18% ou 20% b.u., oriente-se pela Tabela 2.



Tabela 1 - Fluxo de ar em função da umidade inicial do produto

Produto	Umidade Inicial (%, base úmida)	Fluxo (m <sup>3</sup> de ar.min <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> de grão)
Milho, feijão e arroz	18 - 20	1,5
Café coco	20 - 22	2,5
Café despulpado	20 - 22	1,5

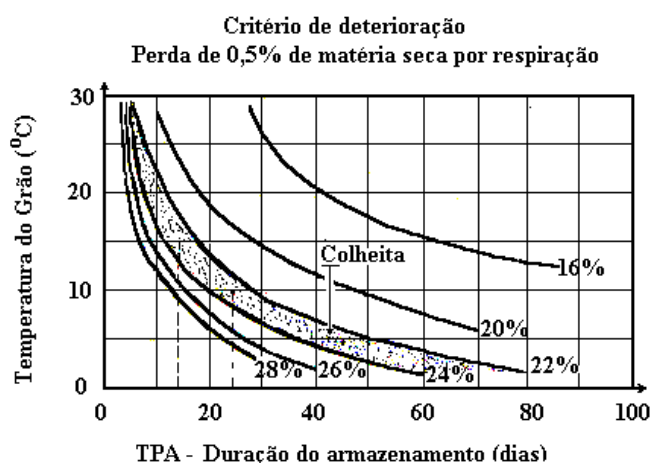


Figura 8 – Diagrama de Steele e Saul, para conservação do milho.

#### 5.4. Formas de Carregamento do Silo

O carregamento do silo, durante a secagem com ar natural ou com baixa temperatura, pode ser conduzido de três modos, conforme a disponibilidade do sistema operacional implantado:

a) **Enchimento em uma etapa:** consiste em carregar o silo em até cinco dias, tempo relativamente curto, uma vez que, dependendo das condições atmosféricas, este método demanda períodos superiores a 25 dias para o término da secagem.

Vantagens:

- pouca exposição aos danos próprios da manipulação (danos mecânicos), devido à pouca movimentação do produto;
- custos operacionais reduzidos em regiões de baixa umidade relativa;
- demanda de pouca mão-de-obra; e
- o recebimento do produto não fica condicionado ao andamento da secagem do material existente no silo.

Desvantagens:

- devido ao longo período de secagem, as camadas superiores correm o

risco de deterioração quando mantidas com altos teores de umidade (Tabela 3), podendo, em alguns casos, ocorrer condensação de água, agravando ainda mais o problema;

- risco de supersecagem nas camadas inferiores, quando utilizada fonte suplementar de aquecimento sem um controle adequado; e
- exige acompanhamento constante durante a secagem.

b) **Enchimento por camadas:** é condicionado ao teor de umidade do produto. Uma nova camada só é adicionada se a última camada já estiver parcialmente seca. Procede-se desta maneira até atingir a altura-limite estabelecida pela capacidade do silo e pelo fluxo do ar de secagem (Tabelas 1 e 2). Assim, as primeiras camadas colocadas na célula, que geralmente têm maior teor de umidade, receberão maiores fluxos de ar de secagem devido à pequena espessura da camada. A última camada, adicionada normalmente, terá o menor teor de umidade inicial e receberá o menor fluxo de ar de secagem. A quantidade de grãos a ser colocada de cada vez dependerá da velocidade da frente de secagem, do teor de umidade inicial dos grãos e da temperatura do ar que sai da zona de secagem. Este método exige mais de um silo secador para o bom andamento da colheita.

Vantagens:

- secagem mais rápida, quando comparada ao método de enchimento em uma etapa;
- menores riscos de deterioração;
- o fluxo mínimo necessário é inferior ao do método de enchimento em uma etapa; e
- o produto, em certos casos, entra no silo com teor de umidade inferior, devido à pré-secagem no campo.

Desvantagem:

- requer maior atenção no controle do processo de secagem.

c) **Camada única:** consiste em carregar o silo com camada única de até 1,0 m de espessura e realizar a secagem. A diferença entre este e o método anterior é que, no método de camada única, retira-se a camada seca para depois proceder ao novo carregamento. Este método é mais utilizado para produtos de elevado valor comercial ou produtos que não suportam a pressão devido ao peso da camada.

Vantagens:

- secagem rápida de cada uma das camadas;
- menores riscos de deterioração durante a operação de secagem; e
- maiores fluxos de ar por tonelada de produto do que os métodos anteriores.

Desvantagens:

- equipamentos menos eficientes; e
- maior demanda de mão-de-obra.

Tabela 2 - Formas de carregamento do silo para secagem com ar natural e com baixa temperatura

Diâmetro (m) e Capacidade do Silo por metro de carga (m <sup>3</sup> /m)	Umidade Inicial vs Fluxo de Ar					
	18% b.u. vs. 0,7 m <sup>3</sup> /min.m <sup>3</sup>			20% b.u. vs. 1,5 m <sup>3</sup> /min.m <sup>3</sup>		
	Carga (m) **	Tempo Secagem (dias)	Potência* (c.v.)	Carga (m)	Tempo Secagem (dias)	Potência* (c.v.)
4,5 m 16,2 m <sup>3</sup> /m	4	19	0,5	3	12	1,5
	5	19	1,0	4	12	4,0
	6	19	2,0	5	12	7,0
5,5 m 23,1 m <sup>3</sup> /m	5	20	2,0	3	13	1,5
	6	20	3,0	4	13	5,0
	7	20	5,0	5	13	10,0
	4	20	1,0	2	13	0,5
6,5 m 33,0 m <sup>3</sup> /m	5	20	2,0	3	13	2,0
	6	20	4,0	4	13	6,0
	7	20	6,0			

\* Para potências superiores a 3 c.v., recomenda-se a utilização de ventiladores centrífugos.

\*\* Recomenda-se atingir a altura estabelecida em, no máximo, três dias.

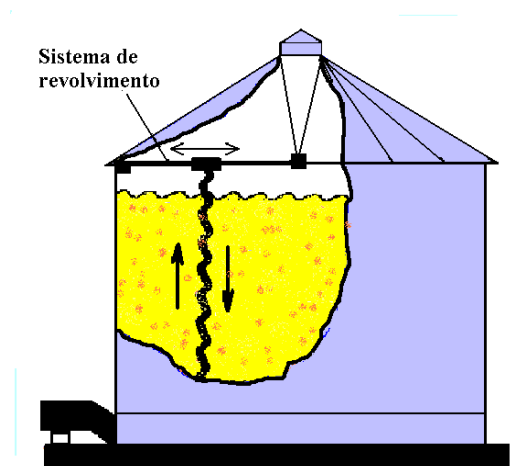
Tabela 3 - Números de dias permitidos para secagem sem deterioração do milho

Temperatura (°C)	Umidade do produto (% b.u.)							
	16	18	20	22	24	26	28	30
10	150	75	50	30	20	15	10	7
15	70	40	25	15	10	7	4	2
20	40	25	15	10	7	4	2	1
25	30	20	12	8	5	3	2	1

### 5.5. Movimentação do Produto no Silo

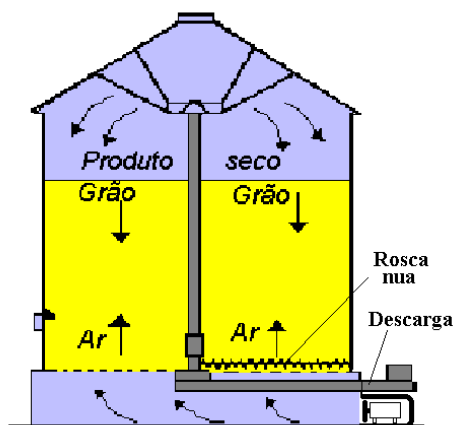
Conforme a movimentação do produto, pode-se dividir o processo de secagem com baixas temperaturas com camada estática ou com revolvimento da camada:

- a) **Processo estático:** nesta operação, o produto não é movimentado durante o processo e observam-se as três regiões distintas na massa de grãos, conforme visto na Figura 7.
- b) **Revolvimento do produto:** esta operação geralmente é associada à secagem em regiões de umidade relativa média inferior a 60% ou onde há necessidade de aquecer o ar de secagem. Nessas condições, os gradientes de umidade e temperatura estabelecidos na massa de grãos são maiores, podendo ocorrer supersecagem da massa de grãos. Para solucionar o problema, a frente de secagem deve ser destruída por uma rosca transportadora nua, que faz o revolvimento do produto no interior do silo, homogeneizando e elevando as camadas inferiores secas para a parte superior do silo. O esquema de um equipamento revolvente “*stirring device*” é apresentado na Figura 9. O equipamento misturador é formado por uma rosca vertical que se movimenta radialmente do centro para a parede do silo e vice-versa, misturando o produto verticalmente.



**Figura 9 – Silo com equipamento para revolvimento do produto.**

Outra maneira de obter o revolvimento do produto consiste no uso de recirculadores de grãos (Figura 10). Esses equipamentos removem os grãos das camadas próximas ao piso e os colocam no topo da massa. O teor de umidade da camada a ser removida é função de sua temperatura. A camada de grãos é removida à medida que a frente de secagem é parcialmente formada. Assim, a frente de secagem não se estabelece completamente junto à sua superfície inferior, e o grão não atinge o equilíbrio com o ar de secagem. A zona de secagem permanece estacionária, com os grãos úmidos movimentando-se para baixo. Este sistema será mais bem detalhado em sistemas a altas temperaturas.



**Figura 10 – Silo equipado com recirculador de grãos.**

**Vantagens:**

- maior rendimento para o mesmo volume de produto e fluxo de ar do que o método de enchimento em uma etapa;
- menor risco de deterioração do que os métodos anteriores; e
- eliminação do gradiente de umidade.

**Desvantagens:**

- maior manipulação do produto do que em todos os métodos estáticos, o que pode provocar maior índice de produto com danos mecânicos;
- maior investimento inicial e maior custo operacional do que no método estático;
- sobrecarga do equipamento sobre as paredes e o piso do silo; e
- acúmulo de materiais finos no centro do silo.

### **5.6. Operação e Monitoramento da Secagem**

O tempo de funcionamento do ventilador durante o processo de secagem depende do teor de umidade do produto no silo e do clima da região. É recomendável manter o ventilador ligado continuamente quando o produto estiver com teor de umidade inicial superior a 16%, mesmo à noite. Embora a umidade relativa seja alta, o fato de a temperatura ser baixa promove o resfriamento da massa de grãos. O ar, ao retirar calor dos grãos, eleva sua temperatura e diminui a umidade relativa, e, dependendo desta, pode promover a secagem dos grãos mais úmidos. Caso a umidade dos grãos seja inferior a 16%, o ventilador deverá permanecer ligado até o final da secagem, desde que a umidade relativa média seja inferior a 75%.

No caso de regiões mais úmidas ( $UR > 75\%$ ), o ventilador deverá permanecer ligado somente durante as horas em que a umidade relativa for baixa (período diurno).

O monitoramento do processo de secagem consiste na inspeção diária da temperatura e umidade da massa de grãos, para verificar se o produto está seco e/ou em processo de deterioração.

No caso da secagem com ar levemente aquecido (secagem com baixas temperaturas), deve-se, ao final do processo, insuflar ar natural para obter o resfriamento da massa de grãos.

### 5.7. Duração da Secagem

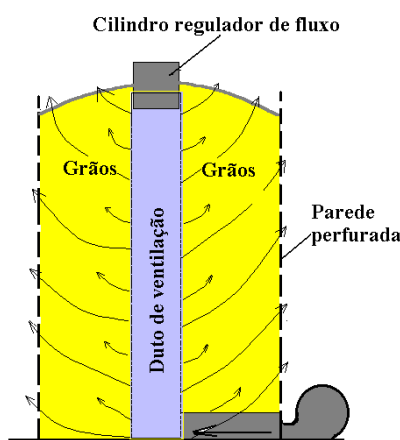
O tempo de secagem pode ser reduzido elevando-se a temperatura do ar de secagem ou sua vazão. O aquecimento do ar praticamente não altera a velocidade de deslocamento da frente de secagem, podendo, ainda, gerar dois problemas: supersecagem nas camadas inferiores e aceleração do processo de deterioração nas camadas superiores. Em geral, o aquecimento do ar só é recomendado para regiões onde o potencial de secagem do ar natural é insuficiente para atingir o teor de umidade final desejado.

Com uma análise mais detalhada da Tabela 2, pode-se verificar que o aumento da vazão do ar exerce maior influência sobre o tempo de secagem. Sabe-se que a velocidade de deslocamento da frente de secagem é diretamente proporcional à vazão específica. Entretanto, em locais com alta umidade relativa, o aumento da vazão não é suficiente para o sucesso da secagem, pois essa variável não tem influência sobre o potencial de secagem do ar.

### 5.8. Considerações

Como será visto mais adiante, um sistema de secagem com baixa temperatura ou com ar natural, devidamente projetado, constitui um método econômico, eficiente e apresenta alta aplicabilidade em fazendas, devido ao menor investimento inicial, quando comparado aos sistemas que empregam altas temperaturas.

Em secagem de sementes, os métodos que usam baixas temperaturas são empregados em substituição aos métodos com altas temperaturas, por resultar em melhor qualidade final do produto. A Figura 11 ilustra um secador para sementes com modificação do sistema de distribuição do ar de secagem. Neste sistema, o ar é insuflado radialmente através da massa de grãos. As principais limitações dos métodos de secagem com ar natural e com baixas temperaturas são o teor de umidade inicial do produto e as condições climáticas locais. Altos teores de umidade inicial aumentariam a susceptibilidade do produto à deterioração, enquanto condições atmosféricas desfavoráveis implicariam a utilização de ventiladores e aquecedores mais potentes, inviabilizando economicamente o método.



**Figura 11 – Silo-secador para sementes, mostrando a distribuição radial do fluxo de ar.**

## 6. SECAGEM COM ALTAS TEMPERATURAS

A secagem por este processo baseia-se na propriedade pela qual, aumentando-se a temperatura do ar úmido, a umidade relativa diminui e, conseqüentemente, a capacidade do ar em absorver umidade aumenta. Geralmente, o ar é forçado a passar através do secador por meio de um ventilador. Depois de ter entrado em contato com o produto, o ar deixa o secador com uma temperatura mais baixa e uma umidade relativa mais elevada.

A secagem artificial com altas temperaturas é uma técnica muito utilizada em fazendas, indústrias de transformação, unidades armazenadoras-coletoras e intermediárias do mundo inteiro. Entretanto, o uso de secadores mecânicos a altas temperaturas tem ficado restrito às regiões de maior desenvolvimento agrícola, visto que o investimento inicial em alguns desses equipamentos é proibitivo para pequenos produtores.

Dentre os métodos de secagem artificial, a secagem com altas temperaturas é a mais rápida e independente das condições climáticas locais. Normalmente, o fluxo de ar utilizado depende do tipo de secador, sendo geralmente superior a  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{Min.}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ . Como em outros sistemas de secagem, os seguintes parâmetros podem influenciar a taxa de secagem:

- temperatura e umidade relativa do ar ambiente;
- temperatura e fluxo de ar de secagem;
- umidade inicial do produto;
- fluxo do produto no secador e outros.

Estes parâmetros influenciam diretamente a velocidade de secagem, como um conjunto de fatores interdependentes, e o bom manejo permite dimensionar e gerenciar as condições específicas de secagem.

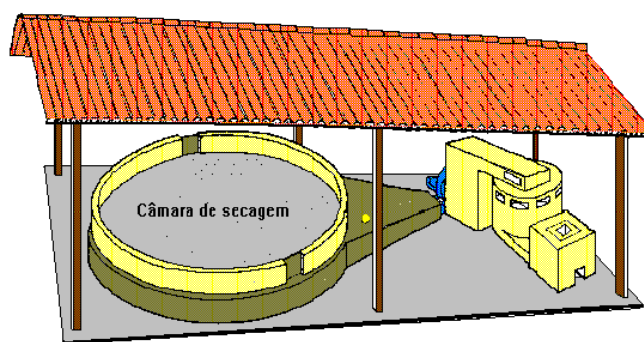
### 6.1. Classificação dos Secadores

Nos sistemas de secagem com alta temperatura, os secadores podem ser classificados, quanto aos fluxos do produto e do ar, em:

**a) Secador de Camada Fixa Horizontal:** na secagem em camada fixa, o produto permanece num compartimento de fundo perfurado, por onde passa o ar de secagem, insuflado por um ventilador. Normalmente a secagem em leito fixo é feita em silos metálicos, cilíndricos, providos de piso perfurado, semelhantes aos usados na secagem com baixas temperaturas. Na secagem em camada fixa, a temperatura do ar é muito superior à temperatura do ambiente (acima de 10 °C) e a camada de produto é geralmente inferior a 1,0 m. Um ventilador de alta capacidade, acoplado a uma fonte de aquecimento, faz parte deste sistema.

Com o objetivo de diminuir o custo de implantação desse sistema, o silo metálico pode ser substituído por uma construção em alvenaria (Figura 12), o que o torna acessível a grande número de agricultores. Outro aspecto interessante desse secador é sua versatilidade. Além de ser usado para secar grãos e sementes em geral, milho em espiga, café de lavoura, feijão em rama, raspa de mandioca etc., é também usado para a produção de feno. A altura da camada de produto pode variar, para grãos em geral, devendo situar-se entre 0,4 e 0,6 m. Altura acima desta faixa poderá acarretar problemas, como o alto gradiente de umidade.

A operação do secador de camada fixa é simples, embora exija alguns cuidados. A movimentação do produto em intervalos de tempo regulares é uma operação importante para evitar a desuniformidade na umidade final do produto.



**Figura 12 - Vista geral de um secador de camada fixa (modelo UFV).**

Vantagens:

- menor custo operacional;
- baixo investimento inicial;
- o armazenamento poder ser feito no próprio silo secador, quando se utiliza o silo convencional adaptado como secador de camada fixa;
- e
- fácil construção.



## Desvantagens

- alto gradiente de umidade ao longo da camada de grãos; e
- baixa capacidade de processamento devido ao fato de a espessura da camada ser inferior a 0,6 m.

c) **Secador em Camada Fixa Vertical (Coluna) e Secador de Fluxos Cruzados:** nestes secadores, o produto permanece em colunas verticais construídas em chapas perfuradas e são submetidos a um fluxo de ar que é perpendicular à camada do produto. Quando os grãos estão em movimento, o secador é chamado de fluxos cruzados. A Figura 13 mostra o esquema de funcionamento dos secadores de fluxos cruzados (a) e um modelo que pode trabalhar também de forma contínua (b). A Figura 14 mostra um conjunto de secadores de fluxos cruzados com recirculação do produto, muito utilizado para café. A parte do secador acima do telhado constitui a câmara de repouso.

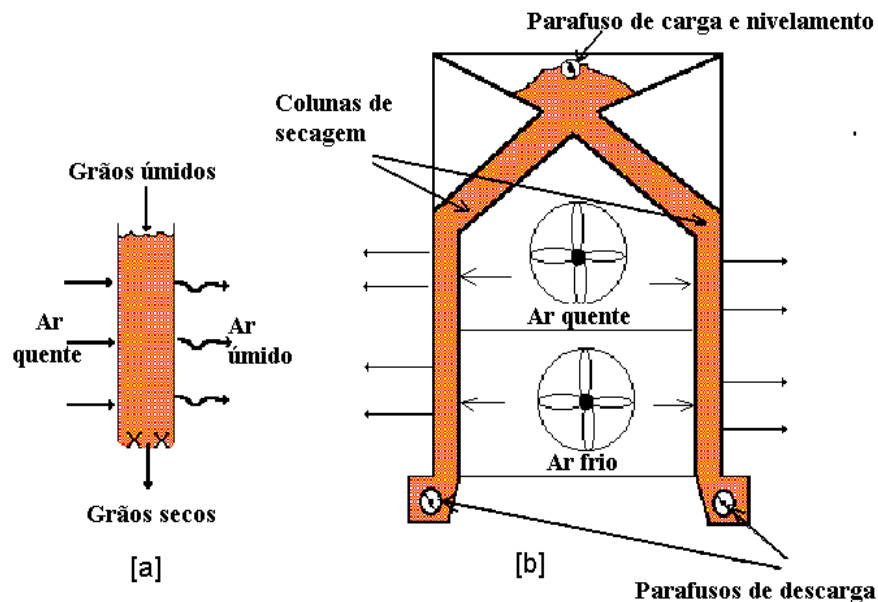


Figura 13 – Esquemas de funcionamento de um secador de fluxos cruzados que pode operar de forma contínua.



**Figura 14 – Conjunto de secadores de fluxos cruzados com recirculação do produto.**

**Vantagens:**

- alta capacidade de secagem;
- facilidade de manuseio e operação; e
- baixo custo inicial.

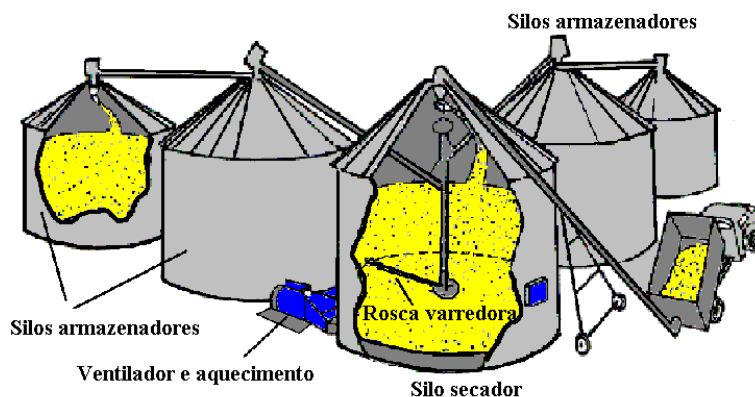
**Desvantagens:**

- maior risco de superaquecimento do produto;
- alto consumo de energia;
- desuniformidade de secagem quando trabalhando de forma contínua ou em camada fixa; e
- baixa eficiência de secagem.

c) **Secador de Fluxos Contracorrentes:** a secagem em fluxos contracorrentes é realizada em silos secadores (Figuras 10 e 15) em que grãos e ar de secagem movimentam-se em sentido contrário. Neste secador, a frente de secagem permanece sempre próxima ao fundo perfurado. À medida que ocorre a secagem, o produto seco é conduzido para o centro por um transportador helicoidal que varre toda a seção transversal do silo. Uma segunda rosca retira o produto, conduzindo-o para a parte superior ou então para um silo armazenador, passando a funcionar de forma contínua. Assim, a massa de produto tem sentido descendente, enquanto o ar é insuflado em sentido ascendente. A ativação do sistema de movimentação do produto é coordenada por um termostato colocado a 0,5 m acima da chapa perfurada. A escolha da temperatura de acionamento do termostato é função da umidade final desejada.

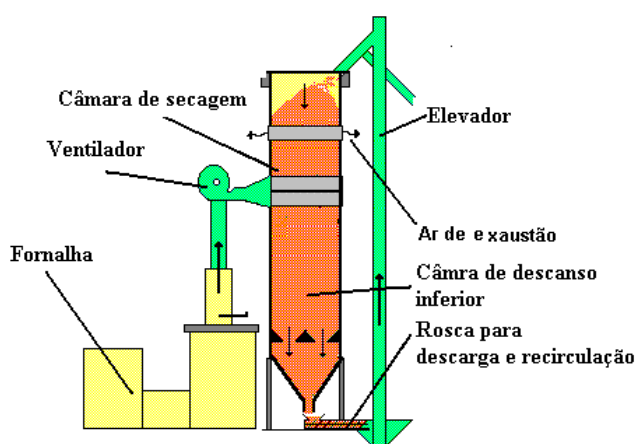
Nos silos secadores de fluxos contracorrentes, à medida que a massa de produto vai descendo, sua temperatura é aumentada, atingindo valores muito

próximos aos da temperatura do ar de secagem. Para evitar danos ao produto, a temperatura de secagem não deve ultrapassar 70°C.



**Figura 15 – Sistema de armazenamento com silo-secador em fluxos contracorrentes.**

O secador em fluxos contracorrentes, em torre, utiliza o sistema de aquecimento e ventilação abaixo dos tubos de saída do ar de secagem (Figura 16).



**Figura 16 – Secador de fluxos contracorrentes modelo UFV.**

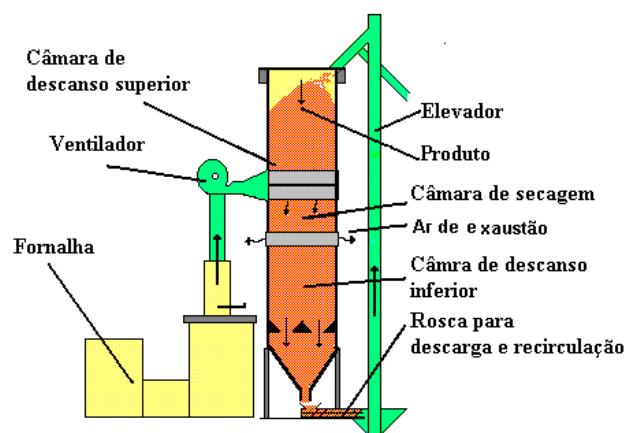
Vantagens:

- alta eficiência energética;
- menor tempo de exposição ao ar de secagem; e
- menor susceptibilidade a danos mecânicos.

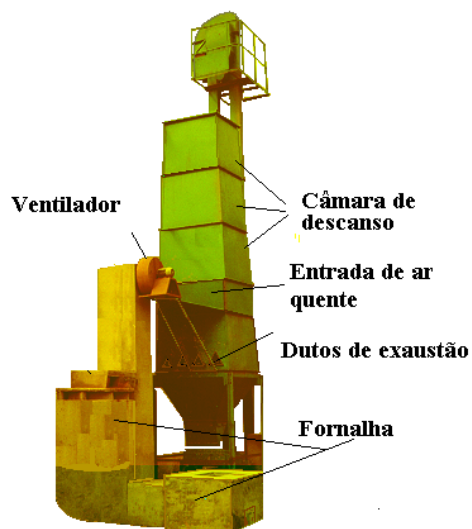
Desvantagem:

- maior custo de manutenção, quando se utiliza um sistema com silo-secador.

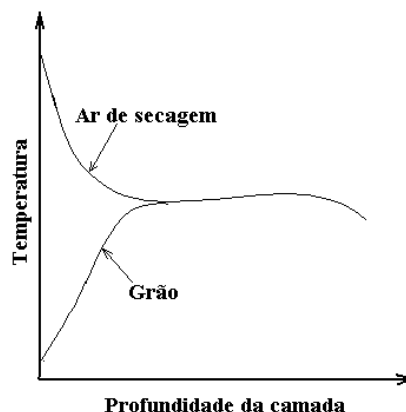
**d) Secador de Fluxos Concorrentes:** no secador de fluxos concorrentes, ar e produto fluem no mesmo sentido dentro do secador (Figuras 17 e 18). Altas taxas de evaporação ocorrem na parte superior da camada, uma vez que o ar mais quente encontra o produto mais úmido. As trocas intensas e simultâneas de energia e massa na entrada do secador (ar/produto) causam rápida redução na temperatura inicial do ar de secagem, assim como no teor de umidade do produto. Por esta razão, a temperatura do produto permanece consideravelmente abaixo da temperatura inicial do ar de secagem (Figura 19). Estes secadores são caracterizados pela alta eficiência energética e pela boa qualidade final do produto. A única diferença do modelo anterior está no posicionamento dos dutos de exaustão.



**Figura 17 – Secador de fluxos concorrentes modelo UFV.**



**Figura 18 – Secador de fluxos concorrentes EPAMIG (PonteNova– MG).**



**Figura 19 – Curvas das temperaturas do ar de secagem e do produto em função da profundidade em secador de fluxos concorrentes.**

Vantagens:

- melhor qualidade final do produto;
- maior capacidade de secagem;
- alta eficiência energética; e
- baixo custo de instalação e manutenção, quando é utilizado apenas um estádio.

Desvantagens:

- alto custo de construção, quando se opera com mais de um estádio; e
- maior risco de incêndio devido à utilização de altas temperaturas.

e) **Secador em Cascata ou de Fluxos Mistos:** é constituído por uma série de calhas invertidas em forma de V, dispostas em linhas alternadas paralela ou transversalmente, dentro da estrutura do secador (Figura 20a). Neste secador, o produto movimenta-se para baixo e entre as calhas, sob ação da gravidade.

O ar de secagem entra numa linha de calhas e sai nas outras imediatamente adjacentes, superiores ou inferiores. Com isso, ao descer pelo secador, o produto é submetido à ação do movimento do ar de secagem em sentido contracorrente, cruzado e concorrente. Muito difundido no Brasil, estes secadores (Figura 20b), quando bem projetados, utilizam fluxos de ar menores que aqueles empregados em secadores contínuos de fluxos cruzados.

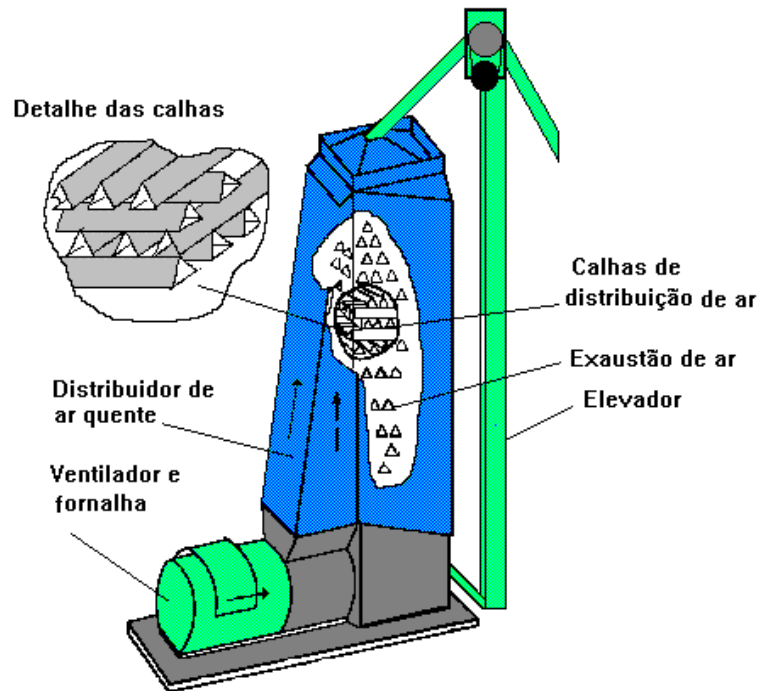
Em um outro modelo de secador de fluxos mistos, muito usado para secagem de arroz, as calhas, que podem ser retas ou circulares, são abertas e dispostas uma sobre as outras. Neste caso, o produto passa por dentro das calhas (Figuras 21a e 21b). Como no caso anterior, o produto estará sob a ação do fluxo de ar nas três formas, isto é, cruzado, concorrente e contracorrente.

Vantagens:

- alta eficiência energética; e
- alta capacidade.

Desvantagens:

- alto custo inicial; e
- podem poluir o meio ambiente.



**Figura 20a - Secador de fluxos mistos ou em cascata com calhas alternas transversalmente.**

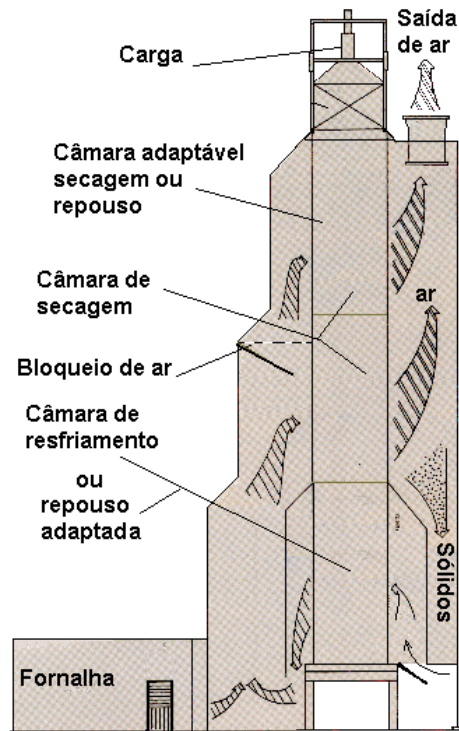


Figura 20b – Secador de fluxos mistos com calhas paralelas e com sistema de reutilização de parte do ar de exaustão.

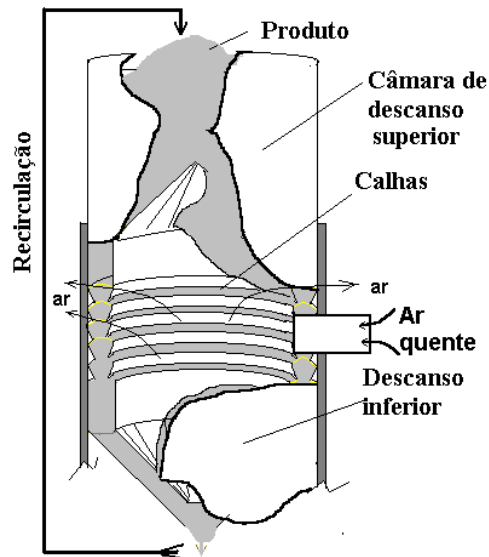
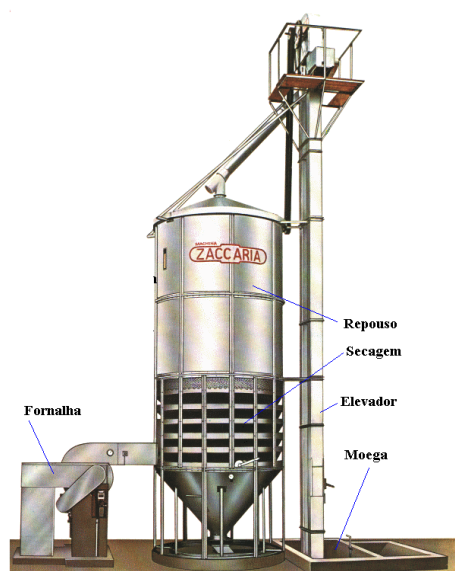


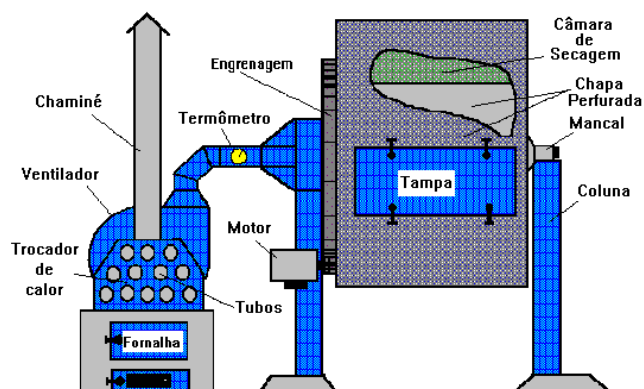
Figura 21 a – Detalhes de um secador em cascata com calhas circulares.



**Figura 21 b – Secador comercial, tipo cascata, com calhas circulares.**

**f) Secador Rotativo:** este secador é formado por um cilindro tubular horizontal ou ligeiramente inclinado que gira em torno de seu eixo longitudinal a uma velocidade compreendida entre 1 e 15 rpm. No caso de um secador contínuo, o produto úmido chega à parte mais elevada do tambor através de um transportador e sai na parte mais baixa por gravidade. O ar de secagem é introduzido no tambor no mesmo sentido ou no sentido contrário à trajetória do produto, em caso de secadores inclinados.

Um tipo muito comum e utilizado como pré-secador ou secador para café constitui-se de um tambor horizontal não-inclinado, com o ar de secagem sendo injetado numa câmara situada no centro deste tambor, o qual atravessa a massa do produto em sentido perpendicular ao eixo do secador (Figura 22).



**Figura 22 – Secador rotativo com tambor horizontal, para secagem em lotes.**



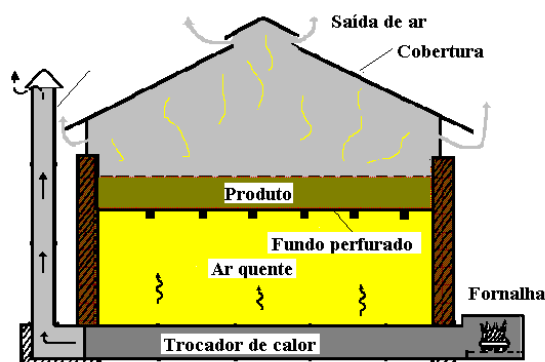
Vantagens:

- para alguns produtos como, o café em coco, favorece a limpeza do produto;
- uniformidade de secagem.

Desvantagens:

- baixa eficiência energética;
- alto custo de investimento; e
- o produto fica sujeito a danos na camada protetora.

**g) Secador por Convecção Natural:** o ar, movimentando-se por convecção natural, pode ser uma alternativa para solucionar os problemas de secagem do pequeno produtor, pois este tipo de secador dispensa o uso de ventiladores e pode ser construído com materiais regionais e mão-de-obra pouco especializada. A Figura 23 mostra um secador por convecção. Estes secadores utilizam trocadores de calor, que transferem o calor recebido dos gases de combustão de uma fornalha para o ar de secagem que entra lateralmente, por meio de aberturas na parte inferior das paredes do secador. O movimento do ar que atravessa a massa de produto é devido aos gradientes de pressão produzidos pela diferença de temperatura entre o ar de secagem e o ar ambiente.



**Figura 23 – Corte longitudinal de um secador por convecção natural.**

Vantagens:

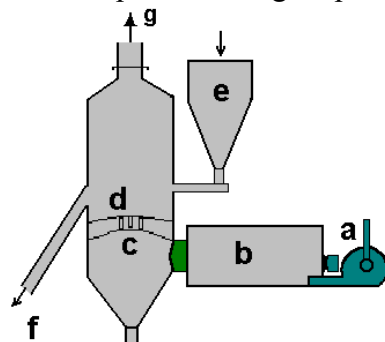
- dispensa o uso de ventiladores;
- baixo custo inicial; e
- mão-de-obra pouco especializada.

Desvantagens:

- baixa eficiência térmica;
- desuniformidade de temperatura e fluxo de ar; e
- riscos de contaminação do produto pela fumaça, caso haja perfurações no trocador de calor.

**h) Secador de Leito Fluidizado:** neste secador, o ar de secagem atravessa uma placa perfurada, provocando turbulência no produto que se encontra sobre ela. Quando o produto começa e continua a flutuar sobre a placa, o conjunto passa a ser denominado leito fluidizado (Figura 24).

A intensidade do fluxo de ar deve ser tal que supere a velocidade terminal do produto, provocando turbulência e carreando este. Não é um secador comumente utilizado na secagem de produtos agrícolas, devido à baixa capacidade de secagem e à elevada potência exigida pelo ventilador.



a - Ventilador; b - aquecedor;  
c - placa perfurada; d - leito  
fluidizado;  
e - carga;  
f - saída do produto; e  
g - saída de ar.

**Figura 24 – Detalhes de um secador de leito fluidizado.**

## 6.2. Classificação Quanto à Operação

**a) Secadores Contínuos:** nestes, o grão fica constantemente sob a ação do calor, até que seu teor de umidade atinja um valor desejado. Dessa forma, há um fluxo constante de produto no interior do secador e, simultaneamente, há grãos úmidos entrando, grãos em fase de secagem e grãos secos e frios sendo descarregados (Figura 20 b). A secagem ocorre, geralmente, em duas etapas bem definidas. Na primeira etapa, a massa de grãos é atravessada por um fluxo de ar quente, que tem por finalidade a secagem propriamente dita, e, na segunda, o produto é atravessado por um fluxo de ar com temperatura ambiente, que tem como finalidade resfriá-lo.

O produto passa por um mecanismo de regulação de fluxo que determinará o tempo de exposição ao ar de secagem, também denominado tempo de residência. A secagem contínua é indicada para grande quantidade de produto e tem como vantagem a redução do tempo total de secagem, devido à eliminação da operação de carga e descarga do secador. Por outro lado, durante a secagem em fluxo contínuo, ocorre uma diferença entre a umidade localizada na superfície e aquela no interior do grão. A superfície que está em contato direto com o ar seca mais do que a parte central. Para o arroz, por exemplo, se essa diferença for muito grande, poderá provocar trincas no grão e resultar em grande número de grãos quebrados.

No caso da secagem de sementes em geral, torna-se difícil operar os secadores contínuos, uma vez que a temperatura do ar de secagem deve ser menor do que aquela utilizada para grãos.

**b) Secadores Intermitentes:** nestes, o produto passa várias vezes pelo interior do secador antes de completar a secagem. Assim, o grão sofre a ação do calor durante pequenos intervalos de tempo, intercalados por períodos de repouso, ou seja, a massa de grãos não entra em contato com o ar aquecido durante esse período.

Nestes secadores, a quantidade de água removida por unidade de tempo de secagem é consideravelmente maior do que quando a secagem é contínua. O rendimento da secagem aumenta porque o ar quente encontra a periferia dos grãos com teor de umidade mais elevado, em virtude da migração desta do centro para a periferia, durante o descanso do produto. Esta redistribuição de umidade, além de facilitar a secagem, diminui a possibilidade de ocorrência de trincas devido à diminuição das tensões internas no grão.

Quando o número de passagens do produto pelo secador é muito grande, a capacidade nominal do secador diminui proporcionalmente. Entretanto, esta capacidade pode ser aumentada quando o secador é carregado com outro lote de grãos, durante o período de descanso. Geralmente, estes secadores são constituídos por duas colunas de secagem e por um depósito colocado acima destas colunas. A altura da coluna e o fluxo de grãos não permitem a secagem do produto se este passar apenas uma vez pelo secador. O depósito possibilita que o produto fique em repouso antes de cada passagem pela coluna de secagem. Os secadores de fluxos contracorrentes e concorrentes (Figuras 16 e 17) projetados na UFV são classificados como secadores intermitentes. Podem, entretanto, trabalhar de forma contínua quando o teor de umidade inicial for suficientemente baixo para secar em uma única passagem pela câmara de secagem.

### 6.3. Classificação Quanto à Utilização

**a) Secagem Combinada:** esta técnica consiste em utilizar secadores em altas temperaturas enquanto o produto apresenta teor de umidade mais elevado e, a partir desse ponto, transferir o produto quente para um sistema de baixa temperatura, onde a secagem será completada. Além da redução substancial de energia requerida para a secagem, o sistema em combinação pode dobrar a capacidade dinâmica dos secadores e aumentar a eficiência térmica de secagem. As principais razões para este aumento de eficiência são:

- os secadores operam com produtos numa faixa de umidade em que a retirada de água dos grãos é mais fácil; e
- os resfriadores geralmente não são utilizados porque o produto chega ao sistema de secagem à baixa temperatura ainda aquecido.

Nesta técnica, as câmaras de resfriamento dos secadores geralmente são convertidas em câmaras de secagem, o que aumenta a capacidade dos secadores

de altas temperaturas. O processo de secagem em combinação reduz em até 50% a energia total requerida pelos métodos convencionais de secagem e podem, facilmente, dobrar a capacidade dos secadores de altas temperaturas.

**b) Seca-aeração:** é uma modificação do sistema convencional de secagem em alta temperatura, com a finalidade de reduzir o consumo de energia, aumentar a capacidade de secagem e reduzir os danos térmicos causados pela exposição do produto, por longos períodos de tempo, a altas temperaturas.

No processo de seca-aeração, ilustrado na Figura 25, o produto é secado até 2,5 pontos percentuais acima do teor de umidade recomendado para o armazenamento. Não utilizando a câmara de resfriamento, o produto ainda quente é transferido para um silo auxiliar (silo têmpera), onde permanece em descanso para que o calor residual redistribua a umidade em todo o interior do grão, facilitando a retirada da umidade em excesso quando for aplicada uma aeração com baixos fluxos de ar.

O sucesso deste sistema dependerá muito do período de tempo em que o produto for deixado em repouso e da temperatura deste, durante o período em que permanecer nessa condição. Um repouso de seis a oito horas é recomendado para uma temperatura do produto superior a 50°C. Como dito anteriormente, o resfriamento da massa de grãos é feito por aeração após o período de repouso, só terminando quando todo o produto atingir a temperatura do ar ambiente, antes de ser transferido para o armazenamento. Este método de secagem tem a desvantagem de requerer maior investimento inicial quando se utiliza o silo têmpera e maior manuseio do produto.

Para sistemas de secagem e armazenamento em fazendas, o silo convencional poderá ser adaptado para seca-aeração, não sendo necessário utilizar um silo têmpera.

Num sistema de seca-aeração corretamente projetado para milho, a redução de 25% para 15% (b.u.) no teor de umidade deve resultar em um aumento em torno de 50% na capacidade dos secadores comerciais e, conseqüentemente, numa redução de 20 a 30% do combustível gasto por tonelada de produto seco.

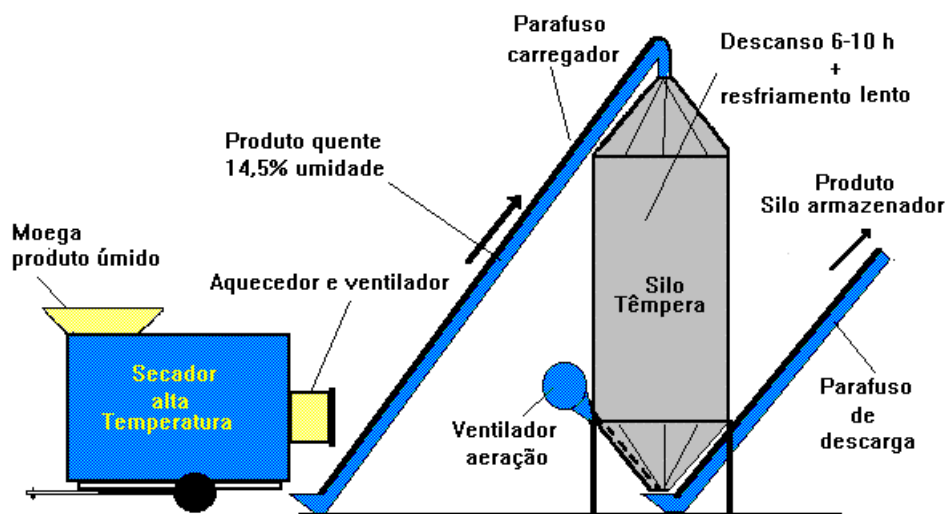


Figura 25 – Sistema de seca-aeração.

#### 6.4. Modificações e Recomendações na Operação e no Manejo

a) **Secagem em Silo com Sistema Contracorrente:** neste equipamento ocorre menor consumo de energia, pois não se permite que o produto atinja o teor de umidade de equilíbrio nem a temperatura do ar de secagem.

Muito utilizado nos Estados Unidos da América, o sistema Shivvers (Figura 15) é constituído por um silo secador, no qual é adaptado um sistema de rosca horizontal, que varre os grãos secos localizados imediatamente acima da chapa perfurada e os entrega a uma outra rosca vertical ou horizontal que, por sua vez, leva o produto até o silo de armazenagem onde pode ser processada a seca-aeração. Devido à possibilidade de ocorrência de condensação nas camadas superiores, este secador não é recomendado para a secagem de produtos como feijão, principalmente se a secagem for feita em camada superior a um metro.

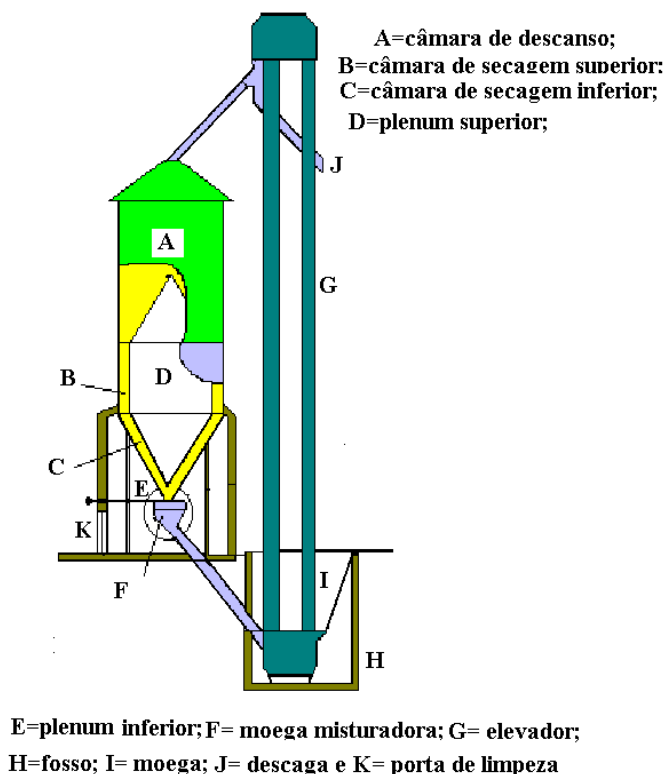
A limpeza da massa do produto e o nivelamento da carga, visando à distribuição uniforme do fluxo de ar, propiciarão uma secagem uniforme.

b) **Sistema com Recirculação do Ar de Secagem:** geralmente os secadores de fluxo cruzado apresentam gradiente de temperatura e umidade ao longo da espessura da massa de produto, ou seja, ocorre uma supersecagem do produto situado na parede por onde o ar entra na câmara de secagem. Para minimizar este problema, é necessário empregar alto fluxo de ar ou uma camada menos profunda de produto. Entretanto, estes procedimentos acarretam baixa eficiência energética, pois o ar sai do secador com alta capacidade de secagem.

Para melhorar a eficiência térmica e a qualidade final do produto saído destes secadores, algumas modificações nos modelos originais têm sido propostas. Uma destas modificações consiste na recirculação de parte do ar de exaustão, promovendo pré-aquecimento e pré-secagem do produto mais úmido.

A reversão do fluxo de ar dentro do secador, operando de modo intermitente, também aumenta a eficiência da secagem. O secador mostrado na *Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas*

Figura 26 é constituído por duas câmaras de secagem e duas câmaras "plenum". O ar insuflado pelo ventilador atravessa as câmaras em fluxo cruzado, em sentido inverso, em cada uma das câmaras de secagem. O ar é insuflado para a câmara "plenum" inferior, atravessando inicialmente em fluxo cruzado a câmara de secagem inferior, indo posteriormente para a câmara "plenum" superior. Em seguida, o ar passa em fluxos cruzados através da câmara de secagem superior, em sentido inverso, saindo para o exterior do secador.



**Figura 26 – Secador de fluxos cruzados com reversão do fluxo de ar.**

**c) Eliminação de Impurezas nos Produtos:** antes da secagem, o material vindo do campo deve passar por uma pré-limpeza. Um produto contendo muitas impurezas aumentará a resistência à passagem do ar, aumentando o tempo de secagem e, conseqüentemente, a energia consumida no processo. Além disso, favorece o desenvolvimento de fungos, principalmente em secagem com baixa temperatura, em que o tempo de secagem é mais prolongado.

**d) Secagem com Revolvimento do Produto:** os equipamentos necessários a esse processo constam, basicamente, de uma ou mais roscas-sem-fim, que giram no interior do silo em movimentos de rotação e translação (Figura 9).

Os revolvedores em movimento promovem a mistura do produto, eliminando a frente de secagem e possibilitando melhor distribuição do fluxo de ar, uma vez que as zonas de concentração de materiais finos e a compactação do

produto são eliminadas. Como consequência, o fluxo de ar através da massa aumenta em até 10%.

## 7. ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO

Eficiência energética é a razão entre a energia requerida para evaporar a água do produto e a quantidade de energia fornecida ao processo de secagem. A quantidade de energia fornecida inclui a energia para aquecimento do ar, além da potência elétrica utilizada no sistema (veja capítulo 8 – Energia no Pré-Processamento de Produtos Agrícolas).

Estudos realizados no início da década de 80 estabeleceram que o custo do combustível usado na operação de secagem não onerava significativamente o custo total da secagem, mesmo considerando os problemas de energia da época. No entanto, os preços e a disponibilidade dos vários combustíveis vêm-se alterando tão rapidamente que qualquer previsão a respeito destes custos é altamente inconsistente. No caso do Brasil, que não possui uma política energética definida, torna-se difícil optar por uma fonte de energia confiável para alimentação dos secadores. É necessário mencionar também que, por determinação do Conselho Nacional do Petróleo, em 1980 foi proibida a utilização de qualquer derivado do petróleo na secagem de cereais, madeira e fumo, forçando os setores de armazenamento e secagem de produtos agrícolas a encontrar alternativas energéticas que substituíssem os combustíveis fósseis. A utilização indiscriminada de áreas florestais nativas, causando grande prejuízo ao ecossistema florestal, é uma das consequências desta medida, e o suprimento de madeira para as fornalhas deve vir de áreas reflorestadas para este fim, ou seja, de florestas energéticas.

Considerando que a secagem em temperaturas elevadas pode consumir 60% ou mais do total de energia usada na produção dos produtos agrícolas, é necessário procurar soluções que aumentem a eficiência energética dos secadores.

## 8. LITERATURA CONSULTADA

1. BAKKER-ARKEMA, F.W., SILVA, J.S., MWAURA, E.N., RODRIGUES, J.C. & BROOK, R.C., **Testing of Alternative on Farm Grain Drying Systems**. Paper N° 80.3017, ASAE, 1980.
2. BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W. & HALL, C.W., **Drying and storage of grain and oilseeds**. The AVI Publishing, New York, 1992. 450p.
3. LASSERAN, J.C., **Aeração de Grãos**, Viçosa, CENTREINAR, 1981. 131p.
4. MELO, E.C., **Rendimento Térmico de uma Fornalha a Lenha de Fluxos Descendentes**, Imprensa Universitária, UFV, Viçosa-MG, 1987. 45p., (Dissertação de Mestrado).
5. MOREY, R.V., CLOUD, H.A. & LUESCHEN, W.E., Practices for the *Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas*

- Efficient Utilization of Energy for Drying Corn. **Transaction of the ASAE**, 1976. 19(14): 151.
6. QUEIROZ, D.M. & PEREIRA, J.A.M., **Secagem de Grãos em Baixa Temperatura**, CENTREINAR, Viçosa-MG, 1986. 49p.
  7. SILVA, J.S., **An Engineering Economic Comparison of Five Drying Techniques for the Shelled Corn on Michigan Farms**, Michigan State University, 1980. 154p. (Tese PhD).
  8. SILVA, J.S., AFONSO, D.L. & GUIMARÃES, A. C. **Estudo dos Métodos de Secagem** In: Pré-Processamento de Produtos Agrícolas, Juiz de Fora, Instituto Maria, 1995. 509p.
  9. SILVA, L.C., **Desenvolvimento e Avaliação de um Secador de Café (*Coffea arabica*, L.) Intermitente de Fluxos Contracorrentes**, Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 74p. (Tese de MS).