

Secagem de Grãos¹

Prof. Luís César da Silva
email: silvalc@cca.ufes.br

O processo de secagem é aplicado para reduzir o teor de umidade de produtos agrícolas. Desse modo, é reduzida a disponibilidade de água para: (i) o desenvolvimento de fungos e bactérias, o que evita o surgimento de grãos ardidos e micotoxinas, (ii) a realização do processo de respiração dos grãos que provoca perda de peso e gera calor e (iii) a execução de reações bioquímicas que promovem a auto-degeneração do produto.

O teor de umidade, ou o mesmo que teor de água, corresponde à relação percentual entre a massa de água presente e a massa total do produto. Por exemplo, se uma carga de 28,0 toneladas apresenta teor de umidade de 15%, 4,2 t da carga é água; e 23,8 t é matéria seca formada por: carboidratos, lipídios, proteínas e sais minerais.

A meta maior da armazenagem é conservação da matéria seca. Para tanto, devido ao menor custo é recomendada a secagem. Para as condições brasileiras, o teor de umidade ideal para a armazenagem de grãos e sementes é de 13%. Este valor foi estipulado por estabilizar a atividade aquosa do produto (A_a) e assim inviabilizar, principalmente, o desenvolvimento de fungos e bactérias.

Atividade aquosa (A_a) é um índice utilizado para expressar a disponibilidade de água na camada delgada de ar junto à superfície de produtos de origem animal ou vegetal. Este índice varia de 0 a 1. Quanto maior o teor de umidade do produto maior é o índice de atividade aquosa.

As bactérias geralmente exigem níveis de atividade aquosa superior a 0,90 para multiplicarem, enquanto para os fungos os valores variam de 0,65 a 0,90. Nesses casos, o teor de umidade da massa de grãos pode variar de 14 a 28%.

1. Fundamentos do Processo de Secagem

Grãos e sementes são produtos higroscópios. Portanto, podem repassar ou receber vapor de água do ar que os circunvizinham.

O fato de o produto ser higroscópico faz com que, sobre a sua superfície, seja estabelecida uma camada delgada de ar que constitui um micro-clima. E este tem suas condições de estado reguladas pela temperatura e teor de umidade do produto. Uma das propriedades deste micro-clima é umidade relativa, que, neste caso, tem valor igual a 100 vezes o índice de atividade aquosa.

Por outro lado, o ar que circunvizinha o produto, também possui a sua umidade relativa. E esta é relacionada à quantidade de vapor diluída no ar. O valor da umidade relativa varia de 0 a 100%. O ar, com 0%, não possui vapor de água diluído, porém quando a 100% está em seu estado máximo de saturação.

O sentido e intensidade do fluxo de vapor de água entre os grãos e o ar são estabelecidos segundo a diferença dos valores de umidade relativa: (i) do ar do micro-clima sobre os grãos - UR_g e (ii) do ar circunvizinho ao grão UR_{ac} .

O sentido do fluxo de vapor sempre ocorrerá do ponto com maior valor de umidade relativa para o de menor. Sendo assim, três situações podem ocorrer:

Caso:

¹ Artigo Publicado na Revista: Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo, Ano III, nº XIV, Maio de 2004, p. 10 -14.

- 1) UR_g maior que UR_{ac} ocorre secagem do produto;
- 2) UR_g menor que UR_{ac} ocorre umedecimento do produto; e
- 3) UR_g igual a UR_{ac} ocorre Equilíbrio Higroscópico - não há fluxo de vapor.

Portanto, para que ocorra secagem é necessário que a umidade relativa do ar de secagem UR_{ac} seja menor que a umidade relativa do ar do micro-clima.

Para reduzir a umidade relativa do ar de secagem é recomendado aquecê-lo. Isto pode ocorrer naturalmente, por meio da radiação solar, ou então, artificialmente utilizando fornalhas a lenha ou queimadores a gás. Assim, o ar de secagem tem o seu potencial de secagem aumentado. O que traduz em maior capacidade de: (i) transferir calor ao produto; e (ii) transportar o vapor proveniente do produto.

Didaticamente, o processo de secagem ocorre segundo três passos (Figura 1):

Primeiro: o ar de secagem cede calor ao grão. Isso força a umidade contida no grão a migrar para o micro-clima. Assim, a umidade relativa do ar no micro-clima - UR_g aumenta.

Segundo: pelo fato da umidade relativa do ar do micro-clima ser maior que a do ar de secagem, ou seja, UR_g maior que UR_{ac} , é estabelecido o fluxo de vapor no sentido do micro-clima para o ar de secagem.

Terceiro Passo: como o ar de secagem repassou calor ao grão e recebeu vapor de água: (i) a sua temperatura diminui, e (ii) sua umidade relativa aumenta. O ar de secagem passa então a ser denominado ar de exaustão. Quanto mais próxima de 100% for a umidade relativa do ar de exaustão - UR_{ae} maior será a eficiência da secagem.

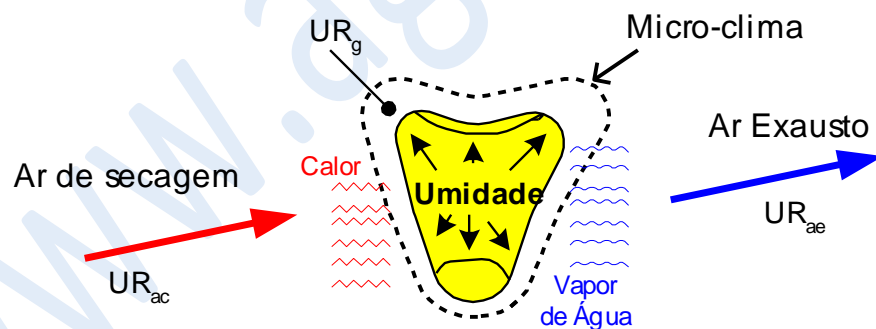


Figura 1 – Demonstração do processo de secagem.

2. Modalidades de Secagem

A secagem de produtos agrícolas pode ser realizada de forma natural ou artificial. Vide Figura 2. A secagem natural emprega a radiação solar para aumentar o potencial de secagem do ar. No Brasil, esta tem sido empregada para a secagem de café em terreiros e cacau em barcaças, como também por pequenos agricultores na secagem de milho, arroz e feijão em terreiros.

A grande desvantagem dessa modalidade é dependência das condições climáticas e a maior vantagem é o fato de propiciar menor ocorrência de grãos trincados e, ou, quebrados.

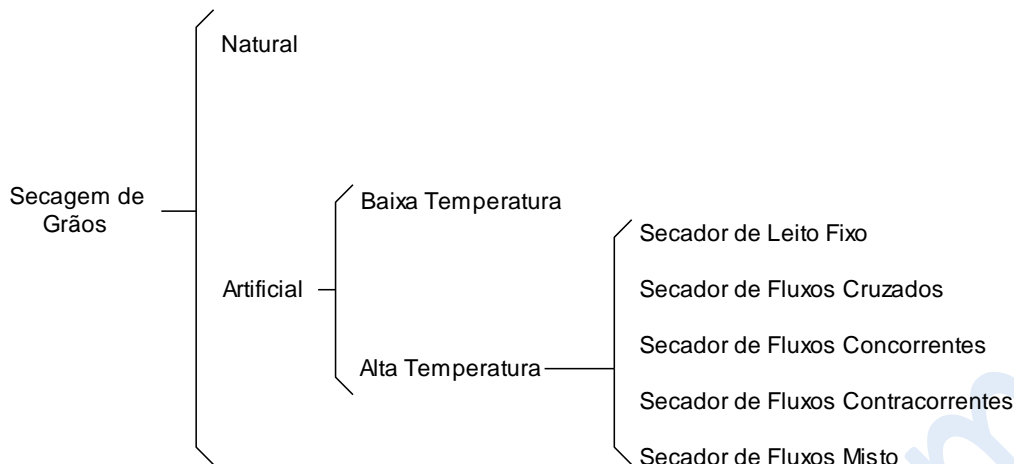


Figura 2 – Classificação das modalidades de secagem de grãos.

A secagem artificial consiste no emprego de artifícios para acelerar o processo. E isto configura nos secadores que se apresentam sob diferentes configurações e contêm acessórios como: (i) sistema de aquecimento do ar – fornalhas a lenha, ou queimadores de gás; (ii) sistema de movimentação do ar – ventiladores, ou (iii) sistema de movimentação dos grãos - elevadores de caçambas, transportadores helicoidais ou fitas transportadoras.

Em função da temperatura do ar de secagem, a secagem artificial é subdividida em: (i) secagem a baixa temperatura, e (ii) secagem a alta temperatura.

3. Secagem a Baixa Temperatura

Nesta modalidade, o ar de secagem é aquecido em no máximo 10°C acima da temperatura ambiente. O que em determinadas regiões é dispensado devido ao potencial de secagem do ar ambiente. Devido a temperaturas próximas a 30°C e umidade relativa do ar abaixo de 60%.

Estruturalmente, os secadores dessa modalidade configuram como silos, Figura 3, que possuem as seguintes características: (i) fundo perfurado; (ii) capacidade estática máxima de 300 toneladas (5.000 sacas); e (iii) altura de cilindro máxima de 6 metros. Quanto aos parâmetros de secagem: (i) o fluxo de ar deve estar entre 1,0 e 10 m³/min por tonelada de produto, (ii) o silo deve possuir área de suspiros equivalente a 1,0 m² para cada 300 m³/min de ar insuflado e (iii) o enchimento do silo pode ser feito por etapas ou em uma única vez.

A secagem neste tipo de secador pode durar de 15 a 30 dias e depende da temperatura, umidade relativa e vazão do ar de secagem. O importante é que estes três parâmetros sejam definidos corretamente. Isto para que a secagem seja completada, sem a ocorrência de deterioração do produto.

Essa modalidade é altamente recomendada para a secagem de arroz, tendo em vista a alta susceptibilidade deste produto a trincas devido aos choques térmicos.

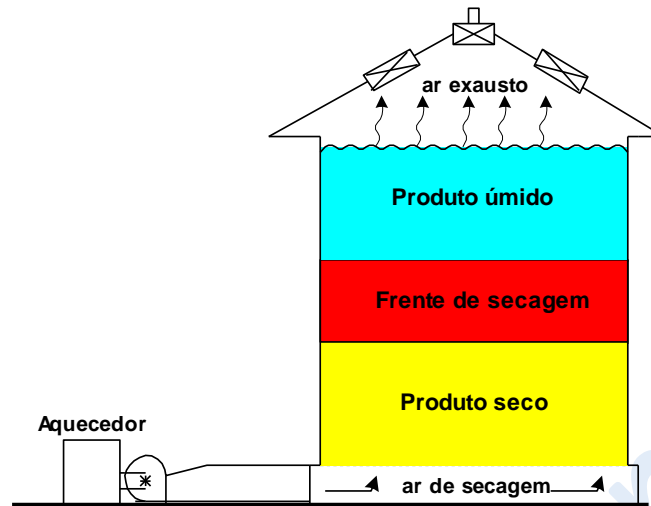


Figura 3 – Silo secador – secagem a baixa temperatura.

4. Secagem a Alta Temperatura

Os secadores desta modalidade operam com temperaturas do ar de secagem superiores em mais 10°C a temperatura ambiente. E estes são classificados segundo dois critérios.

Primeiro, quanto aos sentidos dos fluxos do ar de secagem e da massa de grãos, os secadores podem ser de: (i) leito fixo, (ii) fluxos cruzados, (iii) fluxos contracorrentes, (iv) fluxos concorrentes e (v) fluxos mistos - secador tipo cascata. E segundo, quanto à forma de funcionamento.

a) Secadores de leito fixo

A camada de grãos nestes secadores permanece estática durante a secagem. O modelo representado na Figura 4 dispõe de fornalha a lenha, ventilador e câmara de secagem com capacidade estática em torno de 5,0 toneladas. O tempo de secagem por carga é estimado em 5 horas. O fluxo de ar empregado varia de 1 a 10 m³/min.m² de área da câmara de secagem. A temperatura do ar de secagem varia de 40 a 55°C.

Pelo fato do produto permanecer estático é recomendado o revolvimento a cada três horas. Assim, a secagem do produto dar-se-á uniformemente. Alguns fabricantes comercializam estes secadores com sistemas mecânicos para o revolvimento. Assim é dispensada a interrupção do processo de secagem.

O secador de leito fixo tem sido empregado na secagem de milho em espiga, feijão em ramos, café e arroz. O formato da câmara de secagem pode ser variado e esta pode ter o fundo inclinado para propiciar a descarga por gravidade.

Recentemente, foi introduzida no mercado brasileiro, uma outra configuração de secador de leito fixo. Esta consiste no emprego de um silo com características semelhantes ao representado na Figura 3. No entanto, a temperatura do ar de secagem é de 60°C. Este sistema conta com um conjunto de roscas-sem-fim, Figura 5, que promovem o revolvimento da massa de grãos durante a secagem. Ao final desta, o produto pode ser armazenado no próprio silo, ou então transferido para outro e assim armazenado, Figura 6.

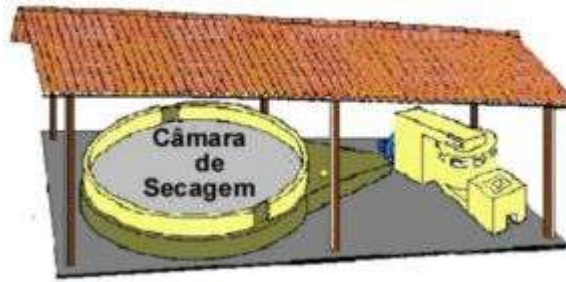


Figura 4 – Secador de leito fixo, desenvolvido por pesquisadores da UFV.



Figura 5 – Sistema de revolvimento de grãos.

Gran Finale



Figura 6 – Conjunto silo secador e silo armazenador.

b) Secadores de Fluxos Cruzados

Conforme a denominação, os fluxos de grãos e ar de secagem cruzam sob um ângulo de 90° na câmara de secagem. Este tipo de secador é o mais difundido mundialmente, devido à facilidade de construção. Na Figura 7 apresenta um secador com duas câmaras de secagem. Na primeira, a superior, há um ventilador axial e na segunda dois. Junto aos ventiladores existem os queimadores de gás.

Conforme o esquema da Figura 7, ocorre inversão de lado das colunas de grãos da primeira para segunda câmara de secagem. Isto é feito para homogeneizar o teor de umidade na massa de grãos. Pois, o produto que se encontra mais próximo à entrada do ar de secagem, torna-lo mais seco e aquecido.

c) Secador de Fluxos Contracorrentes

Nestes secadores os fluxos de grãos e ar de secagem ocorrem em sentidos contrários. Sendo que o fluxo de grãos ocorre no sentido da gravidade e o fluxo de ar em sentido ascendente.

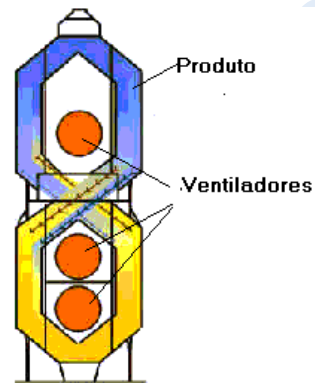


Figura 7 – Secador de fluxos cruzados (Sukup Manufacturing Co.).

Na Figura 8 está esquematizada a configuração típica que conta com um silo dotado de: fundo perfurado, sistema de aquecimento, ventilador e sistema de movimentação de grãos. Em seu funcionamento, a frente de secagem permanece sempre junto ao fundo. À medida que ocorre a secagem, a camada de grãos seca é transportada para silos armazenadores ou então, é depositada na parte superior da massa de grãos. Para tanto, o sistema de movimentação de grãos é acionado por um termostato que monitora o avanço da frente de secagem. Quando o termostato detecta temperatura próxima a 70°C, é acionado o sistema de movimentação de grãos.

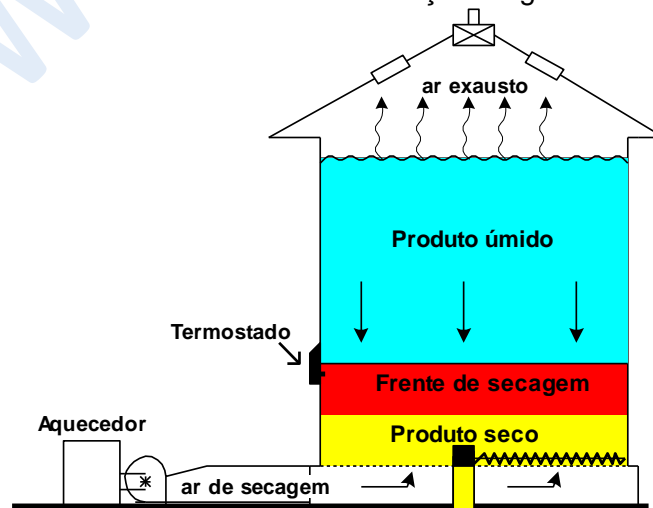


Figura 8 – Secador de fluxos contracorrentes.

d) Secador de Fluxos Concorrentes

São secadores em que os fluxos de ar de secagem e grãos têm o mesmo sentido de deslocamento. As configurações comerciais possuem (a) grandes alturas (b) vários estágios de secagem e descanso e (c) circuitos de reaproveitamento do ar de secagem.

e) Secador de fluxos mistos ou secador do tipo Cascata

Este é o modelo de secador mais utilizado pelas unidades armazenadoras brasileiras, disponibilizado com capacidades horárias de secagem de 15 a 250 t/horas. Estruturalmente, esses secadores possuem uma torre central montada pela superposição vertical de caixa dutos. Uma caixa duto é formada por dutos montados em uma fileira horizontal. Um secador de 40 t/h possui em sua torre cerca de setenta caixas dutos. O nome cascata é definido devido à característica do movimento da massa de grãos por entre os dutos.

Conforme pode ser observado na Figura 9, 2/3 da altura da torre correspondem à câmara de secagem. Pelo lado esquerdo entra o ar de secagem com temperaturas entre 80 a 100°C. E do lado direito é procedida a sucção do ar exausto, que geralmente possui temperatura entorno de $\pm 7^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura ambiente.

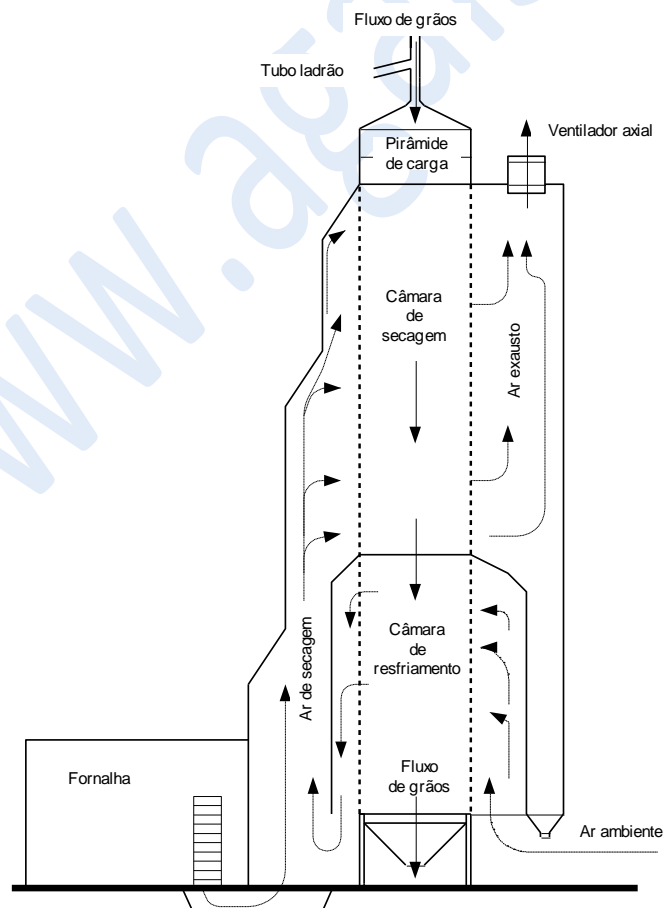


Figura 9 - Secador de fluxos misto.

O 1/3 inferior da altura da torre é destinado à câmara de resfriamento. Cujo objetivo é retirar calor da massa de grãos, deixando-a com temperatura próxima a ideal para a armazenagem. Para o secador esquematizado, ocorre o reaproveitamento do ar que sai da seção de resfriamento. Assim, ao invés de lançá-lo ao ambiente, este é misturado ao ar de secagem, melhorando o rendimento do secador. Este conceito passou a ser empregado a partir dos anos 90.

O secador esquematizado na Figura 9 tem ventiladores colocados na parte superior. No entanto, estes podem estar na lateral ou junto à base. A função dos ventiladores é garantir a vazão de ar necessária à secagem. A mesma é constituída da mistura do ar proveniente: (i) da fornalha, 10%; (ii) do misturador tangencial, também denominado “ciclone ou quebra-chamas”, 40%; e (ii) da câmara de resfriamento, 50%.

Sobre a torre do secador está montada a Pirâmide de Carga. Neste local deve ser mantida uma quantidade de grãos que permita a torre sempre estar cheia. Isto evita a passagem direta do ar de secagem de um lado da torre para o outro. Esta medida além de representar economia de energia calorífica, também evita o superaquecimento dos motores elétricos dos ventiladores e a ocorrência de incêndio.

Nota: O secador esquematizado na Figura 9 apresenta somente um circuito de reaproveitamento do ar de secagem. Atualmente estão sendo introduzidos no mercado secadores com circuitos duplos.

5. Classificação quanto ao funcionamento

Quanto ao funcionamento, os secadores são classificados em contínuos e intermitentes. Contínuos quando o produto necessita passar uma só vez pelo secador para atingir o teor de umidade desejado. Enquanto, para os intermitentes o produto necessita recircular por várias vezes.

Esta classificação não determina uma característica fixa do equipamento. Pois, um mesmo secador, dependendo do teor de umidade da carga, poderá funcionar de forma intermitente ou contínua. Por exemplo, para os secadores tipo cascata, se o teor de umidade do produto for inferior a 20%, estes operam de forma contínua, caso contrário, funcionam de forma intermitente.

6. Seca-Aeração e Secagem Combinada

Seca-aeração e secagem combinada são técnicas empregadas para aumentar o fluxo de secagem e reduzir os gastos com energias elétrica e calorífica.

A seca-aeração consiste na condução da secagem até que o teor de umidade do produto atinja de 15 a 16%. Sem ser submetido ao resfriamento, o produto deve ser conduzido ao local de armazenagem, onde é colocado em descanso por um período de 4 a 12 horas. Em seguida, é submetido à aeração, sendo recomendado um fluxo de ar de 1 a 3 m³ de ar/min por tonelada de produto. Assim a temperatura do produto é reduzida e são removidos de 2 a 3 pontos percentuais de umidade da massa de grãos.

A secagem combinada consiste em realizar a secagem em duas etapas, a primeira em um secador de alta temperatura e a segunda em um silo-secador que opere a baixa temperatura.

7. Considerações Finais

Além das configurações de secadores aqui descritas existem outras tantas. Pois, com base nos fundamentos do processo de secagem e criatividade é possível conceber diferentes formas de secadores. No entanto, devem ser observados os princípios de engenharia, que garantam a concepção de equipamentos eficientes, quanto ao uso das energias elétrica e calorífica.

Referências

BROOKER, D. B., BAKKER ARKEMA, F. W., HALL, C. W. *Drying Cereal Grains*. The Avi Publishing Company, Inc. Westport: Connecticut. 1974. 256 p.

LOEWER, O. J., BRIDGES, T. C., BUCKLIN, R. A. *On-farm drying and storage systems*. ASAE Publication 9, American Society of Agricultural Engineers. 1974.

SILVA, J. S. [editor] *Pré-Processamento de Produtos Agrícolas*. Instituto Maria. Juiz de Fora. 1995. 509 p.

SILVA, L. C. *Stochastic Simulation of the Dynamic Behavior of Grain Storage Facilities*. Viçosa: UFV. (Tese Doutorado). 2002.

WEBER, E. A. *Armazenagem Agrícola*. Editora. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba: RS. 2001. 396 p.