

Capítulo 16

Café: preparo, secagem e armazenamento

*Luís César da Silva
Aldemar Polonini Moreli
Álvaro José Herzog Siqueira*



Introdução

O café torrado ou solúvel é o principal ingrediente para elaboração do café bebida. E para a sua obtenção, tomando como ponto de partida a colheita dos frutos maduros, são requeridas a condução das operações de preparo, secagem, armazenagem, beneficiamento e industrialização (Figura 1). Neste capítulo, são abordadas questões técnicas relacionadas ao preparo, secagem e a armazenagem.

Preparo do café para secagem

O preparo do café inicia nos lavadores com as finalidades de remover impurezas, e estratificar o produto de acordo com a massa específica unitária dos frutos, sendo obtidos dois lotes – frutos maduros e verdes; e frutos passas e secos (REIS; CUNHA; CARVALHO, 2011; SILVA; BEBERT, 1999; MATIELLO, 2002).

Os frutos de café podem ser secos inteiros ou descascados. Quando se seca frutos inteiros essa forma de preparo é denominada “*via seca*” e ao se trabalhar com frutos descascados tem-se o preparo por “*via úmida*”.

No descascamento ocorre a remoção do epicarpo (casca) e no despolpamento a remoção do mesocarpo (polpa ou mucilagem) do fruto. Para tanto, são empregados os descascadores mecânicos em que calhas diferenciadas liberam: a) os frutos descascados envoltos em mucilagem; b) as cascas; c) os frutos verdes.

Os frutos descascados podem seguir direto para secagem ou passarem primeiro pelo processo de remoção da mucilagem utilizando de meios biológico, químico ou mecânico.

A remoção da mucilagem por meio biológico leva a condução do processo de fermentação, em que microrganismos como leveduras, fungos ou bactérias sintetizam enzimas que degradam componentes da mucilagem como açúcares simples, proteínas e lipídeos, o que causa o desprendimento do pergaminho (SILVA et al., 2008; VILELA et al., 2010). E para complementar a remoção da mucilagem o produto é lavado.

O processo de fermentação pode durar de 15 a 20 horas, no entanto, quando se empregam cepas de microrganismos selecionadas o tempo é reduzido para valores próximos de dez horas. O tempo da fermentação é também regulado por fatores, como: a) qualidade de água; b) temperatura ambiente; c) estágio de maturação dos frutos; d) teor de água dos frutos; e) grau de higienização dos tanques de fermentação.

A remoção química da mucilagem emprega soluções aquosas de soda, cal, carbonatos alcalinos ou de enzimas industriais. Os frutos descascados são acondicionados em tanques que contêm essas soluções aquosas. O processo pode ser conduzido com a solução em repouso ou empregando agitadores o que acelera o processo. No entanto, essa forma de degomagem demanda estudos comprobatórios quanto à sua eficiência e os impactos positivos no aprimoramento da qualidade da bebida.

Quanto à remoção da mucilagem por meio mecânico, são empregados os equipamentos denominados desmuciladores, que são instalados ao final das linhas de preparo, normalmente, constituídas de lavadores, descascadores e desmuciladores mecânicos.

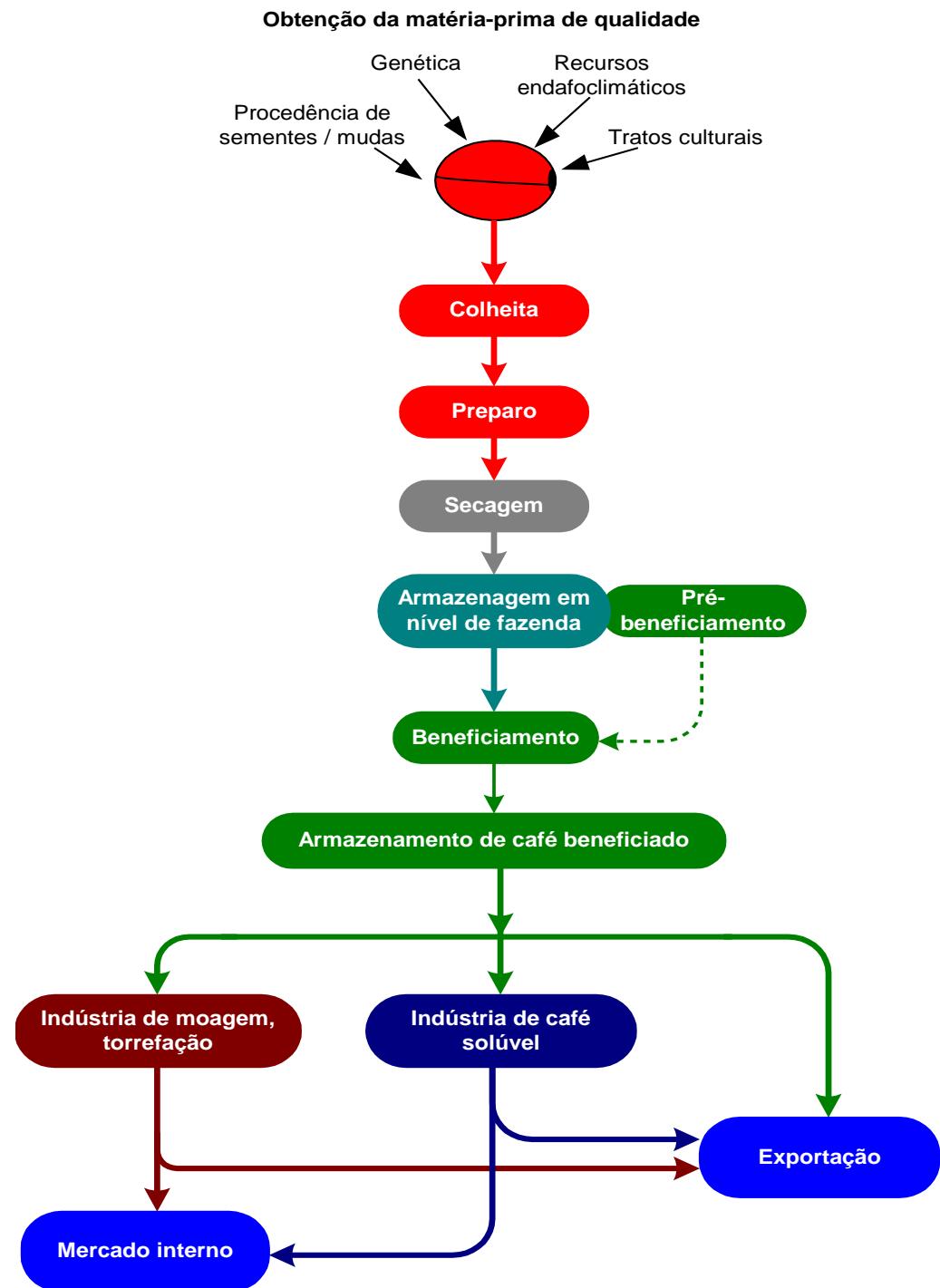


Figura 1. Fluxograma do processamento de café.
Fonte: Luis César da Silva.

Cinética do processo de secagem

A secagem é um método de conservação de alimentos em que o teor de água dos produtos é reduzido a níveis que possibilitam a armazenagem em condição ambiente (BROOKER; BARKER-ARKEMA; HALL, 1992).

Usualmente, o teor de água dos grãos é expresso em base úmida, equação 1. Enquanto, em estudos técnico-científicos como, por exemplo, modelagem e simulação do processo de secagem, o teor de água é expresso em base seca, equação 2.

$$U_{bu} = \frac{Ma}{Mt} \cdot 100 \quad \text{eq. 1}$$

$$U_{bs} = \frac{Ma}{Mms} \quad \text{eq. 2}$$

Em que:

U_{bu} = teor de água, expresso em base úmida, %.

U_{bs} = teor de água, expresso em base seca, decimal.

Ma = massa de água da amostra, kg.

Mt = massa total da amostra, kg.

Mms = massa de matéria seca, kg.

Portanto, para uma carga com 1.000 kg de produto em que o teor de água é 13%, corresponde afirmar que 130 kg são água e 870 kg são matéria seca. Para esse caso, o teor de água em base seca equivale a 0,149.

A fração matéria seca corresponde a constituintes como: amidos, açúcares, lipídeos, proteínas, vitaminas e minerais. Esses constituintes são sintetizados pelas plantas e acumulados nos frutos ou sementes, desde a fecundação até o ponto de maturação fisiológica. A partir desse ponto, a quantidade de matéria seca tende a reduzir, em razão dos processos de respiração do produto, transformações químicas e infestações de microrganismos, ou de pragas como: roedores, insetos e pássaros.

Dante desse cenário, para preservar a quantidade e qualidade da matéria seca, um dos métodos de conservação recomendado é a secagem, por propiciar a desaceleração da atividade metabólica de frutos ou sementes e bloquear a infestação de fungos e bactérias (BROOKER; BARKER-ARKEMA; HALL, 1992; SILVA, 1995).

A desaceleração da atividade metabólica reduz a taxa de respiração, minimizando a perda quantitativa de matéria seca que é exaurida na forma de gás carbônico, água e calor. Outro benefício dessa desaceleração é a minimização da perda de qualidade, em razão da inabilitação da ocorrência de transformações químicas que degeneram constituintes associados à qualidade da bebida final.

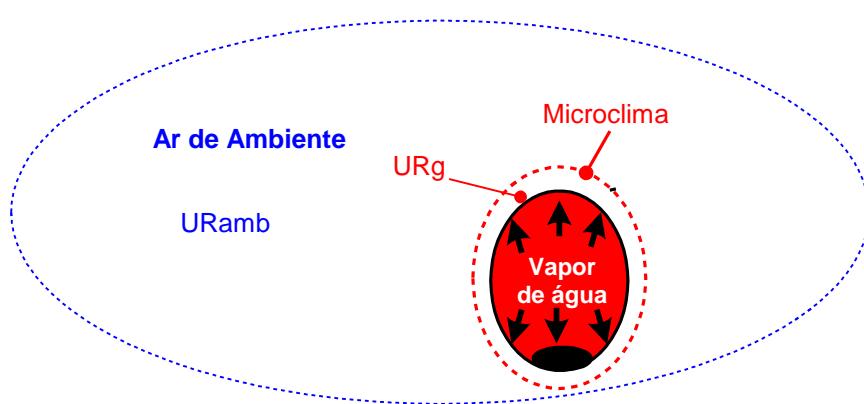
Quanto ao bloqueio da infestação de fungos e bactérias, sabe-se que sobre a superfície dos materiais biológicos é estabelecido um microclima, que tem as condições psicrométricas reguladas, principalmente, pelo teor de água e aporte de calor do produto. Uma das características de interesse nesse microclima é a atividade de água, que varia de zero a um, o que corresponde a níveis de umidade relativa de 0% a 100%, respectivamente.

Em massas de grãos armazenados, quando o teor de água é inferior a 13%, a atividade de água no espaço intergranular equivale a valores próximos de 0,60. Isso inviabiliza o desenvolvimento de fungos e bactérias, pois espécies de fungos associadas aos ambientes de armazenagem requerem níveis de atividade de água entre 0,65 e 0,90, enquanto as bactérias requerem valores acima de 0,90 (BROOKER; BARKER-ARKEMA; HALL, 1992; SILVA, 1995; SILVA; BEBERT, 1999).

Portanto, para conservação da maioria das sementes e grãos em condição ambiente, o teor de água deve ser inferior a 13%, e para café são indicados valores próximos de 12%.

Equilíbrio higroscópico

Materiais biológicos como frutos de café, sementes e grãos são higroscópicos, portanto, absorvem ou perdem água na forma de vapor para o ar circunvizinho. Sobre a superfície de materiais biológicos é estabelecido um microclima, que configura como uma camada delgada de ar cujas condições psicrométricas são regidas pelo aporte de calor e teor de água do produto (Figura 2).



URamb - Umidade relativa do ar ambiente, %; e
URg - Umidade relativa na superfície do grão, %;

Figura 2. Demonstração equilíbrio higroscópico para materiais biológicos.
 Fonte: Luís César da Silva.

Dentre as propriedades psicrométricas do ar, uma das mais citadas é a umidade relativa, que expressa em escala percentual o quanto da capacidade do ar em reter água na forma de vapor está comprometida. Desse modo, por exemplo, ao afirmar que o ar ambiente apresenta-se com temperatura de 32 °C e umidade relativa de 30% conclui-se que apenas 30% da capacidade do ar em reter vapor está sendo utilizada.

Considerando a propriedade umidade relativa para discutir a interação entre o microclima e o ar ambiente (Figura 2), observa-se que há a possibilidade de ocorrência de três cenários:

- Primeiro:** se URg é maior que $Uramb$ – o fluxo de massa de vapor de água ocorrerá do produto para o ar ambiente, até que os valores de umidade relativa tornem iguais.

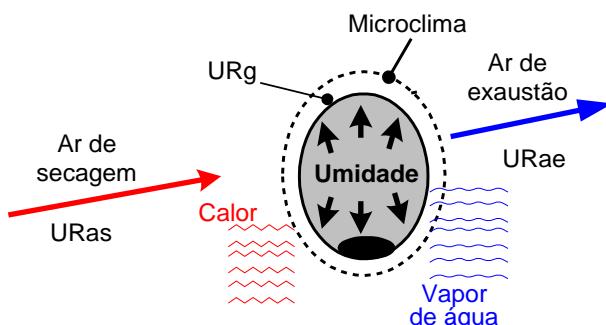
- b) **Segundo:** se URg é menor que $Uramb$ – ocorre a situação inversa a do primeiro cenário.
- c) **Terceiro:** se URg é igual a $Uramb$ – não há fluxo de massa de vapor, o que se denomina equilíbrio higroscópico.

Fundamentos do processo de secagem

Para que ocorra secagem a umidade relativa na superfície do material tem que ser maior que a umidade relativa do ar circunvizinho. Portanto, para promover a secagem há de se promover o aumento da umidade relativa na superfície dos materiais e ou reduzir a umidade relativa do ar circunvizinho, que passa a ser denominado ar de secagem.

Conforme representado na Figura 3, o aumento da umidade relativa na superfície do produto, didaticamente, pode assim ser explicado:

- a) **Primeiro:** à medida que os grãos recebem calor do ar de secagem, internamente, ocorrem processos que levam a vaporização da água e a difusão do vapor para a superfície, consequentemente a umidade relativa na superfície do grão (URg) aumenta. No caso da secagem de café em terreiros ou estufas, a maior parte do aporte de calor ao produto resulta da exposição à radiação solar.
- b) **Segundo:** como na superfície do produto a umidade relativa (URg) torna-se maior que a umidade relativa do ar de secagem ($URas$), é então estabelecido um gradiente, forçando o vapor a migrar da superfície do produto para o ar de secagem.
- c) **Terceiro:** pelo fato do ar de secagem ter cedido calor aos grãos e ter recebido água na forma de vapor, o ar de exaustão tem a umidade relativa aumentada e temperatura reduzida.



$URas$ - Umidade relativa do ar de secagem, %;
 URg - Umidade relativa na superfície do material, %; e
 $URae$ - Umidade relativa do ar de exaustão, %.

Figura 3. Representação do processo de secagem de grãos.
Fonte: Luís César da Silva.

É importante frisar que as três etapas supracitadas ocorrem simultaneamente em um leito de produto. A divisão proposta foi aplicada para facilitar a exposição de forma didática.

A redução da umidade relativa do ar de secagem, ou seja, o aumento do potencial de secagem do ar, é feito com incremento de temperatura deste ar. Este aumento de

temperatura origina-se da combustão da lenha, carvão ou gás, ou do uso de resistores elétricos, ou ainda do emprego de coletores solares.

Desse modo, o ar com maior potencial de secagem, terá maior quantidade de calor para ceder ao produto, e maior capacidade de reter a quantidade extra de vapor de água proveniente do produto.

E para evitar que o ar atinja o estádio de saturação dentro da massa de produto, há a necessidade da constante renovação do ar em contato com o produto. O que é feito naturalmente por correntes convectivas, ou, artificialmente, empregando ventiladores. Assim, é conferida ao ar a capacidade de transportar massa de vapor adquirida, para fora do ambiente de secagem. Diante dessas necessidades os secadores normalmente dispõem de sistemas de geração de calor e de movimentação do ar.

Sistemas de geração de calor

As fornalhas são os equipamentos utilizados para promover a combustão, gerando calor a ser transferido ao ar de secagem. Para tanto, uma fornalha deve ser dimensionada para: a) possibilitar o aquecimento do combustível até a temperatura de ignição autossustentável; b) promover a mistura homogênea do ar com o combustível a uma dose ideal; c) propiciar o espaço de tempo para que ocorra a combustão completa.

Quanto à natureza dos combustíveis as fornalhas são classificadas conforme representado na Figura 4.

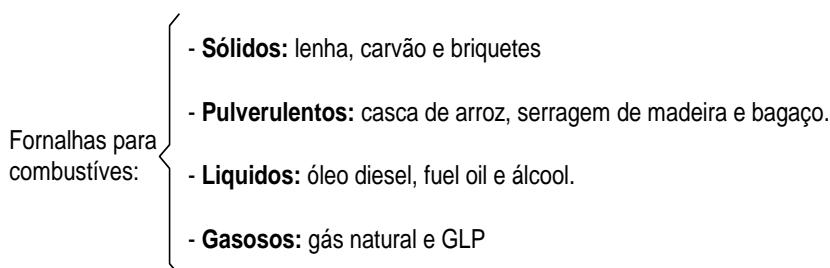


Figura 4. Classificação das fornalhas segundo a natureza dos combustíveis.

E quanto à forma de aproveitamento do calor gerado, as fornalhas são classificadas em: a) fornalhas de fogo direto – quando os gases gerados na combustão misturam-se ao ar de secagem; b) fornalhas de fogo indireto – quando o calor gerado é repassado ao ar de secagem por meio de um trocador de calor.

Fornalhas para combustíveis sólidos

Nessa categoria se enquadram as fornalhas à lenha para geração de calor que é repassado ao ar de forma direta (Figura 5) ou indireta (Figura 6) (SILVA, 1995; SILVA; BEBERT, 1999; SILVA, 1991). Essas duas modalidades de fornalhas podem ser

empregadas na secagem de café, no entanto, o emprego das de fogo direto requer maior atenção na operação, pois se a combustão não for completa alguns contaminantes poderão depreciar a qualidade do café.

Quanto às fornalhas de fogo indireto, a possibilidade de contaminação é menor, porém a eficiência operacional é menor em razão do trocador de calor.

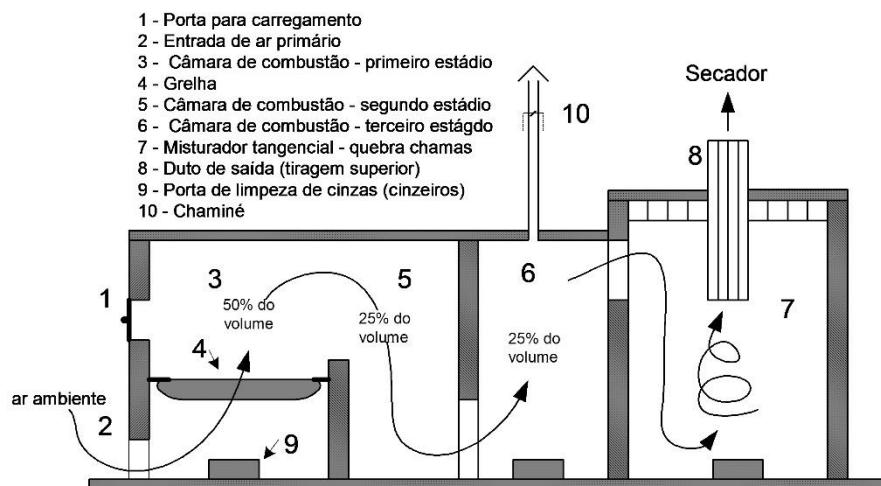


Figura 5. Desenho esquemático de fornalha para lenha – tipo fogo direto.

Fonte: Luís César da Silva.

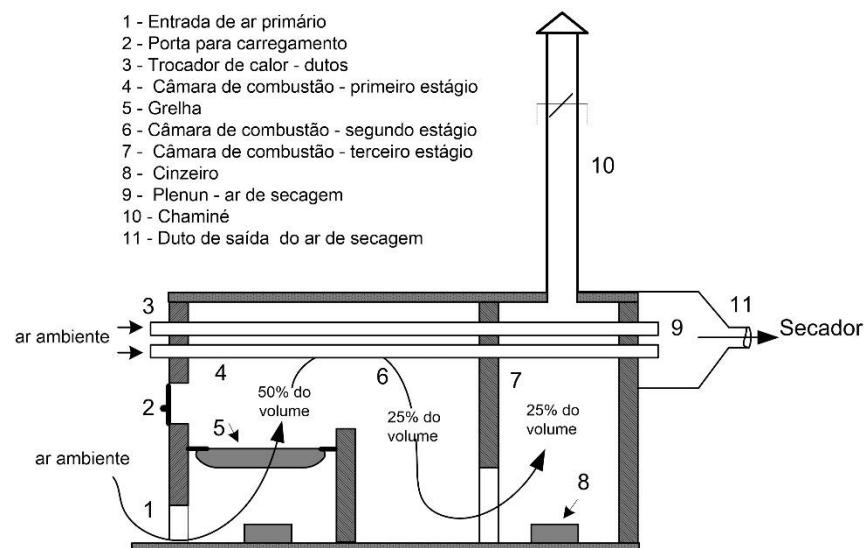


Figura 6. Desenho esquemático de fornalha para lenha – tipo fogo indireto.

Fonte: Luís César da Silva.

Observando os desenhos esquemáticos das fornalhas de fogo direto (Figura 5) e indireto (Figura 6), tem-se que os elementos básicos são: portas de abastecimento, câmara de combustão, grelha, entrada de ar primário, cinzeiros, chaminé, misturador tangencial (quebra chamas ou ciclone) e trocador de calor.

As portas de abastecimento são aberturas na câmara de combustão destinadas ao abastecimento de lenha. E devem ser abertas somente nos momentos de abastecimento.

A câmara de combustão é o espaço destinado ao processo de combustão. Esta deve ser projetada para que ocorra a combustão da lenha sobre a grelha e dos gases voláteis originados. Normalmente, a câmara de combustão é dividida em três estádios (Figuras 5 e 6). O primeiro estádio, que corresponde a 50% do volume da câmara, é onde ocorre a combustão da lenha. O segundo e terceiro estádios são utilizados para queima dos gases voláteis originados da combustão da lenha. Cada um deles corresponde a 25% do volume da câmara.

Nesses estádios força-se a recirculação dos gases da combustão por dois motivos: a) permitir a retenção dos gases voláteis por um intervalo de tempo que possibilite a combustão completa; b) eliminar a ocorrência de fagulhas.

A grelha, normalmente, é uma grade metálica localizada na câmara de combustão com a função de manter a lenha suspensa. Isso facilita o envolvimento da lenha pelo ar e promove a turbulência do ar.

As entradas de ar primário são aberturas abaixo da linha da grelha, situadas geralmente na parte frontal das fornalhas. Essas aberturas têm por função propiciar a entrada do volume de ar necessário para combustão.

Os cinzeiros são aberturas localizadas na parte inferior do corpo da fornalha utilizadas para remoção dos resíduos da combustão. Estas aberturas devem estar fechadas durante o uso da fornalha.

A chaminé tem por função gerar um gradiente de pressão que possibilita sucção do ar ambiente e retirada dos gases da combustão. Em fornalhas de fogo direto, as chaminés são utilizadas no início e término da operação, ou seja, quando os ventiladores dos secadores estão desligados. Desse modo, no início, o operador ao preparar-se para acender a fornalha deve abrir o registro da chaminé. E ao final da secagem, quando os ventiladores são desligados, o registro da chaminé deve ser aberto para liberar gases da combustão que com alto aporte de calor provocam rachaduras nas fornalhas. Para as fornalhas de fogo indireto o registro da chaminé permanece aberto durante a operação.

O misturador tangencial, também denominado de quebra chamas ou ciclone, é empregado em fornalhas de fogo direto. Essa estrutura promove a mistura dos gases provenientes da câmara de combustão com o ar ambiente em proporções que estabeleçam temperatura e fluxo de ar adequados a operação do secador. A denominação quebra chamas refere-se ao fato do misturador tangencial eliminar a ocorrência de faíscas de brasa no secador. E ciclone pela característica de movimentação circular do ar dentro do misturador tangencial. Outro benefício do misturador tangencial quando projetado e operado adequadamente é a redução da possibilidade de contaminação do café com possíveis odores associados à combustão da lenha.

Quanto ao trocador de calor, que está presente somente nas fornalhas de fogo indireto (Figura 6), poderá ser constituído de tubos metálicos que cruzam a câmara de combustão recebendo aporte de calor por condução, ao ter contato com os gases da combustão que atingem temperaturas de até 500 °C, e por radiação. Dentro dos tubos

do trocador de calor, flui o ar ambiente em razão da força de sucção imposta pelo ventilador do secador. Assim, à medida que o ar flui pelos dutos o aporte de calor aumenta, consequentemente, o potencial de secagem do ar é aumentado.

Trocadores de calor à base de vapor

Na secagem de café procurando evitar o contato com gases gerados pela combustão de lenha podem-se empregar caldeiras à lenha para geração de vapor que são conduzidos por meio de tubulações até trocadores de calor instalados junto à entrada do ar das câmaras de secagem dos secadores.

Sistemas de movimentação de ar

Determinados modelos de secadores requerem um sistema para movimentação de ar, o que inclui ventilador, dutos, registros e câmara “*plenum*” (BROOKER; BARKER-ARKEMA; HALL, 1992).

Os ventiladores são bombas projetadas para movimentação de gases ou mistura de gases como o ar. E, semelhantemente ao que ocorre com o processo de seleção de bombas de água, os ventiladores são selecionados segundo a pressão e vazão a ser imprimida ao fluxo de ar.

A pressão refere-se à resistência imposta a passagem do fluxo de ar, que é imposta pela rugosidade das paredes dos dutos, chapas perfuradas, registros, e principalmente a altura da camada de produto.

Associadas a um fluxo de ar constatam-se três modalidades de pressão: estática, dinâmica e total, que são expressas em milímetros ou centímetros de coluna de água, abreviadas como “*mm. c.a.*” e “*cm c.a.*”, respectivamente.

A pressão estática está associada ao potencial em colocar a massa de ar em movimento. Portanto, ao passar pelo rotor do ventilador a pressão estática do fluxo de ar é aumentada. À medida que a massa de ar entra em movimento ganhando velocidade, proporcionalmente, a pressão estática diminui enquanto a pressão dinâmica aumenta. Desse modo, quanto maior a pressão dinâmica maior é a velocidade do ar. A soma das pressões estática e dinâmica corresponde à pressão total.

Ao longo de um circuito de movimentação de ar há conversão da pressão estática em pressão dinâmica e vice-versa (Figura 7). Inicialmente, o ventilador imprime pressão estática ao ar, que ao passar pelo duto tem a pressão convertida em pressão dinâmica aumentando a velocidade. Com aproximação da câmara *plenum*, à medida que o fluxo de ar passa pela transição a velocidade é reduzida, indicando que a pressão dinâmica está sendo convertida em pressão estática. Na câmara *plenum* o esperado é que a pressão estática seja máxima e igualmente distribuída por toda a seção na base da coluna de grãos. Isso deve ocorrer para que o fluxo de ar estabelecido pela coluna de grãos tenha a mesma intensidade por toda a seção em estruturas como: silo armazenadores, tulhas e nas câmaras de secagem e de resfriamento dos secadores.

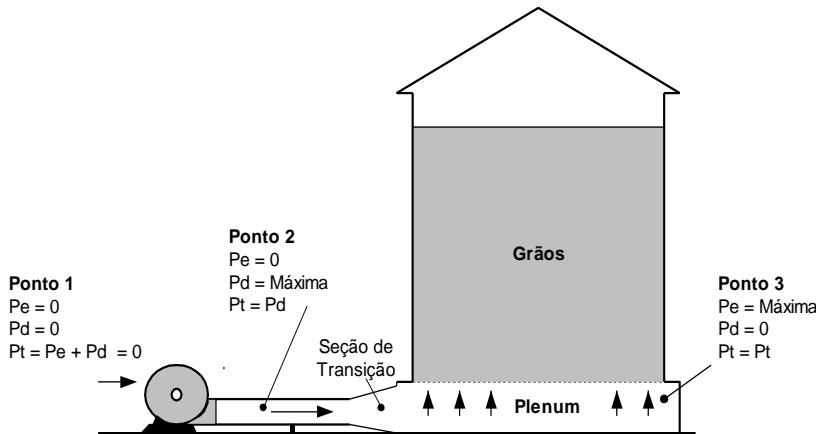
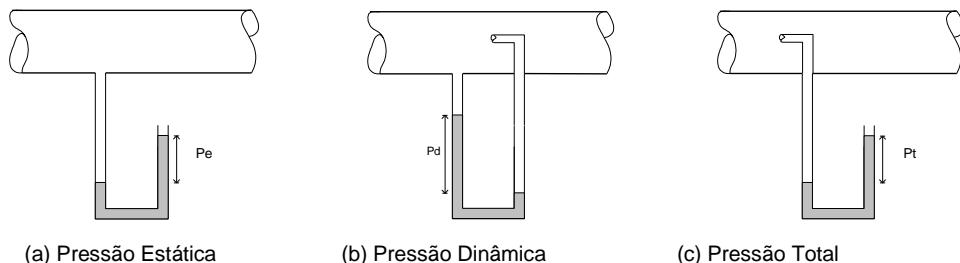


Figura 7. Representação das modalidades de pressão de um fluxo de ar em um sistema de aeração.

Fonte: Luís César da Silva.

Para medição das modalidades pressões (Figura 8), basta à abertura de orifício junto à parede de tubulações, silos, tulhas ou câmaras *plenum* e o emprego de um manômetro em "U" tendo por líquido água. Os valores das pressões correspondem às alturas das colunas de água "Pe", "Pd" e "Pt" expressas em "cm de c.a", ou "mm de c.a".



(a) Pressão Estática

(b) Pressão Dinâmica

(c) Pressão Total

Figura 8. Formas de medição das pressões estática, dinâmica e total de fluxos de ar.

Fonte: Luís César da Silva.

Medidas associadas ao fluxo de ar

A caracterização de um fluxo de ar pode ser feita pelas seguintes propriedades:

- a) **Velocidade:** A velocidade do ar pode ser expressa nas seguintes unidades: m/min ou m/sec. Para determinação podem ser utilizados anemômetros ou então procedidos cálculos, equação 3.

$$V = 4,13\sqrt{Pd} \quad \text{eq. 3}$$

Em que:

V = velocidade do ar, m/seg; e
 Pd = pressão dinâmica do ar, mm c.a.

- b) **Vazão:** Corresponde ao volume de ar que passa por uma seção por unidade de tempo. Assim, a vazão de ar pode ser expressa em: m^3 de ar/seg; m^3 de ar/min; m^3 de ar/h; L de ar/seg; L de ar/min; ou L de ar/h. Para determinação da vazão, conforme a equação 4, deve ser determinada a área da seção por onde flui o ar e a velocidade.

$$Q = A \cdot V \quad \text{eq. 4}$$

Em que:

Q = vazão de ar, m^3 de ar/seg.
 A = área da seção por onde passa o fluxo de ar, m^2 .
 V = Velocidade do ar, m/seg.

- c) **Vazão específica:** A vazão específica de ar corresponde à razão da vazão de ar em relação a uma área, ou ao metro cúbico de produto, ou a tonelada de produto. Assim as medidas podem ser:

- Vazão específica por área $\rightarrow m^3$ de ar/min. m^2 de chapa ou seção do tubo; ou L de ar/min. m^2 de chapa ou seção do tubo.
- Vazão específica por metro cúbico de produto $\rightarrow m^3$ de ar/min. m^3 de produto; ou L de ar/min. m^3 de produto.
- Vazão específica por tonelada de produto $\rightarrow m^3$ de ar/min. tonelada produto; ou L de ar/min. tonelada produto.

Secagem

Para secagem de café no Brasil são empregados terreiros e secadores, ou ainda a combinação desses.

Nos terreiros, a radiação solar é empregada para aumentar os aportes de calor do produto e do ar de secagem, o que gera alta dependência das condições climáticas. Desse modo, no período de colheita são esperados: a) baixos índices de precipitação pluviométrica; b) baixa umidade relativa; c) baixos índices de nebulosidade. Se essas as condições climáticas forem favoráveis, essa modalidade de secagem deve ser a preferida, por propiciar menores danos térmicos e mecânicos ao café, o que contribui para preservação da qualidade.

Quanto aos secadores, são equipamentos que empregam artifícios para reduzir o tempo de secagem. Esses artifícios configuram nos seguintes acessórios: a) gerador de calor para aumentar o potencial de secagem do ar; b) sistema de movimentação de ar para acelerar a troca de calor entre o ar e o produto, e carrear água proveniente do produto para o ambiente; c) sistema de movimentação de grãos constituídos de transportadores, como: elevadores de caçamba, transportadores helicoidais e correias transportadoras. Esses transportadores propiciam a carga e descarga, bem como, a movimentação do produto pelas seções do secador durante a secagem.

Os secadores providos de elevadores de caçamba e transportadores helicoidais devem ser empregados somente se o teor de água do café estiver abaixo de 30%, para evitar danos mecânicos, como o esmagamento do produto. Como o café por ocasião da colheita apresenta teores de água entre 45% e 60%, é necessário proceder a “*meia seca*”, que consiste em reduzir o teor de água do café a valores próximos de 30%. Para condução da “*meia seca*” empregam-se terreiros ou secadores de leito fixo.

Secagem em terreiros

Tradicionalmente, no Brasil a secagem de café é realizada em terreiros que podem ser de chão batido, asfalto, cimento ou tijolo de argila rejuntado. O terreiro de chão batido deve ser evitado por comprometer a qualidade do produto em razão do aumento da sujidade e da impregnação de odores indesejáveis, além de dificultar a movimentação do produto. O terreiro de asfalto apresenta absorção excessiva da radiação solar causando superaquecimento do café, o que impacta negativamente na qualidade. O terreiro de cimento apresenta alta reflexão da radiação solar o que pode estender o tempo de secagem, no entanto facilita o escoamento de água de chuvas. E o terreiro de tijolo de argila rejuntado apresenta-se como a melhor opção quanto à condução da secagem, no entanto apresenta menor durabilidade e a tendência de absorver mais água de chuvas ao ser comparado ao terreiro de cimento. Portanto, apesar da desvantagem descrita, o terreiro de cimento é preferido pela facilidade de construção, maior durabilidade e fácil escoamento de água de chuva.

Para construção do terreiro deve-se buscar um local com boa exposição à radiação solar, sem sombreamento e boa ventilação e drenagem. O terreiro deverá possuir: a) declividade de 0,5% a 1,5% para facilitar o escoamento de água; b) muretas de delimitação com altura de 0,20 m e largura de 0,15 m; c) canaletas nas laterais para drenagem superficial da água coletada. Essas canaletas podem ser cobertas por grades ou contar com ralos com grades que permitam a passagem da água e a retenção do café.

Pesquisadores brasileiros têm proposto aprimoramentos tecnológicos à secagem em terreiros visando potencializar os benefícios dessa modalidade, e reduzir o tempo de secagem. Dentre os aprimoramentos, podem ser destacados: o terreiro suspenso, o terreiro híbrido, a estufa e o terreiro barcaça.

Terreiro suspenso

O terreiro suspenso se constitui em uma estrutura em que o leito de produto é colocado sobre uma tela perfurada suspensa por estrutura de madeira (Figura 9). Sobre a estrutura do terreiro suspenso pode também ser montada uma cobertura móvel, a ser deslocada sobre o leito de grãos nos períodos de não exposição à radiação solar.

O terreiro suspenso utiliza a radiação solar para aquecer a massa de produto, e o fato de ser elevado facilita a passagem do ar acelerando a troca de calor e o transporte da massa de vapor de água proveniente do produto. Outro benefício é evitar o ganho de sujidade.

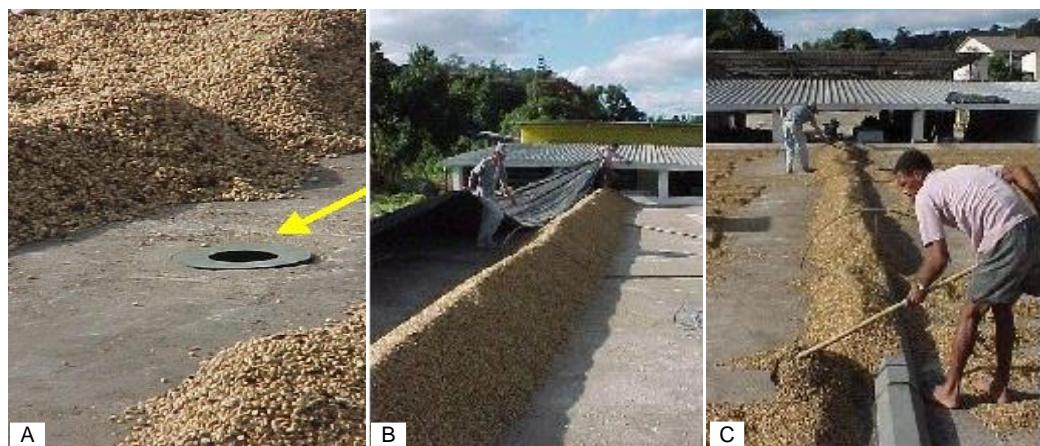


Foto: João Maria Diocleiano

Figura 9. Terreiro suspenso. montado no interior de uma estufa.

Terreiro híbrido

O terreiro híbrido utiliza a mesma estrutura dos terreiros de cimento, sendo instalado no piso do terreiro um sistema de calefação. Esse sistema conta com uma fornalha para o aquecimento do ar, um ventilador para aplicar fluxo de ar e dutos que possuem saídas pontuais ao longo do terreiro. Em períodos de baixo índice de insolação, ou de chuvas o produto é enleirado sobre dutos perfurados instalados sobre as saídas do sistema de calefação (Figura 10).



Fotos: Marcos Moulin Teixeira

Figura 10. Terreiro híbrido: (a) saída do sistema de calefação; (b) enleiramento do café; (c) leira de café sobre o duto perfurado.

Fonte: Incaper-CETCAF.

Estufas

As estufas (Figura 11) são construídas empregando filmes plásticos que permitem a passagem da radiação solar, e retêm parte dessa radiação no ambiente aprimorando as trocas de calor que promovem o aquecimento de leito de produto e do ar. Assim, acelera-se a migração de vapor de água do produto para o ar ambiente.



Foto: Marcos Moulin Teixeira

Figura 11. Secagem em estufa.

Fonte: Incaper-CETCAF.

Normalmente, os filmes plásticos empregados são permeáveis à passagem de radiações de ondas longas e curtas, mas retêm internamente as de ondas longas o que promove o aquecimento do ar ambiente, aumentando o seu potencial de secagem.

Portanto, ao se ter os benefícios do aquecimento da massa de produto e do aumento do potencial de secagem do ar ambiente, o tempo de secagem é reduzido, quando comparado com a secagem em terreiro.

Para acelerar o processo de secagem utilizando estufas, podem-se montar terreiros suspensos no interior das estufas, melhorando o contato da massa de ar com o leito de produto (Figura 9).

Terreiro barcaça

O terreiro barcaça emprega a estrutura dos terreiros de cimento e sobre o terreiro é montada, sobre trilhos, uma cobertura com treliças em madeira ou em material metálico e telhas confeccionadas em material plástico (Figura 12). Durante os períodos de secagem, à noite e nos dias chuvosos a cobertura permanece sobre o leito de frutos de café. E quando da necessidade de revolvimento do produto a cobertura é deslocada.

Fato que propicia maior conforto ao operador, que não será exposto às condições ambientes desconfortáveis presentes no interior das estufas.



Fonte: Enrique Anastácio Alves

Figura 12. Terreiro barcaça idealizado.

Secagem em secadores

Em função do valor da temperatura do ar têm-se a secagem à baixa temperatura e a secagem à alta temperatura. A secagem em baixa temperatura emprega ar com temperatura ambiente ou aquecido em no máximo mais 10 °C. O emprego de temperaturas do ar de secagem acima desses valores caracteriza a secagem em alta temperatura.

A secagem à baixa temperatura não é usual para café. No entanto, em regiões com padrões de baixa umidade relativa por ocasião da colheita essa poderia ser empregada para complementar a secagem. Nesse caso, faz-se necessário primeiro utilizar outra modalidade de secagem para reduzir o teor de água do produto a níveis de 18%, para então ser empregada a secagem à baixa temperatura.

Estruturalmente, os secadores à baixa temperatura, são silos que devem possuir as seguintes características: a) fundo perfurado; b) capacidade estática máxima de 300 t; c) altura de cilindro máxima de 6 m. Quanto aos parâmetros de secagem: a) o fluxo de ar deve estar entre 1,0 m³/min e 10 m³/min por toneladas de produto; b) o silo deve possuir área de suspiros equivalente a 1,0 m² para cada 300 m³/min de ar insuflado; c) o enchimento do silo pode ser feito por etapas ou em uma única vez.

Nesse tipo de secador a secagem poderá durar até 15 dias, fato que dependerá das condições de secagem. Desde modo, o dimensionamento do sistema deve ser feito de tal forma que a secagem seja completada antes que decorra a deterioração da massa de produto, principalmente, na parte superior do silo.

Quanto à secagem de café à alta temperatura os secadores podem ser classificados segundo: a) os sentidos de deslocamentos dos fluxos de produto em relação ao ar de secagem; b) a forma de operação.

Quanto aos sentidos dos fluxos de produto e ar de secagem (Figura 13) os secadores são de: a) leito fixo; b) fluxos cruzados; c) fluxos contracorrentes; d) fluxos concorrentes; e) fluxos mistos (BROOKER; BARKER-ARKEMA; HALL, 1992; SILVA, 1991).

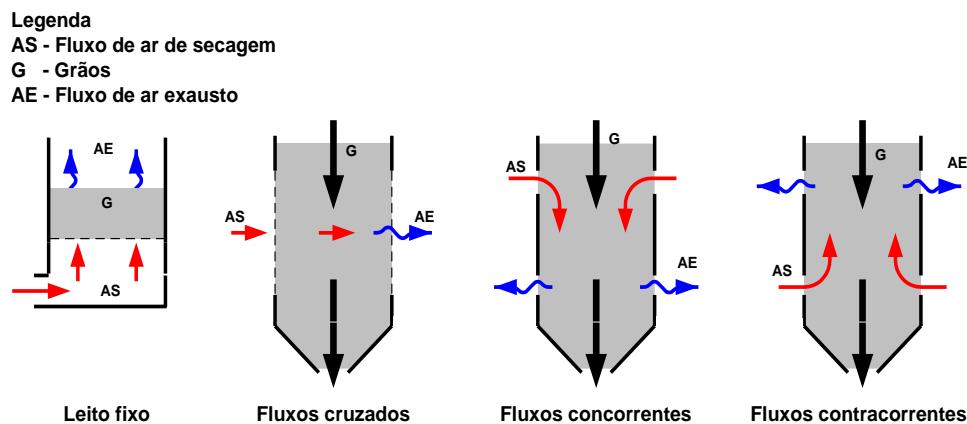


Figura 13. Modalidades de secadores de grão para secagem a alta temperatura.

Fonte: Luís César da Silva.

Secadores de leito fixo

São secadores que o leito de produto permanece estático durante a secagem. Os empregados para secagem de café dispõem de fornalha de fogo direto, ventilador e câmara de secagem. A câmara de secagem pode ser circular ou retangular possuindo capacidade estática em torno de 5 t.

Nesse modelo de secador, empregam-se fluxos de ar de $1 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$ a $10 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$ e temperatura do ar de 40°C a 55°C . Pelo fato do leito de produto permanecer estático durante a secagem é recomendado o revolvimento a cada três horas. Isso pode ser realizado manualmente ou por meio de revolvedores mecânicos, que podem operar continuamente ou a determinados intervalos de tempo predeterminados. Com o revolvimento busca-se obter homogeneidade da temperatura e teor de água do produto.

No caso específico da secagem de café os secadores de leito fixo, podem ser empregados para: a) secar café em coco ou descascado; b) conduzir todo o processo de secagem do café com teor de água inicial acima de 55% e até a obtenção do teor final entre 11% e 12%. Assim é dispensado o uso do terreiro e de outras modalidades de secador; c) conduzir a “meia seca” do café em que a redução do teor de água se dá até 30%; ou d) complementar a secagem do café conduzida em terreiros.

Secadores de fluxos cruzados

Conforme a denominação do secador, os fluxos de grãos e ar de secagem cruzam-se sob um ângulo de 90° na câmara de secagem. Este tipo de secador é o mais difundido, principalmente, devido à facilidade de construção. Nessa modalidade, um dos secadores mais empregados pelos cafeicultores é o secador horizontal rotativo (Figura 14). O ar de secagem é introduzido na parte central da câmara de secagem e cruza a camada de produto radialmente. A câmara de secagem tem movimento circular propiciando homogeneização e limpeza do produto.

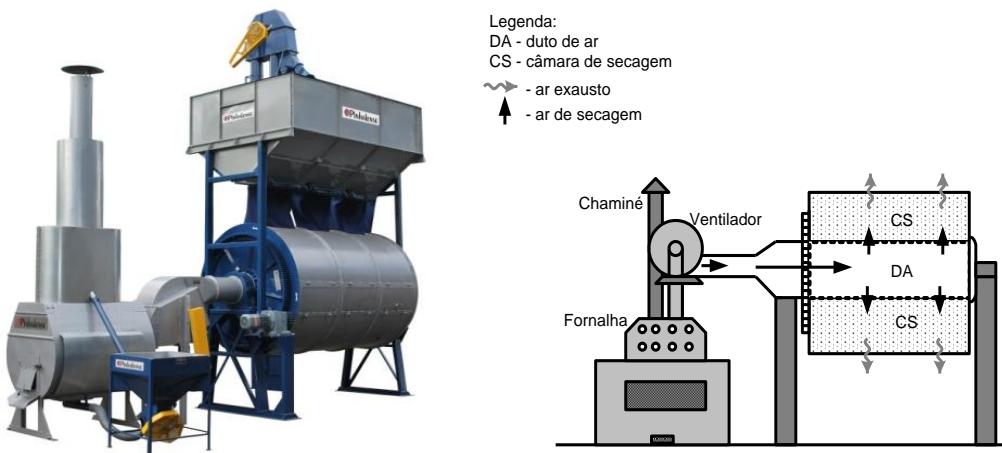


Figura 14. Secador horizontal rotativo – modalidade fluxos cruzados (Gentileza Pinhalense).
Fonte: Luís César da Silva.

Nos secadores horizontais rotativos, por não serem empregados transportadores como elevadores de caçamba e helicoidais, estes podem ser utilizados para conduzir a secagem desde o estádio de colheita até que seja atingido o teor de água indicado para armazenagem. No entanto o usual é conduzir a “meia seca” em terreiros e complementar a secagem no secador.

Na secagem de café canéfora, o emprego desse tipo de secador tem ocorrido de forma incorreta, pois há relatos da utilização de temperaturas do ar de secagem superiores a 100 °C. Esses níveis de temperaturas para esse tipo de secador aumentam os danos mecânicos e térmicos depreciando qualidades físicas, organolépticas e da bebida.

Secador de fluxos contracorrentes e concorrentes

Na Figura 15 são apresentados desenhos esquemáticos de protótipos de secadores de fluxos contracorrentes e concorrentes desenvolvidos e avaliados por pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa. O que os difere são os sentidos dos fluxos de produto e ar de secagem nas câmaras de secagem. Enquanto nos secadores de fluxo contracorrentes o ar de secagem tem sentido ascendente em oposição ao fluxo de produto, nos secadores concorrentes os fluxos de produto e ar de secagem possuem o mesmo sentido.

Classificação dos secadores quanto à forma de operação

Quanto ao funcionamento, os secadores são classificados em contínuos e intermitentes. São contínuos quando o produto passa uma única vez pelo secador para atingir o teor de água desejado, enquanto nos intermitentes, também denominada secagem por batelada, o produto necessita recircular várias vezes pelo secador até ser atingido o teor de água desejado. Normalmente os secadores de café que contam com sistema de movimentação de produto operam de forma intermitente.

Para melhoria da eficiência na secagem intermitente é indicado que o secador conte com uma câmara de descanso, pois possibilita a redução do tempo de secagem,

preserva a qualidade do produto por reduzir o tempo de exposição do produto ao fluxo de ar de secagem e minimizar a ocorrência de danos mecânicos. No período de descanso, a água do produto redistribui pelas camadas do grão, facilitando a difusão do vapor de água, do interior para a superfície do produto, e o processo de secagem.

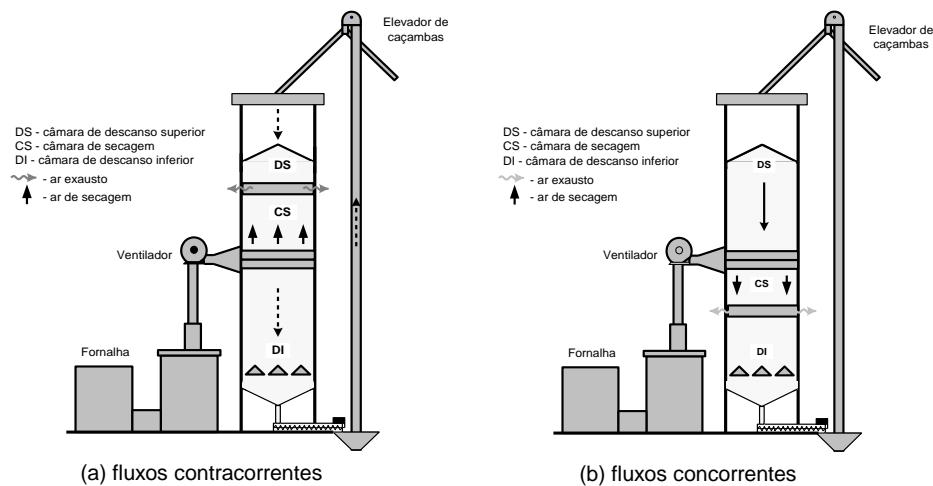


Figura 15. Protótipos de secadores de fluxos contracorrentes e concorrentes – UFV.
Fonte: Luís César da Silva.

Seca-aeração e secagem combinada

Seca-aeração é uma operação para a complementação da secagem, que consiste em:
 a) retirar o produto do secador quente e com até dois pontos a mais do teor de água recomendado para a armazenagem; (b) deixar o produto em descanso por período de 4 a 12 horas; c) complementar a secagem com a aplicação de ar à temperatura ambiente sob um fluxo de 1 m³/min a 3 m³/min por tonelada de produto. A seca-aeração propicia a redução de danos mecânicos e térmicos ao produto e racionaliza o uso do secador no período de colheita.

A secagem combinada consiste no emprego de duas modalidades de secagem. Exemplo, para secar café pode-se empregar primeiro um secador de leito fixo para reduzir o teor de água do produto de 60% para 30%, o que é denominado “meia seca”; e depois empregar um secador de fluxos cruzados para complementar a secagem até o teor de água final de 12%.

Avaliação de eficiência de sistemas de secagem

Para a avaliação de sistemas de qualquer natureza pode-se adotar a metodologia de elencar as variáveis de entrada, parâmetros do sistema e variáveis de saída (BROOKER; BARKER-ARKEMA; HALL, 1992; SILVA, 1991).

No caso específico para o sistema secador pode-se elencar como variáveis de entrada:

- Quantidade de produto úmido, kg.

- b) Teor de água inicial do produto, %.
- c) Quantidade de combustível consumida, kg.
- d) Preço do combustível (lenha), R\$/kg.
- e) Preço de energia elétrica, R\$/kWh.
- f) Preço da mão de obra, R\$/h.

São parâmetros do sistema ou o mesmo que características técnicas e operacionais:

- a) Capacidade estática do secador, kg (ou sacas).
- b) Capacidade horária do secador, kg/h (ou sacas/h).
- c) Vazão de ar, m³ de ar/mim.
- d) Custos de manutenção e depreciação, R\$/ano.

E quanto às variáveis de saída são elencadas:

- a) Quantidade de produto seco, kg.
- b) Teor de umidade final, %.
- c) Tempo de secagem, h.
- d) Quantidade de água removida do produto, kg.
- e) Quantidade de combustível consumida, kg.
- f) Quantidade de energia elétrica consumida, kW.h.
- g) Quantidade de calor empregada na secagem, k Caloria ou k Joule.

Utilizando as variáveis de entrada, parâmetros do sistema e variáveis de saída podem ser calculados os seguintes parâmetros para medida de eficiência operacional do secador:

- a) Consumo específico de energia calorífica: é a razão entre a quantidade de calor empregada na secagem e a quantidade de água removida do produto, expressando quantas quilocalorias foram gastas para evaporar um quilo de água do produto.
- b) Custo de secagem: é calculado pela razão do custo operacional com a quantidade de produto seco, sendo expresso em reais por kg, ou tonelada ou saca.

Além das avaliações de parâmetros técnicos e econômicos associados à operação dos secadores, devem ser também avaliados os impactos à qualidade do produto, como, por exemplo, os índices de grãos danificados antes e após a secagem, os impactos na qualidade de bebida do café comparando a outro tipo de secagem e os índices de germinação antes e após a secagem. A variação da germinação é uma forma de quantificar os efeitos do processo de secagem.

Influência da secagem sobre a qualidade do café

Operacionalmente, o processo de secagem está regulado pelos seguintes fatores associados ao: a) ar de secagem: vazão, temperatura e umidade relativa; b) produto:

teor de água e temperatura iniciais; c) especificações técnicas do secador (BROOKER; BARKER-ARKEMA; HALL, 1992; SILVA, 1995; SILVA, 1991).

Os fatores associados ao ar de secagem definem o potencial de secagem o que está relacionado às capacidades de ceder calor ao produto e de carrear a quantidade de vapor proveniente do produto. Além disso, é também definida a velocidade do processo de secagem, pois quanto maior for a diferença dos valores das umidades relativas do ar de secagem e na superfície dos produtos mais rápida será a migração do vapor de água do produto para o ar. No entanto, por se tratar de material biológico não se deve utilizar ar de secagem com valores de umidade relativa inferiores a 10%, pois ocorrerá rápida secagem da camada externa do produto, formando uma crosta que impedirá a migração do vapor proveniente das camadas internas. Isso pode levar ao superaquecimento do produto causando danos térmicos associados a trincas, descoloração e ruptura da estrutura.

Portanto, para cada modelo de secador há de serem definidos os corretos valores para vazão, temperatura e umidade relativa do ar de secagem, o que está associado ao tipo de fornalha e ventilador empregados e as condições psicrométricas do ar ambiente.

Quanto aos fatores associados ao produto sabe-se que quanto maior é o teor de água inicial maior será a tempo de secagem e quanto maior a temperatura inicial da massa de grãos menor será a necessidade de consumo de combustível.

O teor de água do produto define a disponibilidade de água para o desenvolvimento de fungos. Portanto, após a colheita, o quanto antes o teor de água for reduzido aos níveis ideais para armazenagem, menores serão as perdas quantitativas e qualitativas do café e as possibilidades de metabolização de micotoxinas pelos fungos.

A temperatura do produto durante a secagem tende a aproximar-se da temperatura do ar de secagem, o que é prejudicial ao café por desencadear reações bioquímicas que degeneram substâncias associadas à qualidade da bebida. O ideal é que a temperatura da massa de grãos não ultrapasse 55°C. Para tanto, em secadores de leito fixo a massa de grãos deve ser revolvida periodicamente, no máximo a cada três horas de secagem.

Para secadores em que a massa de produto está em movimento durante a secagem, a velocidade deve ser definida em níveis onde o tempo de residência na câmara de secagem não promova o superaquecimento do produto. Infelizmente, alguns cafeicultores que trabalham com café canéfora, afoitos por executar a operação de secagem, insistem em utilizar altas temperaturas de secagem a valores próximos a 200°C, levando ao superaquecimento do café, o que degrada componentes bioquímicos que conferem qualidade à bebida.

Quanto às especificações técnicas do secador é importante observá-las para que o desempenho operacional do equipamento não comprometa a qualidade do produto e não leve ao aumento de custos quanto ao consumo de energias calorífica e elétrica.

Portanto, deve-se empregar o secador para a capacidade estática para qual o mesmo foi projetado. Deve-se verificar periodicamente se a temperatura e a vazão do ar de secagem estão dentro do especificado e se a pressão do ar no *plenum* da câmara de secagem está adequada, e para o caso dos secadores em que a massa de grãos está em movimento durante a secagem, deve-se certificar se a velocidade está adequada. Outro detalhe importante é proceder à manutenção preventiva do secador para garantir a operação adequada, como também, evitar panes durante a secagem.

Armazenagem de café em coco, pergaminho ou beneficiado

Após a secagem, surgem duas modalidades de café a armazenar. Se o preparo foi por via seca, tem-se o café em coco, e se por via úmida, obtém o café revestido pelo pergaminho (endocarpo). Esses produtos podem ser armazenados a granel em silos ou tulhas, ou de forma convencional, acondicionados em sacarias ou *big-bags*.

O ideal é que a armazenagem estenda-se por no mínimo 15 dias, para então o produto ser beneficiado. Pois, nesse período, ocorre estabilização de transformações químicas e de propriedades físico-químicas associadas à qualidade da bebida.

O importante no período de armazenagem é que a umidade relativa do ar no espaço intergranular esteja próxima de 60%. Isso para inviabilizar a infestação de fungos e o reumedeecimento do produto. Portanto, quando da escolha do local de construção dos armazéns devem ser avaliadas as condições microclimáticas, de tal forma propiciar em seu interior ocorrência de temperaturas entre 20 °C e 25 °C e valores de umidade relativa próximos de 60%.

Referências

- BROOKER, D. B.; BAKKER ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The Avi Publishing Company Inc., 1992. 450 p.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GRACIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: Mapa/PROCAFÉ, 2002. 387 p.
- REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da; CARVALHO, G. R. (Ed.). **Café arábica da pós-colheita ao consumo**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2011. v.2. 734 p.
- SILVA, C. F.; BATISTA, L. R.; ABREU, L. M.; DIAS, E. S.; SCHWAN R. F. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. **Food Microbiology**, Inglaterra, v. 25, p. 951-957, jul. 2008.
- SILVA, J. S. (Ed.). **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 509 p.
- SILVA, J. S.; BEBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenagem de café**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 1999. 146 p.
- SILVA, L. C. **Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (*Coffea arabica* L.) intermitente de fluxos contracorrentes**. 1991. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- VILELA, D. M.; DE PEREIRA, G. V. M.; SILVA, C. F.; BATISTA, L. R.; SCHWAN, R. F. Molecular ecology and polyphasic characterization of the microbiota associated with semi-dry processed coffee (*Coffea arabica* L.). **Food Microbiology**, Inglaterra, v. 27, p. 1128-1135, 2010.

