

Estudo do secador tubular tradicional da Região Cacaueira da Bahia

CLIVE R. McDONALD
JAIRO CUNHA
EVANDRO S. FREIRE

Boletim Técnico 91

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA
Órgão vinculado ao Ministério da Agricultura

Centro de Pesquisas do Cacau
Km 22 Rodovia Ilhéus-Itabuna
Bahia, Brasil

1982

BOLETIM TÉCNICO

1970:

Distribuição por permuta

Endereço para correspondência

CEPLAC

Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC)

Caixa Postal 7

45.600 — Itabuna, Bahia, Brasil

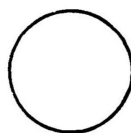
Tiragem: 2.000 exemplares

Boletim Técnico I

1970

Ilhéus, Comissão Executiva do Plano
da Lavoura Cacaueira, 1970 —
22,5 cm

1. Cacau — Periódicos. I. Comissão Executiva do
Plano da Lavoura Cacaueira, ed.



CDD 630.7405

Estudo do secador tubular tradicional da Região Cacaueira da Bahia

CLIVE R. McDONALD
JAIRO CUNHA
EVANDRO S. FREIRE

Boletim Técnico 91

Centro de Pesquisas do Cacau
Km 22 Rodovia Ilhéus-Itabuna
Bahia, Brasil

1982

ESTUDO DO SECADOR TUBULAR TRADICIONAL DA REGIÃO CACAUUEIRA DA BAHIA

*Clive R. McDonald **

*Jairo Cunha ***

*Evandro S. Freire ****

INTRODUÇÃO

Durante a secagem a umidade do cacau deve ser diminuída de cerca de 50 para 7% b.u.(base úmida), índice indispensável para um armazenamento seguro. A maior quantidade de cacau, no mundo, é secada ao sol. Uma grande proporção do cacau baiano também é -secada naturalmente, mas, devido a alta incidência de chuvas durante a colheita, é imperativo que as fazendas tenham capacidade de secar, também, artificialmente, o que tem sido feito desde os primórdios da cacauicultura (Torrend, 1918).

Os primeiros secadores usados foram baseados naqueles tradicionais, que usavam uma chapa aquecedora colocada dentro de um compartimento fechado, contendo várias pequenas plataformas onde o cacau era colocado para secar (Bondar, 1924), depois feitos com um único lastro perfurado para a secagem, ocupando toda a área do secador e com o ar de secagem sendo forçado através das amêndoas e não mais passando sobre as mesmas (Schmidt, 1932) como anteriormente. As dimensões deste tipo de secador, localmente conhecido como "secador tubular" foram padronizadas (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, s.d.).

Existem entre 25000 a 30000 secadores deste tipo funcionando no sul baiano, embora possuam uma série de desvantagens, a saber:

** Eng.-Químico, Ph.D, funcionário do O.D.A. Londres, R.U., a serviço da Divisão de Tecnologia e Engenharia Agrícolas do CEPEC.*

*** Eng.-Agrº, M.S., Pesquisador Adjunto da Divisão de Tecnologia e Engenharia Agrícolas do CEPEC.*

**** Eng.-Agrº, Pesquisador Auxiliar da Divisão de Tecnologia e Engenharia Agrícolas do CEPEC.*

- a) alto perigo de contaminação do cacau com cheiro de fumaça;
- b) secagem morosa, especialmente de cacau que não sofre pré-secagem em barçaça;
- c) alto custo de construção;
- d) alto gasto de lenha, a mais tradicional fonte baiana de energia.

Como cada instalação deste tipo representava um investimento de Cr\$ 400000,00 a Cr\$ 500000,00 em junho de 1980, é evidente que a melhoria, a curto prazo, da infra-estrutura de secagem artificial nesta região só poderá ser conseguida pela melhoria dos secadores existentes. E, apesar de estudos de novos secadores e fontes de energia alternativas serem objeto de investigações em curso, nos últimos dois anos, tem sido dada prioridade aos estudos do secador tubular. As finalidades destas investigações foram definidas com vistas a:

- a) aumento da eficiência de operação;
- b) melhoria da qualidade final do produto.

DESCRIÇÃO E OPERAÇÃO DO SECADOR A NÍVEL DE PESQUISA

O secador tipo tradicional consiste de duas partes (Figura 1):

- a) um edifício de tijolos em dois andares, tendo uma câmara quadrada ao nível do solo e um piso de ripas ou chapa perfurada no primeiro andar;
- b) uma fornalha conectada a um tubo instalado horizontalmente no chão, dentro da câmara, e ligado a uma chaminé construída do lado de fora da câmara e do lado oposto à fornalha (Figura 2 a).

A lenha é queimada na fornalha, produzindo gases quentes, que passam ao longo do tubo, subindo pela chaminé para serem descarregados na atmosfera. O controle do fluxo destes gases é efetuado por um registro tipo borboleta, localizado no fundo do tubo, perto da base da chaminé. Durante a passagem dos gases pelo tubo uma grande proporção do seu calor é transferida para o ar da câmara.

O cacau úmido é colocado em cima do lastro, no primeiro andar. O ar quente na câmara sobe por convecção natural (McAdams, 1954), passando através das amêndoas do cacau. Este calor de convecção é suplementado pela radiação emitida pela chapa tubular ao lastro. Aberturas nas paredes da câmara, localizadas ao nível do chão, permitem a entrada do ar fresco para a renovação do ar que passa pelo cacau.

O processo de secagem neste tipo de secador pode ser, então, subdividido em:

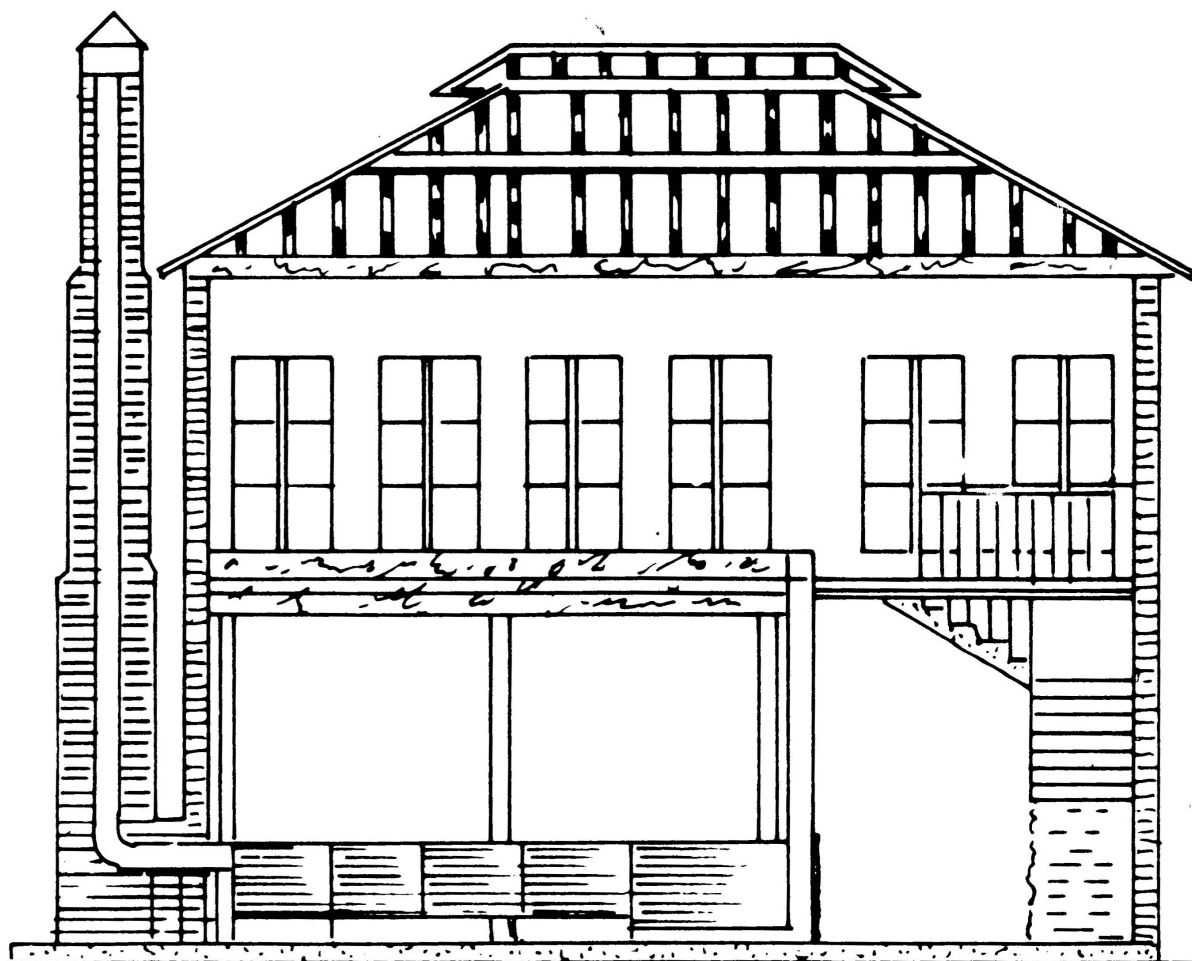


Fig. 1 – Secador tubular tradicional, corte longitudinal.

- a) combustão da lenha na fornalha;
- b) transferência do calor da combustão, pela superfície do tubo trocador de calor, ao ar da câmara por convecção e ao lastro por radiação;
- c) subida do ar quente na câmara do secador por convecção natural e sua passagem através da massa de cacau, secando-o;
- d) transferência do calor do lastro às amêndoas por condução e convecção, secando-as.

Os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos durante um período de dois anos, 1978 e 1979. Durante o primeiro ano o secador foi operado em sua forma tradicional, variando-se somente a altura do lastro. As conclusões tiradas sobre o funcionamento do secador durante este período foram usadas como base para o desenvolvimento de uma seqüência de modificações, grande parte delas testadas em 1979.

O secador usado para estes testes foi construído, na sua maior parte, dentro dos padrões do Departamento de Extensão da CEPLAC, possuindo um lastro de 6 x 6m. Conquanto os mecanismos de combustão, de transferência de

calor e de movimento do ar no secador sejam válidos para qualquer tamanho de secador, o mesmo não acontece com as conclusões ligadas à geometria do secador, como por exemplo, gasto de lenha e altura do lastro, sendo que aí a extrapolação dos resultados deve ser feita com muito cuidado.

Um resumo dos principais problemas e recomendações apresentados no texto é dado nos Anexos 1 a 5.

BAIXA EFICIÊNCIA TÉRMICA DA FORNALHA

As causas da baixa eficiência de uma fornalha, queimando lenha, podem ser sumariadas em:

- a) fluxo do ar incorreto para a taxa de lenha adicionada;
- b) má distribuição do ar de combustão na área da grelha;
- c) má qualidade e/ou má preparação da lenha.

FLUXO DE AR DE COMBUSTÃO

A combustão da lenha é uma reação química e, como tal, necessita de quantidades fixas de oxigênio, em forma de ar, para otimização da produção de calor. A combustão de uma carga de lenha pode ser dividida em diferentes fases, cada uma com seu fluxo ótimo de ar.

Em média, o fluxo ótimo de ar é aquele que dá um gás de combustão com 15% de CO_2 (Reineke, 1961).

As medidas das composições dos gases obtidos numa fornalha tubular, com 30 kg/hora de lenha e registro do tipo borboleta aberto 25%, deram concentrações de CO_2 de até 5% e de O_2 entre 15 e 16%. Está evidente que, em operação normal, esta fornalha está recebendo um fluxo de ar alto demais.

Para facilitar a regulação correta do fluxo de ar, a lenha deve ser carregada na fornalha da maneira mais uniforme possível. É recomendado que este carregamento seja efetuado de hora em hora durante a secagem inteira, usando-se de 15 a 30 kg de lenha de cada vez, para secadores de 6 x 6 m. Para compensar as variações em densidade das diferentes cargas de lenha, causadas por diferentes tipos de árvores e períodos de armazenamento, é importante que cada carga de lenha seja pesada numa balança do tipo usado para a pesagem de cacau. Com este regime bem controlado, um fluxo uniforme de ar pode ser obtido, conseguindo-se maiores eficiências.

A cada taxa de lenha corresponderá uma posição ótima do registro de fluxo de ar de combustão. Uma vez adotada a posição do registro, qualquer mudança nesta taxa de lenha ou por má pesagem ou pelo carregamento de

duas cargas de uma só vez, diminuirá automaticamente a eficiência do sistema. O carregamento regular de lenha deve ser, portanto, rigorosamente feito.

MÁ DISTRIBUIÇÃO DO AR DE COMBUSTÃO

Outra grande fonte de ineficiência de combustão, mesmo com equipamentos de alta sofisticação, é a má distribuição do ar de combustão na área da grelha. Isto pode deixar algumas áreas arejadas e outras muito abafadas. Com carregamentos de até 30 kg/hora, foi observado que a área frontal da grelha ficava sempre descoberta (Figura 2a). O ar de combustão então passava, preferencialmente, por esta área e depois por cima e não através da lenha em brasa.

Para eliminar isto, uma chapa de 794 mm de espessura (5/16") deve ser colocada, horizontalmente, cobrindo o primeiro conjunto de crivos. O ar, então, é forçado através do monte de lenha que tem a tendência de se formar no fundo da fornalha. Nos secadores novos o primeiro conjunto de crivos pode ser substituído pela chapa, constituindo um grande barateamento no custo da instalação.

A força com que a lenha é lançada é muitas vezes suficiente para que ultrapasse o fundo da fornalha e vá se empilhar dentro da primeira secção do tubo. Isto não só aumenta o problema da má utilização da área da grelha, como também é responsável pelas freqüentes danificações ocorridas na primeira secção do tubo e no primeiro flange, devido ao excesso de calor produzido pela queima da lenha nesta área. Uma chapa vertical de 794 mm (5/16"), reforçada com cantoneira, deve ser soldada no fundo da fornalha, deixando somente um espaço superior de 15 cm para a passagem dos gases de combustão, obtendo-se, assim, a combustão da lenha no local apropriado, isto é, dentro da fornalha e em cima dos crivos (Figura 2b).

Outra causa de desuniformidade na distribuição do ar de combustão é provocada pelo acúmulo de cinzas, tanto por cima como por baixo da grelha. É muito comum se verificar, no campo, cinzeiros completamente bloqueados pelas cinzas, especialmente na parte do fundo da fornalha atrás do suporte central dos crivos, feitos de cantoneira. É muito raro se encontrar um dispositivo específico para a tiragem das cinzas. É imprescindível que seja providenciado um forte rodo de aço, com o formato do cinzeiro, para facilidade de ajuste ao mesmo. A haste deste rodo deve ter uma marca para indicar quando o rodo realmente chegou ao fundo da fornalha, de modo a assegurar que toda a cinza seja retirada. O mesmo rodo pode ser utilizado para agitar as brasas e para empurrar a lenha parcialmente queimada para a área de combustão, no fundo da fornalha. O uso de um rodo especial para a fornalha eliminará a tendência de se usar os rodos de madeira da barcaça, eliminando-se uma possível fonte de contaminação do cacau com cheiro de fumaça. É recomendado que as agi-

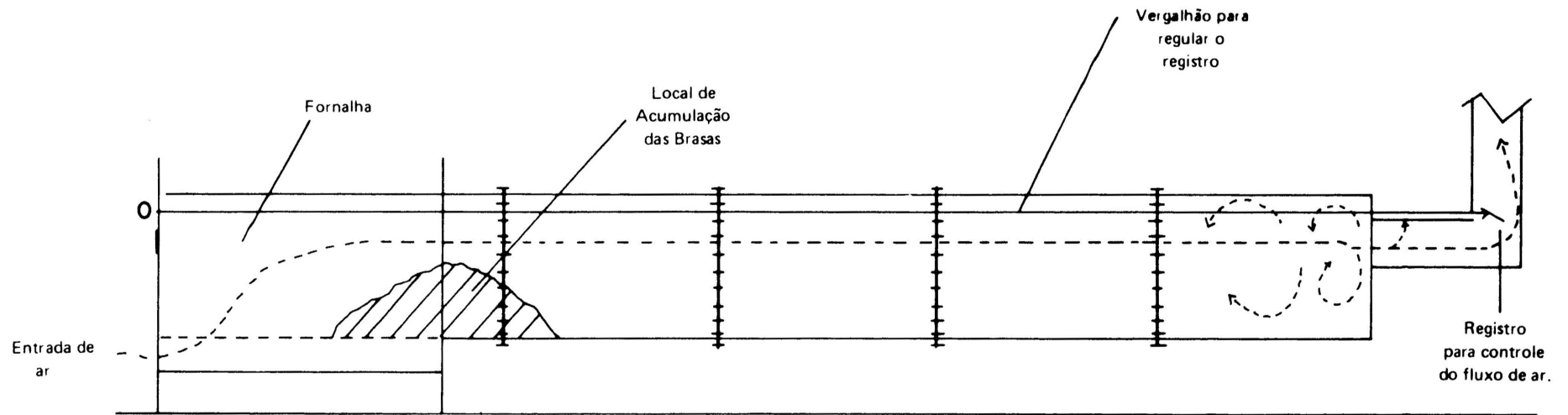


Fig. 2.a – Corte da chapa tubular tradicional.

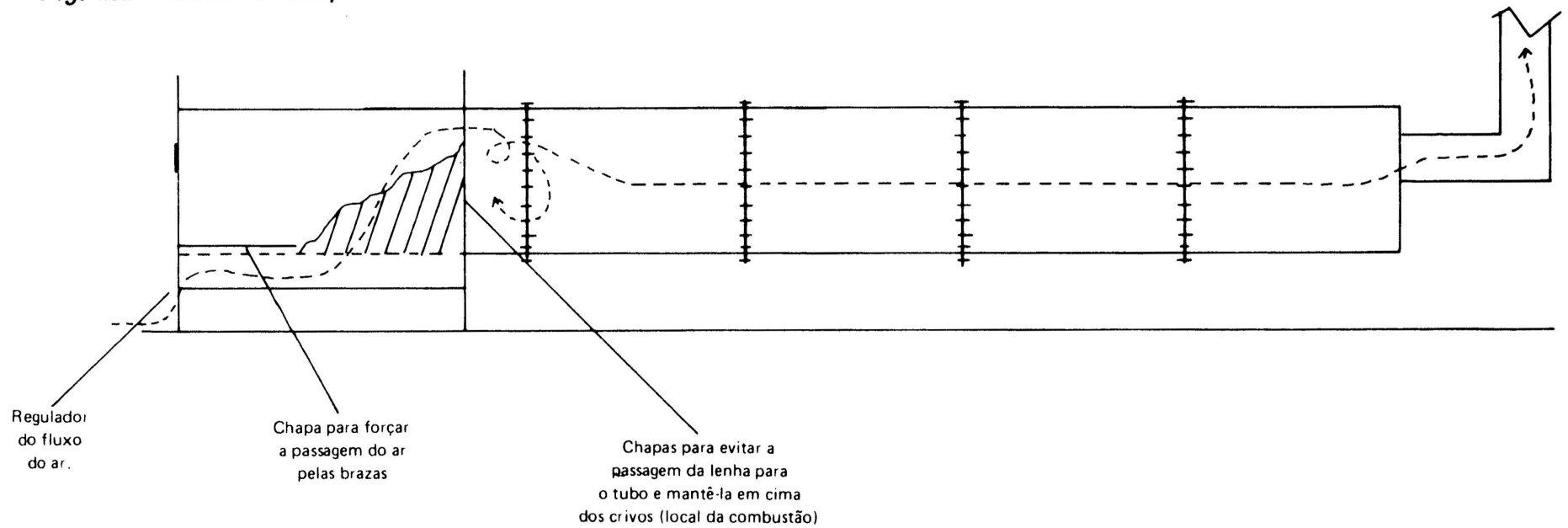


Fig. 2.b – Corte da chapa com modificações.

tações das brasas sejam feitas de hora em hora, logo antes de se colocar mais lenha. A limpeza do cinzeiro deve ser feita, pelo menos, a cada quatro horas.

O cinzeiro deve ter sua altura elevada para 30 cm. Isto facilita a retirada das cinzas e diminui o volume de espaço da fornalha, que é muito grande para a nova recomendação da carga de lenha.

PREPARO DA LENHA

A fornalha pode ter também sua eficiência reduzida pela má qualidade da lenha, por sua má preparação ou por ambos os fatores, o que é mais grave.

A combustão da lenha resulta em perda automática de 10% de seu calor disponível (Reineke, 1961) para evaporar a sua umidade livre. Além disso, o uso de lenha mal preparada diminui a taxa de combustão, necessitando uma nova regulação do fluxo de ar.

Recomenda-se que seja feito o armazenamento da lenha, por 6 meses antes do seu uso, preferencialmente sob cobertura. É também recomendado que a lenha seja rachada antes do armazenamento, em achas de 1 m de comprimento e espessura de 15 cm, máximos.

Quanto mais regular for o tamanho das achas, mais regular será a combustão e maior eficiência poderá ser atingida, sem complicadas mudanças na regulação do fluxo de ar.

SUPERAQUECIMENTO DA FORNALHA E TUBO

A operação das fornalhas com grandes cargas de lenha resulta num elevado índice de dilatação que diminui muito a vida útil da fornalha. O uso de um regime rígido de carga da fornalha (carregar a cada hora) minimiza estas dilatações. A fornalha em pesquisa no CEPEC, apesar de tomados estes cuidados contra superaquecimento, começou a dilatar depois de 40 secagens, ou seja, 1 900 horas de uso, aproximadamente. Esta fornalha foi construída com chapa de 635 mm (1/4"), razão pela qual propõe-se chapa de 794 mm (5/16") para a construção de novas fornalhas. Devido a rápida queda de temperatura ao longo do tubo (Quadro 3) a primeira secção após a fornalha deve ser feita de chapa de 635 mm (1/4") e as secções restantes com chapas de 476 mm (3/16") de espessura.

O supercarregamento da fornalha, geralmente, é feito na tentativa de secar o cacau mais rapidamente em períodos de aperto. Na maior parte dos secadores, não há nenhum dispositivo que possibilite ao estufeiro controlar o desempenho do secador. A simples instalação de um termômetro pode proporcionar este controle. Testes efetuados provaram que um só termômetro à tensão de

mercúrio, instalado como mostra a Figura 3, poderá dar uma boa média de temperatura de secagem (Quadro 1).

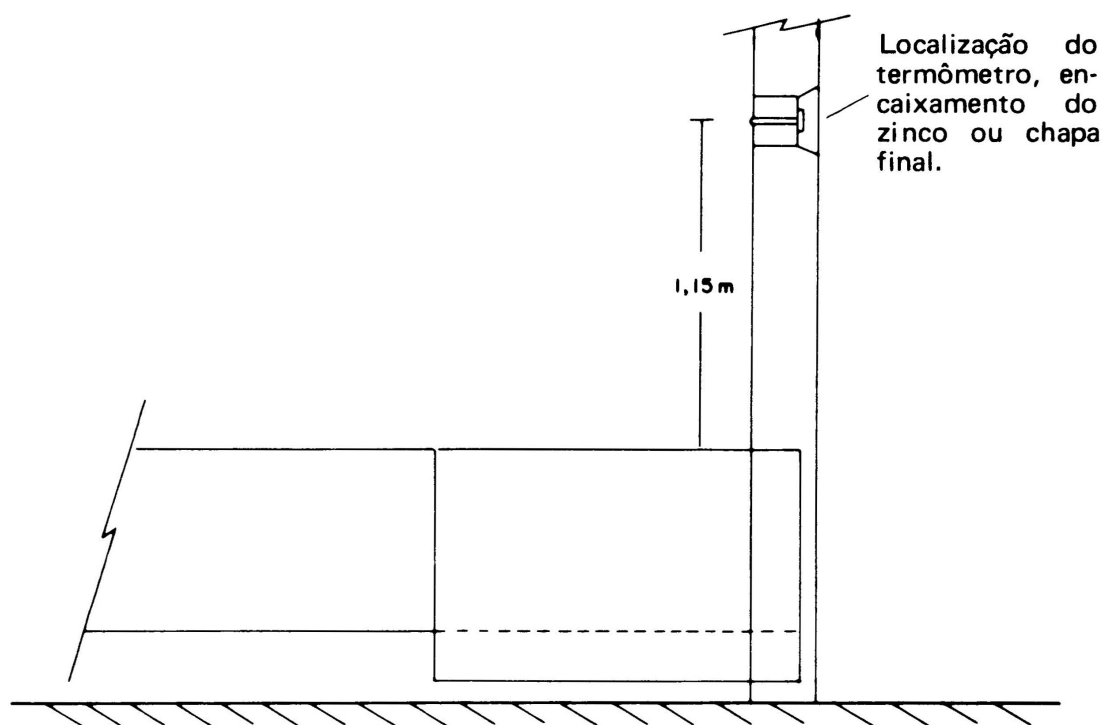


Fig. 3 – Localização recomendada para um termômetro de 15 cm.

Termômetros deste tipo devem ser colocados à disposição dos agricultores, com indicador a cores para facilitar o seu uso. O indicador deverá ficar na faixa verde que corresponderá à temperatura de 60 a 70 °C. A faixa vermelha indicará temperaturas superiores, que deverão ser evitadas.

O desempenho de um secador não modificado, operando com 30kg de lenha por hora é mostrado na Figura 4. A temperatura indicada foi dada por um termômetro instalado da maneira recomendada. Observa-se regularidade na temperatura e ausência de grandes picos.

CONTAMINAÇÃO COM CHEIRO DE FUMAÇA

A contaminação do cacau baiano com cheiro de fumaça é devido a dois fatores:

- fumaça produzida pela fornalha do secador tubular, vazando pela própria fornalha ou pelo tubo;
- fumaça produzida por fogões dos trabalhadores nas proximidades das instalações de secagem.

Quadro 1 - Resultados mostrando o valor do termômetro que indica a temperatura média de secagem. Leituras para o teste ST/10. 1979.

Hora	Temperaturas	Médias das Temperaturas do ar de secagem
15 - 00	56	57.4
15 - 15	58	58.4
15 - 30	61	59.9
15 - 45	56	59.7
16 - 00	58	58.15
16 - 30	62	62.36
16 - 45	62	66.15
17 - 00	66.5	67.0
17 - 30	64.0.	63.55

Média das leituras tiradas logo abaixo do lastro, conforme Figura 7, com termopares de Cr/Al e com proteção dupla contra radiação.

Fumaça devido a fogos de cozinhas, passando por cima do cacau, principalmente em barcas construídas com habitações debaixo do lastro, pode, em certas condições, causar a contaminação do produto. Este problema é diminuído, entretanto, quando comparado à contaminação feita nos secadores artificiais. Nestes, a fumaça, vazando pela fornalha ou tubo, sai diretamente dentro da câmara ou tem probabilidade de ser succionada para dentro. Esta fumaça, obrigatoriamente, passa através do cacau e o contamina.

Como já ficou dito anteriormente, a tendência normal é para estas fornalhas operarem com um fluxo de ar muito alto. O estufeiro que quer diminuir o gasto de lenha, sabe pela experiência, que isto pode ser conseguido pelo fechamento do registro do fluxo (borboleta). Na Figura 2a pode-se ver o efeito deste fechamento. A entrada para a chaminé fica estrangulada, determinando uma pressão no interior do tubo superior a da câmara, provocando saída de fumaça pelas juntas mal vedadas e pela porta da fornalha.

Um secador nestas condições contamina, continuamente, o cacau, com cheiro de fumaça.

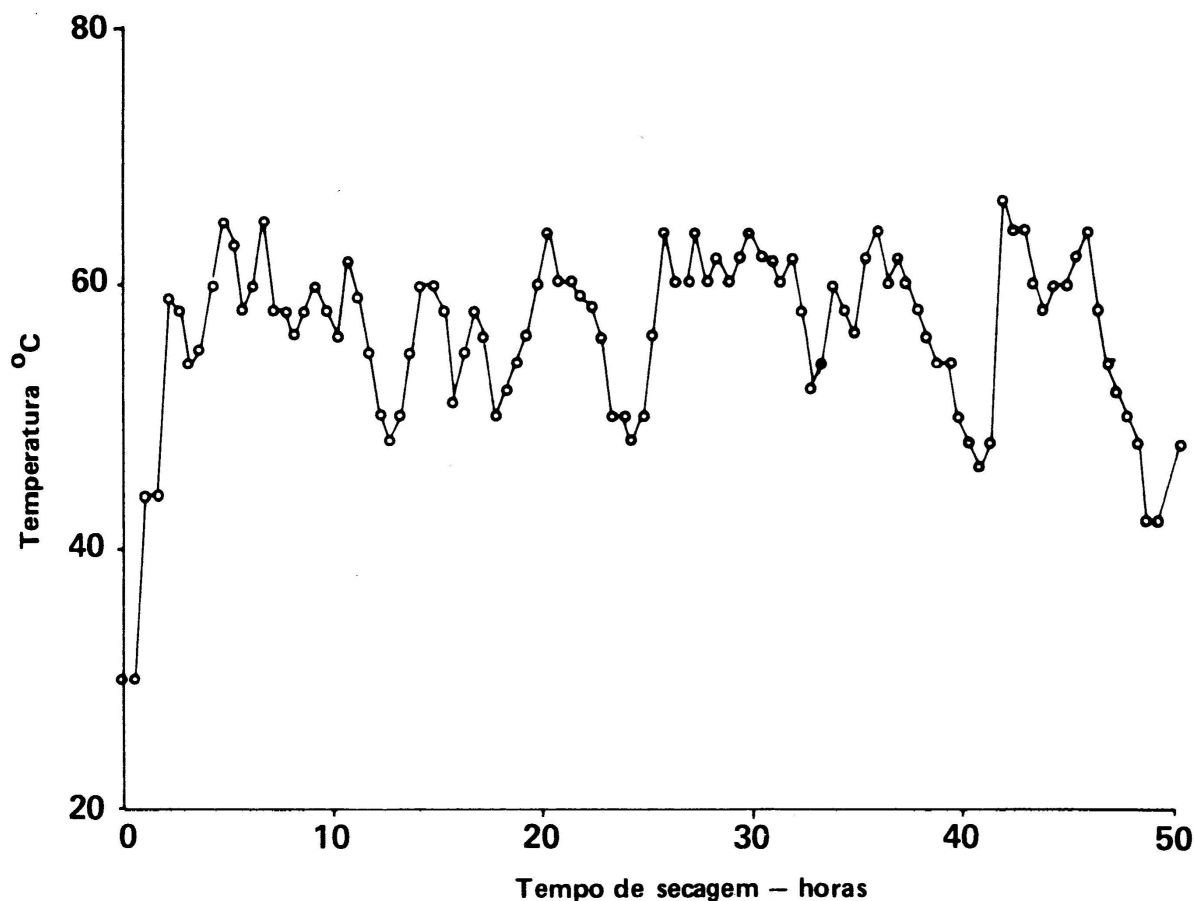


Fig. 4 – Temperatura de secagem tomada num termômetro (mecúrio em aço) localizado por cima da fornalha (dados do teste 07, 1978).

Este problema pode ser resolvido de duas maneiras:

- fechando-se todos os pontos de vazamento de fumaça;
- modificando-se o princípio de funcionamento da fornalha, para eliminar a tendência de vazamento da fumaça por alta pressão e conseguir ao mesmo tempo uma combustão eficiente.

ELIMINAÇÃO DOS PONTOS DE VAZAMENTO

Os pontos mais prováveis de vazamento são:

- pela porta da fornalha;
- pelos flanges danificados, especialmente o primeiro;
- pelas fendas na alvenaria onde o tubo se encaixa com a chaminé.

Destas, a mais comum é a primeira e, freqüentemente no campo, são encontrados secadores com depósitos de fuligem na área da parede logo acima da porta (espelho) da fornalha. A fumaça pode sair ao redor da porta durante

a operação, ou em quantidades maiores quando a porta é aberta para o carregamento da fornalha. Esta fumaça é facilmente capturada pela sucção que ocorre nos dois buracos existentes no “espelho” frontal da fornalha. Esta fumaça entra na câmara e, forçosamente, passa através do cacau. É muito importante que a porta vede bem e, ainda mais importante, que os buracos no “espelho” frontal da fornalha sejam eliminados.

Já foi dito que uma chapa vertical no fundo da fornalha é recomendável para melhorar a eficiência de combustão. Mantendo esta combustão nos crivos evita-se também a danificação do primeiro flange ou do início da primeira secção do tubo. A mesma sucção ou força de convecção que faz a tiragem do ar fresco de dentro da câmara, fazendo-o passar através do cacau, também efetuará uma tiragem acentuada e contínua de fumaça por qualquer abertura (orifício, empeno) no tubo. As fontes de vazamento dentro da câmara são mais perigosas do que aquelas do lado de fora. Por isso, é altamente aconselhável que danos nos flanges sejam imediatamente corrigidos.

A proteção deste flange, da maneira indicada, é imperativa, assim como sua manutenção é também muito importante. A desmontagem do tubo uma vez por ano (na época de fevereiro/abril) deve ser feita e novas juntas de corda de amianto devem ser colocadas em cada flange. Qualquer parafuso danificado deve ser também trocado.

A expansão e contração sucessiva do tubo é tão grande que os contactos alvenaria/metal devem ser feitos com cuidado, especialmente aquele no fundo do tubo. Neste local, inspeções regulares devem ser feitas e qualquer fenda existente deve ser logo consertada. A própria fornalha deve ser instalada com uma folga de 2 mm entre o “espelho” frontal e a alvenaria. Este espaço permite a expansão lateral do “espelho”, e permite também a fornalha dilatar-se longitudinalmente. Espaços maiores do que 2 mm não são recomendados porque poderão permitir a entrada de fumaça na câmara.

Recomenda-se que as superfícies internas das paredes da câmara sejam regularmente pintadas com cal, assim como a superfície externa onde se localiza a fornalha. Deste modo, qualquer depósito de fuligem pode ser imediatamente visto e o local do vazamento corrigido imediatamente. O hábito de cozinhar dentro ou fora do secador deve ser proibido, mesmo quando este não esteja em uso.

MODIFICAÇÃO DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA FORNALHA

Está evidente na Figura 2a, que a elevada tendência de vazamento de fumaça é devido a má localização da borboleta e que a mudança deste registro para a entrada do cinzeiro (Figura 2b) pode eliminar o problema. A retirada de qualquer obstrução na entrada da chaminé permite a formação da máxima

sucção ao longo do tubo inteiro, até a porta da fornalha. Quanto mais fechado estiver o novo registro:

- a) maior o efeito de sucção no interior do tubo, reduzindo o perigo de contaminação por fumaça;
- b) menor será o fluxo de ar, o que resultará em uma combustão mais eficiente.

O efeito de sucção devido ao uso das duas diferentes posições do registro é ilustrado na Figura 5, que mostra a pressão estática (ou sucção) medida dentro do tubo com o registro nas duas posições, no cinzeiro e no fundo do tubo. Com 100% de abertura os dois métodos deram a mesma sucção. Com o fechamento da borboleta tradicional a pressão dentro do tubo aumenta até que, com menos de 40% de abertura, a pressão dentro do tubo é maior que a do ambiente. Nestas condições, qualquer buraco no tubo originaria vazamento de fumaça continuado. Como o fluxo ótimo de ar (que dá menor gasto de lenha) só ocorre com menos de 40% de abertura da borboleta, fica claro que, qualquer secador tradicional, operando no seu regime termicamente mais eficiente, deverá contaminar o cacau, durante a secagem, com cheiro de fumaça.

Com o registro na boca do cinzeiro (Figura 5), pode-se ver que os menores fluxos de ar correspondem às maiores sucções dentro do tubo, isto é, a pressão fora do tubo passa a ser maior, eliminando qualquer possibilidade de vazamento de fumaça.

Baseado nisto, recomenda-se que o registro seja mantido fechado. Bastam as imperfeições da justaposição das partes (registro e boca do cinzeiro) para dar o fluxo ideal de ar para a combustão da lenha.

Ainda que uma modificação desta natureza possa eliminar o vazamento de fumaça em qualquer instalação, recomenda-se fechamento dos possíveis pontos de vazamento pelas seguintes razões:

- a) segurança total contra contaminação com cheiro da fumaça, mesmo naqueles secadores mal operados;
- b) maximização da eficiência térmica pela eliminação de qualquer entrada de ar não controlada.

Como a eliminação total de vazamento de fumaça é devido à sucção desenvolvida pela chaminé, é evidente que maior proteção será obtida em condições de máxima sucção. Esta sucção pode ser calculada da seguinte forma (Perry, 1963):

$$S = 0.03432 AP \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_m} \right)$$

onde:

- S — sucção desenvolvida (N/m^2)
- A — altura da chaminé (m)
- P — pressão estática ambiente (N/m^2)
- T_A — temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
- T_m — temperatura média na chaminé ($^{\circ}\text{C}$)

Pode-se ver que, para uma dada altura da chaminé, a maior sucção será obtida com uma temperatura maior dos gases dentro da chaminé. A diminuição desta temperatura diminuirá a sucção. A chaminé, então, deve ser construída de modo a não permitir a perda de calor pelas paredes e, conseqüentemente, o uso das chaminés metálicas deve ser proibido.

FLUXO DE AR NO SECADOR TUBULAR

A Figura 6 compara as taxas de secagem medidas em um teste do secador tubular tradicional e em um secador experimental. A temperatura de cada secagem foi nominalmente 60°C e as camadas de cacau usadas foram iguais. O fluxo do ar de secagem no secador tradicional, medido no próprio cacau, foi mais ou menos $0,01 \text{ m/seg}$, e no secador experimental foi de $0,17 \text{ m/seg}$. O perfil do teste de laboratório foi normal: uma taxa alta, inicialmente, seguida por uma queda. Teoricamente, a taxa de secagem torna-se independente do fluxo de ar nesta segunda fase de secagem. Para o teste do secador tubular a taxa inicial de secagem foi baixa, e até mesmo diminuiu durante as primeiras horas de secagem, aumentando de novo quando o cacau ficou com menos de 40% de umidade. Esta subida não foi muito acentuada, o que determinou que as duas curvas não se encontrassem senão no fim da secagem.

A secagem no secador tubular durou 56 horas. Metade deste tempo foi necessária para reduzir a umidade do cacau para 40%. Entretanto, dado ao maior fluxo de ar do teste de convecção forçada, o período total de secagem foi de apenas 28 horas, sendo necessárias somente 3,5 horas para a umidade atingir os 40%. Diante disso, pode-se recomendar a secagem do cacau na barça, por um a dois dias, até que ele atinja mais ou menos 40% de umidade, permitindo o uso do secador tubular na sua taxa de secagem mais alta, o que poderá reduzir o gasto de lenha pela metade.

Se a taxa de secagem no secador tubular se tornasse independente do fluxo de ar no período da taxa decrescente, sua curva subiria para encontrar-se com aquela do teste de laboratório com convecção forçada. Isto não acontecendo, conclui-se que a secagem com convecção natural não é independente

do fluxo de ar durante quase a secagem inteira. Por conseguinte, qualquer aumento do fluxo de ar automaticamente aumentará a taxa de secagem.

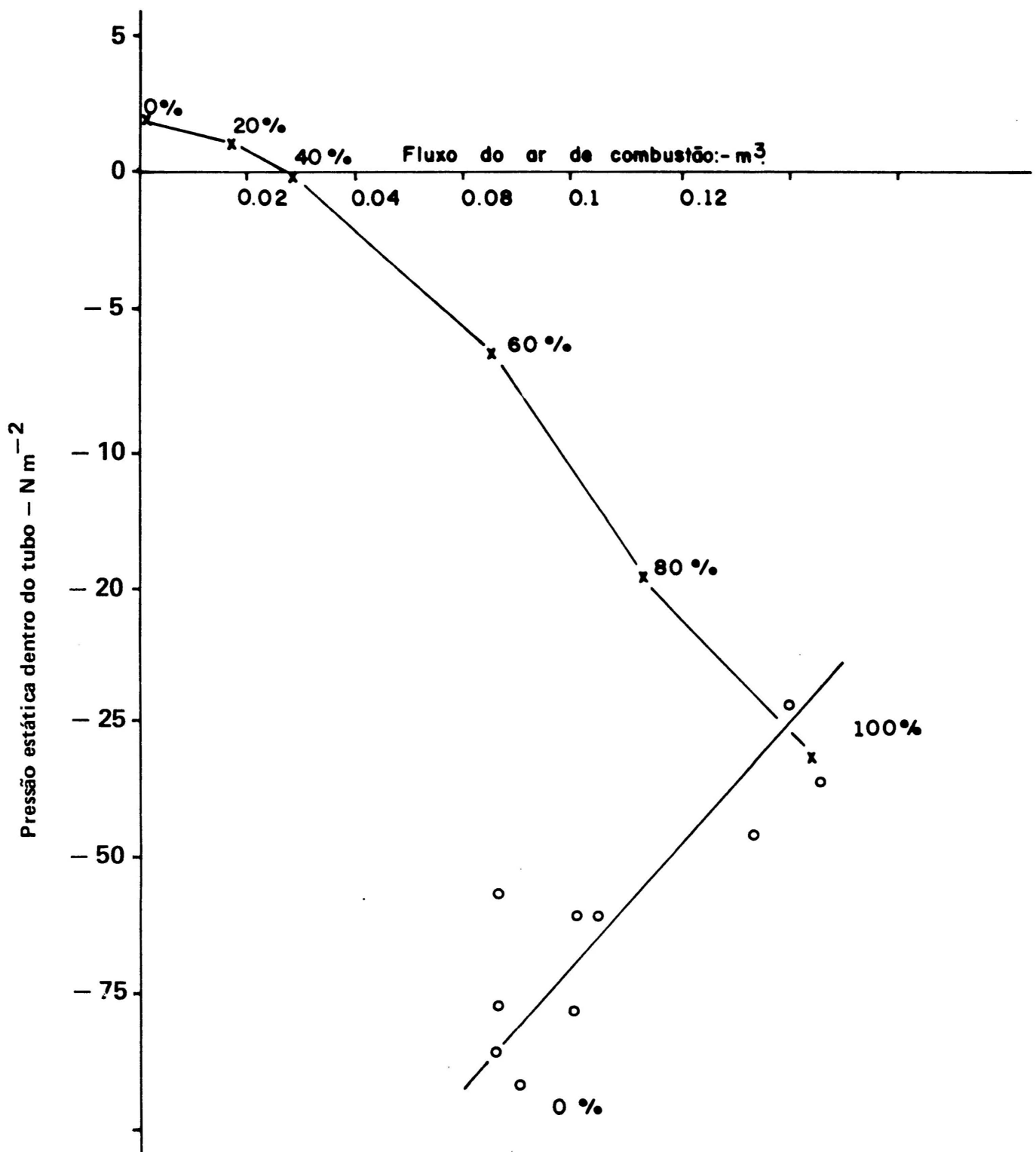


Fig. 5 — Fluxo de ar de combustão em função da sucção da chaminé, com registro tradicional "borboleta" (—x—) e com registro na entrada do cinzeiro (o). Os valores são da % de abertura dos registros.

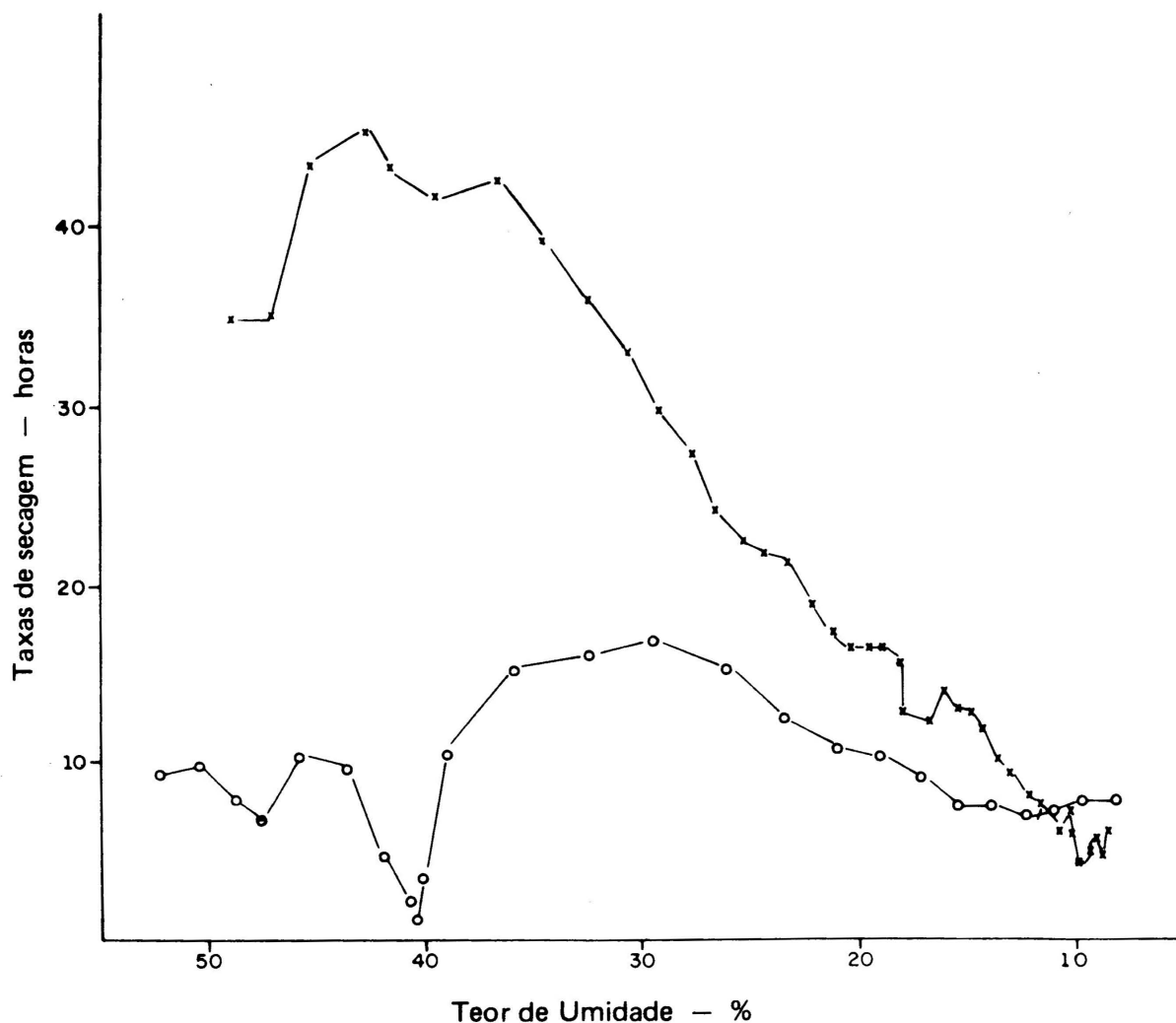


Fig. 6 — Taxa de secagem em função da umidade do cacau, com convecção natural (—o—) e forçada (—x—).

EFEITO DO VENTO

Quando o vento bate num edifício as paredes que recebem o vento irão constituir uma zona de alta pressão, enquanto do lado oposto ficará criada uma área de baixa pressão, ou sucção (Figura 7). Isto significa que do lado da alta pressão o vento auxiliará o efeito de convecção da câmara, fazendo entrar mais ar no secador, ao passo que do lado da baixa pressão ocorrerá justamente o inverso, o vento prejudicará a entrada de ar no secador.

O Quadro 2 mostra o fluxo de ar de secagem nas várias entradas de ar do secador, para um fluxo de ar com a mesma direção mostrado na Figura 7. Os dados estão em três conjuntos. No primeiro, as quatro entradas estavam abertas e os dados foram tomados na entrada número 3, a área de alta pressão, e na entrada número 1, a área de sucção. Pode-se ver que nestas condições há uma saída de ar quente na área de sucção. No segundo conjunto, as entradas

3 e 4 estavam abertas e 1 a 2 fechadas. Os fluxos de ar nas entradas 3 e 4 (área de alta pressão) foram maiores. No terceiro conjunto, as entradas 3 e 4 foram fechadas e 1 e 2 abertas. Os fluxos de ar em 1 e 2, embora muito reduzidos, ficaram positivos por causa do aumento da temperatura de secagem e diminuição da velocidade do vento, durante o período da medida. Sabendo-se, pois, da alta dependência que este tipo de secador tem da velocidade dos ventos, recomenda-se que as entradas de ar de secagem fiquem localizadas fora das zonas de sucção, isto é, fiquem do lado dos ventos predominantes.

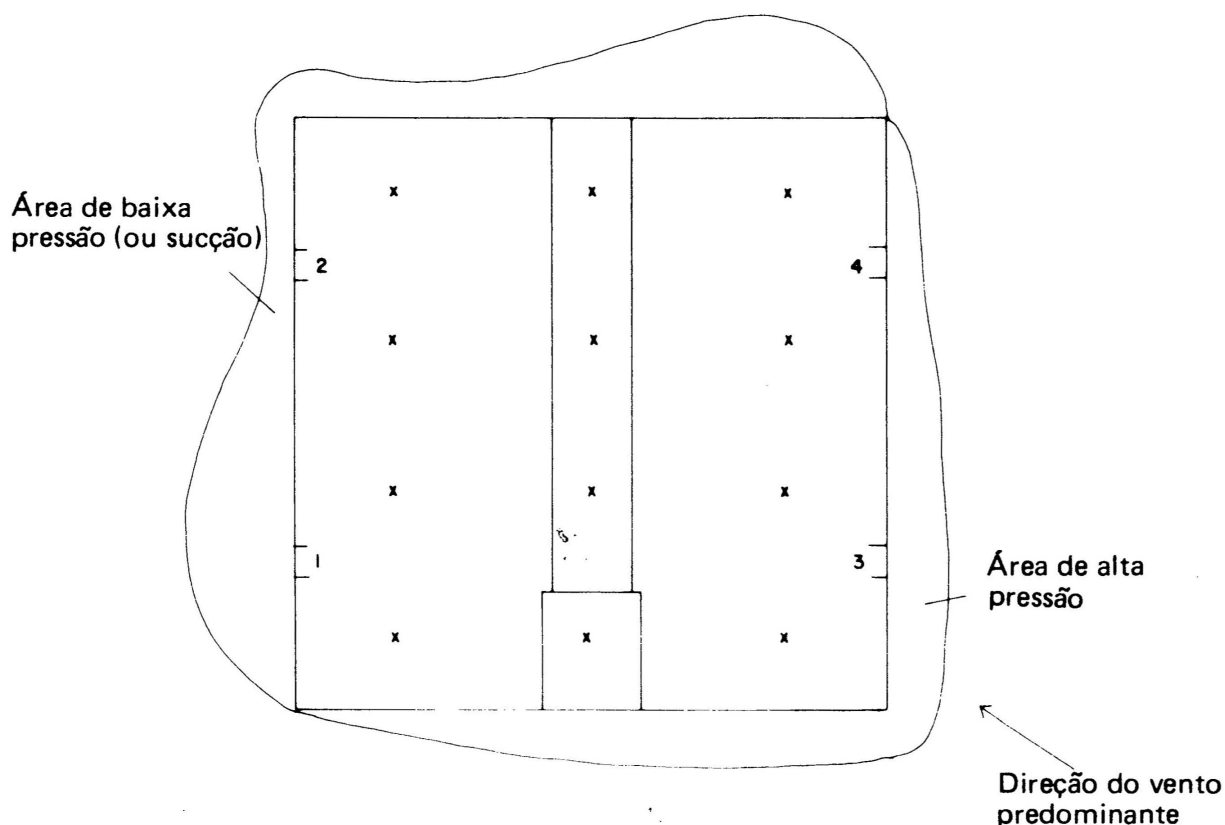


Fig. 7 — Vista da planta do secador mostrando a numeração das entradas de ar de combustão, as áreas de alta e baixa pressão e a localização dos termopares (x).

Deve-se, também, evitar qualquer obstrução às entradas de ar do secador. Assim sendo, uma área de no mínimo 25 m de comprimento deverá ficar livre do lado dessas entradas. Árvores, outras construções e até mesmo capins altos dificultam a entrada de ar na câmara. Construções localizadas nesta área não só causam o problema citado como criam zonas de baixa pressão junto às entradas de ar do secador.

Por outro lado, a zona de baixa pressão que ocorre do lado de fora do secador, do lado oposto à direção dos ventos predominantes, é benéfica para fazer a retirada (sucção) do ar úmido que já passou pela massa e está acima

Quadro 2 - Fluxo do ar de secagem. Efeito do vento. Teste ST/12, data 8-9-78. Taxa de lenha 30 kg/h. Teor de umidade da amêndoa 27% b.u.

Tempo	Ar de secagem	Desvio padrão	Vento m/s	Fluxo de ar de secagem nas entradas				Fluxo de ar	Observações
	Temperaturas médias °C			Entrada Nº	m/s	Entrada Nº	m/s	Através do cacau m/s	
15-40	50.82	10.27	2.49	3	2.44	1	0.08	0.014	Todas as en- tradas abe- tas
15-45	50.89	10.29	2.93		2.29		-1.71	0.003	
15-50	18.12	10.33	3.53		2.07		-1.05	0.006	
15-55	46.97	10.89	2.73		3.03		-1.18	0.010	
16-00	46.23	10.95	2.56		2.37		-0.53	0.010	
16-05	47.33	11.00	3.45		2.83		-1.51	0.007	
16-15	47.69	11.94	2.54		2.18		-2.18	0.010	
16-15	49.33	10.04	2.68		2.81		-0.58	0.012	Entradas 1 e 2 fechadas
16-20	48.80	10.86	2.81		2.23		0.13	0.012	
16-25	49.09	11.07	3.45		1.80		-1.63		
16-30	48.69	9.57	2.39	3	3.07	4	2.97		
16-35	45.58	8.90	3.16		3.15		2.71		
16-40	48.57	9.62	1.76		2.87		2.76		Entradas 3 e 4 fechadas
16-45	47.72	9.66	2.56		2.68		2.42		
16-50	48.38	8.98	2.26		2.57		2.45		
17-10	49.15	8.60	-	2	-1.54	1	1.53		
17-15	51.05	8.21	1.82		1.21		0.89		
17-20	51.71	8.20	2.31		2.14		0.14		
17-25	52.05	7.92	2.55		0.75		0.50		
17-30	52.74	7.81	1.47		1.45		1.15		
17-35	53.88	8.93	1.74		1.44		1.00		
17-40	52.99	7.98	1.81		1.31		0.98		
17-45	53.54	7.91	1.46		1.70		1.18		
17-50	55.19	9.22	1.11		1.73		1.37		
17-55	56.18	8.07	1.38		1.60		1.32		

do lastro. Assim, 4 janelas de 1 m^2 cada deverão ficar, preferencialmente, localizadas nessa parede ou o mais próximo possível dela. Uma vantagem da localização dessas janelas seria a difícil possibilidade de ocorrência de chuvas dentro do secador, pois os ventos estariam sempre soprando ao contrário. Não deve haver janelas abertas do lado dos ventos predominantes.

A melhor orientação do secador, portanto, é determinada pela direção do vento na área de instalação. Para minimizar a “sombra” a melhor orientação seria com a direção dos ventos predominantes na mesma direção do tubo. A tendência, na prática, é a de orientá-lo com o vento soprando no “espelho” da fornalha. Com uma fornalha não modificada, isto é, ainda com borboleta, haveria a vantagem da localização da fornalha numa área de alta pressão, ficando a entrada de ar na grelha facilitada e a saída da fumaça reduzida. Porém, a localização das quatro entradas de ar na mesma parede da fornalha teria a desvantagem de ficarem localizadas numa área de trabalho, onde elas poderiam ser facilmente obstruídas, por exemplo, com lenha. A aspiração das cinzas poderia ser também outro problema.

Recomenda-se, então, que a orientação do secador com fornalha modificada, com registro na entrada do cinzeiro, seja feita com o vento soprando na parede da chaminé. As entradas de ar ficariam, portanto, fora da área de trabalho e, além disso, o ar entraria em contra fluxo com o movimento dos gases da combustão dentro do tubo; isto obedeceria a uma das regras para obtenção de alta eficiência na transferência de calor. Esta orientação concorda com os novos trabalhos em desenvolvimento, visando as melhorias de distribuição do ar de secagem e de eficiência de transferência de calor. A construção de novos secadores orientados da maneira sugerida facilitará, em muito, o aproveitamento dos resultados das pesquisas em andamento.

DESUNIFORMIDADE NA SECAGEM

A desuniformidade da taxa de secagem na área do lastro é um grande problema com secadores deste tipo (áreas de secagem mais lenta, conhecidas como “sombra”). Deve-se admitir que secagem perfeitamente uniforme é impossível. Contudo, as desuniformidades severas podem ser eliminadas. De qualquer maneira, se alguma “sombra” ainda for encontrada, o único recurso será aumentar a frequência de revolvimento do cacau, o que não só aumenta a mão-de-obra do processo como a incidência de quebra das amêndoas.

Uma das maiores razões das áreas de “sombra” é o supercarregamento da fornalha com lenha, dando uma transferência de calor enorme por radiação. Esta radiação aquece, preferencialmente, áreas do lastro imediatamente por cima da chapa, aumentando a taxa de secagem naquele local. A diminuição da “sombra”, é, portanto, mais um benefício que pode ser obtido pela introdu-

ção do método do carregamento uniforme da fornalha, dando perfis de temperatura sem grandes picos (Figura 4).

A orientação do secador em relação à direção do vento pode, também, ter uma grande influência no aparecimento da “sombra”. Já se viu que entradas do fluxo de ar localizadas nas áreas de sucção causadas pelo vento podem ocasionar até a sucção do ar quente para fora da câmara.

O Quadro 2 mostra que, independentemente do lado, quando há entradas de ar somente em uma parede lateral, o desvio padrão das temperaturas medidas por baixo do cacau é mais baixo. Por outro lado, quando há entradas abertas em duas paredes opostas, havendo saída de ar quente em um dos lados, o desvio padrão fica mais alto. Existe, portanto, uma ligação direta entre a distribuição de calor convectivo e a velocidade e direção do vento ambiente. A natureza desta ligação não foi profundamente pesquisada, contudo é provável que, quando exista, por exemplo, saída de ar quente, haja dentro da câmara um movimento preferencial do ar na mesma direção do vento para o lado oposto do lastro, dando temperaturas mais elevadas naquelas áreas. As áreas de “sombra” ficam então do lado do vento. Esta ligação entre o vento e a “sombra” explicaria a natureza errática do aparecimento da “sombra”, mostrando porque alguns secadores têm problemas e outros não, como também porque a “sombra” aparece somente de vez em quando.

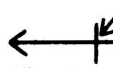
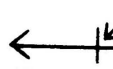
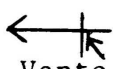
Maior a incidência dos ventos fortes, maior o problema da “sombra”; quanto mais variável for a direção dos ventos, mais imprevisível será a posição da “sombra”.

ALTURA DO LASTRO

A nível de campo, existe evidência de que a incidência da “sombra” depende da altura do lastro, pois quanto mais se abaixa o lastro maior é a intensidade de aquecimento da sua área central, pela radiação, e menor é o volume da câmara que fica disponível para a distribuição do ar quente nos cantos do secador. Ambos os efeitos aumentarão as condições de “sombra” nas áreas mais distantes do lastro em relação à fornalha. Esta situação poderia ser comparada com uma câmara contendo uma coluna de ar quente por dentro e outra de ar frio por fora. A passagem do ar quente pelo cacau (convecção da coluna quente) depende da força do ar frio de fora, que é mais pesado e empurra para cima o ar quente da câmara, que é mais leve. Quanto mais alto é o lastro maior será a força desenvolvida e maior o fluxo de ar. Por outro lado, quanto mais alta é a câmara maior será a área de parede que perde calor e menor será a eficiência térmica do sistema. A maior altura da câmara também determina um maior investimento na construção civil.

Os poucos dados disponíveis confirmam este conceito. Valores de umidade do cacau, tirados em 20 locais igualmente distribuídos na área do lastro, são apresentados esquematicamente (Quadro 3). Três conjuntos de dados são apresentados para três alturas de câmara. O critério de "sombra" é representado pelo desvio padrão, que pode ser visto diminuindo com o aumento da altura da câmara. Estes dados, entretanto, são preliminares e devem ser tratados com cuidado.

Quadro 3 - Mostrando a distribuição da umidade das amêndoas no lastro com várias alturas da câmara.

A				
Data:	13-09-78	Hora:	17:30	
Teste:	13	Média:	13.46% BU	
Altura do lastro:	2,1m	Desvio padrão:	2.83	
				Vento 2.6
FORNALHA				
10.88	10.25	12.5	11.21	11.58
14.59	12.53	11.92	11.99	11.36
16.45	12.33	18.45	13.18	11.40
14.38	10.92	10.09	18.02	15.10
CHAMINÉ				
B				
Data:	31-08-78	Hora:	16.00	
Teste:	10	Média:	9.03% BU	
Altura do lastro	2,9m	Desvio padrão:	1.91	
				Vento 3.3
FORNALHA				
5.91	6.75	9.70	6.51	9.84
7.71	7.51	7.55	9.48	9.84
8.38	8.14	8.30	10.30	13.17
8.60	9.02	10.48	10.90	13.58
CHAMINÉ				
C				
Data:	03-08-78	Hora:	10.00	
Teste:	6	Média:	10.6% BU	
Altura do lastro:	3,5 m	Desvio padrão:	0.75	
				Vento 1.0
FORNALHA				
11.50	11.50	11.64	10.78	10.85
10.21	10.69	11.04	10.75	10.45
11.18	11.70	9.58	9.47	9.05
10.61	10.75	10.05	10.60	9.58
CHAMINÉ				

O desvio padrão da umidade do cacau é alto, geralmente entre 3,5 a 4,5% (embora o valor de 6,4 tenha sido observado) até atingir a umidade de 15% b. u. aproximadamente. Abaixo deste valor a tendência do desvio padrão é cair. Para fazer comparações, os valores das umidades médias deveriam ser iguais. Entretanto, os dados apresentados são os que oferecem a maior aproximação disponível, em termos de umidade final. Pode ser observado que a média de umidade de 13,5% b.u. para 2,1 m de altura da câmara, provavelmente teria que dar um desvio padrão maior do que para os outros resultados que têm médias de umidade menores (9,0 e 10,6% b.u.).

Uma outra irregularidade dos dados disponíveis é a hora de coleta das amostras. Sabe-se que, na área do CEPEC, os ventos mais fortes sopram durante a tarde. De manhã, eles são mais fracos, e de noite, quase não há vento. Pode-se ver que o desvio padrão para a altura da câmara de 3,5m foi obtido com dados tomados pela manhã, depois de muitas horas quase sem vento, ao passo que os outros dois dados foram obtidos ao final da tarde, depois de um grande período de fortes ventos.

A complexidade do assunto de “sombra” é salientada nos dados do Quadro 3, onde há influência do vento (A e B). A velocidade e direção do vento são apresentadas também no Quadro 3, tiradas de dados do Setor de Climatologia do CEPEC, representando a média dos dados de 9 e 15 horas. Pode-se ver que os dois conjuntos têm sombra no canto direito (lado da chaminé), que é o lado do vento, notando-se, contudo, que o conjunto A também tem uma área de “sombra” na extremidade do lado esquerdo. Ainda não se dispõe de dados que comprovem ou não que esta última “sombra” seja devido a altura de câmara.

A altura do lastro não tem nenhuma influência na eficiência térmica global da secagem. A incidência de “sombra”, portanto, fica como único fator em relação ao qual a altura do lastro pode ser definida. Como os dados, mesmo incompletos, indicam a altura de 3,5m como a melhor, deve-se continuar com a atual recomendação do DEPEX (3,5m de altura) até que se tenha condições de obter, com a continuação das pesquisas, dados mais rigorosos que possam permitir, recomendar ou não o abaixamento do lastro visando a diminuição do custo do secador.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Medidas das temperaturas e valores de fluxo de radiação, ao longo do tubo, permitem uma comparação com um modelo matemático do sistema (Quadro 4). A simplicidade do modelo, em comparação com a extrema complexidade da realidade, é tão grande que a comparabilidade dos dados reais e computados não é boa, embora conclusões importantes possam ser tiradas.

Quadro 4 - Simulação matemática do perfil da temperatura ao longo do tubo (sem modificações). Taxa de lenha de 15 kg/hora. Dados do teste 22.

Distância ao longo do tubo m	Temperatura medida °C	Temperatura calculada °C	Transferência do calor pela convecção W/m ²	Transferência do calor pela radiação W/m ²
0.0	229.2	326.5	6152.0	1682.8
0.2		269.6	3962.1	1302.6
0.4		229.5	2779.5	1037.8
0.57	110.6			
0.6		199.5	2060.9	843.3
0.8		176.2	1588.8	695.4
1.0		157.5	1260.5	579.8
1.2		142.2	1022.3	487.8
1.4		129.6	843.7	413.4
1.6	66.2	118.9	706.2	352.5
1.8		109.9	598.0	302.2
2.0		102.2	511.3	260.2
2.2		95.6	440.8	225.0
2.4		89.8	382.6	195.2
2.6		84.8	334.2	169.9
2.63	58.2			
2.8		80.4	293.4	148.4
3.0		76.5	258.8	129.8
3.2		73.1	229.2	113.9
3.4		70.1	203.7	100.1
3.71	49.9			
3.8		65.4	162.5	77.9
4.0		62.9	145.7	68.8
4.2		61.0	130.9	60.9
4.4		59.3	117.9	54.1

A mais importante destas é o fato de que a proporção de transferência de calor por convecção (mecanismo que gera o fluxo do ar que passa pelo cacau) é somente de 20 a 30%, sendo o restante transferido por radiação.

Por isso, tentativas para aumentar o valor da taxa de secagem com maiores cargas de lenha são desaconselháveis. Mais lenha aumentará os perigos de superaquecimento, provocando danificação na fornalha e tubo, aumento da “sombra”, diminuição da qualidade final do produto, e além disso, somente 20 a 30% do calor liberado ficará disponível para o aumento do fluxo de ar, dando uma melhoria inaceitavelmente pequena na taxa de secagem.

As pesquisas em andamento têm como uma das finalidades principais o aumento da proporção de transferência de calor por convecção, pela diminuição da radiação.

Foi recomendado que a fornalha seja desmontada para manutenção. Deve-se aproveitar a oportunidade para fazer uma limpeza do tubo, por dentro e por fora, tirando-se qualquer acúmulo de cinzas, eliminando-se a fuligem e a maior parte da ferrugem, usando-se para isto uma escova de aço. Quanto mais limpo o tubo maior a transferência de calor.

EFEITO DAS MODIFICAÇÕES SUGERIDAS

Desempenho do Secador na Forma Tradicional

No Quadro 5 são apresentados os resultados dos testes feitos em 1978, para investigar a capacidade de um secador tipo tradicional em secar cacau recém-fermentado. As informações mais importantes são o gasto total de lenha, o tempo de secagem e a eficiência global, esta última sendo definida como:

$$\text{Eficiência global} = \frac{\text{Energia aproveitada na evaporação da água}}{\text{Energia total liberada na fornalha.}}$$

Os valores da eficiência obtidos foram erráticos e baixos. As variações foram causadas, principalmente, pela alta dependência do desempenho do secador, da velocidade e da direção do vento. A qualidade variável da lenha naquela época e a falta de experiência dos operadores também devem ter tido alguma influência.

Eficiências de 26% (McDonald e Freire, 1980) e de 20 a 30% (Wood, 1961) obtidas na secagem com convecção forçada com ventiladores são altas em comparação com os valores apresentados. As baixas eficiências do secador tubular são devido, principalmente, a baixa eficiência da própria fornalha e ao estrangulamento do processo por falta de ar de secagem, especialmente na primeira fase.

Quadro 5 - Desempenho do secador tradicional sem modificações. Leituras de 1978.

Número do teste Nº	Altura da câmara m	Taxa de lenha kg/hora	Peso cacau mole kg	Produção Equivalente a (7% BU) Arrobas	Temp. média °C	Gasto total de lenha m³	Tempo de secagem hora	Eficiência global %
8	3,5	40	2401.5	80.6	55.0	2.23	35.9	10.7
3		30	2751.2	92.5	58.5	1.95	41.8	14.0
6			3027.6	107.0	54.1	2.49	53.5	11.9
7			3168.0	107.1	56.3	2.39	51.3	13.0
2	2,9	25	3124.0	99.3	60.4	1.27	32.8	24.4
9		40	2711.0	91.9	57.3	2.63	42.4	10.1
22			3228.1	111.7	62.0	2.81	45.4	11.2
10		30	2237.8	75.3	54.5	2.51	53.9	8.8
25			2435.7	85.9	59.5	1.37	29.5	17.5
19			2481.2	90.1	55.7	2.03	43.6	12.0
16			2705.6	98.9	60.4	2.04	43.8	13.1
21			2706.6	94.4	54.1	2.16	46.4	12.3
18			2730.2	97.6	61.6	1.85	39.6	14.6
14			2760.1	99.0	61.4	1.50	32.2	18.0
15	2,1		2766.1	98.0	59.3	1.72	36.9	16.0
20		15	2711.9	92.2	39.1	1.66	71.4	15.9
17			2785.1	99.8	46.5	1.58	68.0	17.3
13		40	2747.6	101.7	63.3	1.88	30.3	14.3
11			2791.8	95.9	61.1	2.75	44.2	9.9
12		30	2709.8	93.6	55.4	2.02	43.4	13.1

Os tempos de secagem obtidos são em geral altos, na sua maioria com mais de 36 horas, embora, para cacau já passado em barça, os valores de tempo apresentados possam ser divididos por dois.

Observa-se que, apesar da obtenção de eficiências pouco mais elevadas nos testes de 15 kg/hora de lenha, estes foram desprezados por causa dos ultralongos tempos de secagem (média de 70 horas).

Os gastos de lenha obtidos foram todos maiores que 1 m^3 , e vários deles maiores que 2 m^3 . Não considerando o teste 25 (resultado duvidoso), os menores gastos de lenha foram obtidos com taxas de lenha de 15 kg/hora.

Não há condições de concluir nada em relação a altura do lastro com base nestes dados. A sua influência deve ser pequena em comparação com os outros parâmetros citados, principalmente o efeito do vento. Deve-se concluir que, em termos de eficiência térmica, qualquer altura do lastro na faixa de 2,1 m até 3,5 m seja aceitável. Estas informações são estritamente válidas para secadores do tamanho do secador pesquisado, isto é, 6 x 6 m.

Desempenho de um Secador com Aplicação das Novas Recomendações

No Quadro 6 são apresentados dados do desempenho de um secador com as novas recomendações descritas neste trabalho. Com 30 kg/hora de lenha os resultados foram ligeiramente melhorados, principalmente no que se refere ao gasto de lenha, que raramente ultrapassou a 2 m^3 por secagem (média de $1,72 \text{ m}^3$). Muito mais impressionante são os dados para os testes com 15 kg/hora de lenha. As eficiências destes testes foram bem comparadas com aquelas da convecção forçada, apesar de que os tempos de secagem foram muito mais altos (embora bastante menores do que aqueles obtidos no secador tubular em 1978) (Quadro 5).

O gasto de lenha também foi muito melhorado, ficando, na maioria dos testes, menor que 1 m^3 por secagem (média de $0,99 \text{ m}^3$).

Ficou evidente que o novo formato da fornalha usada durante os testes favoreceu a obtenção de pequenos gastos de lenha. Os fluxos de ar de combustão, obtidos com o novo tipo de registro usado, foram mais corretos para as taxas de 15 kg/hora de lenha do que para a taxa de 30 kg/hora. Estas investigações continuam, com medições mais precisas, para se desenvolver um sistema de controle do fluxo de ar, até que os menores tempos de secagem com 30 kg/hora de lenha possam ser obtidos com eficiências comparáveis àqueles da taxa de 15 kg/hora.

Deve-se observar que a menor eficiência obtida foi a do teste 18, que também teve a menor carga de cacau. Uma seqüência de testes deve ser programada para investigar o efeito do carregamento no desempenho do secador.

Quadro 6 - Desempenho do secador tradicional com as modificações recomendadas. Leituras de 1979.

Número do teste Nº	Taxa de lenha kg/hora	Peso do cacau mole kg	Produção equivalente a (7% U) Arrobas	Temperatura média °C	Gasto total de lenha m ³	Tempo de secagem Horas	Eficiência global %
12	15	2504.9	84.1	62.78	0.85	36.4	26.9
2		2534.6	90.4	56.6	1.11	47.6	22.1
16		2669.1	93.4	64.6	0.88	37.7	28.8
8		2701.8	93.1	59.1	0.85	36.6	29.6
4		2759.5	95.9	58.3	0.99	42.4	26.3
5		2781.6	97.4	56.5	1.04	44.8	25.3
21		2843.1	103.2	60.1	1.25	53.5	22.5
25		2943.7	98.7	57.4	0.99	42.7	26.9
10		3046.3	104.0	55.8	0.93	40.1	30.2
7		3076.3	104.6	57.9	1.04	44.6	27.3
30	20	2583.2	87.1	65.1	1.14	36.8	20.7
32		2696.3	90.7	64.1	1.13	36.4	21.8
18	30	1798.9	63.9	57.3	1.82	39.1	9.5
11		2353.3	77.5	63.3	1.35	28.9	15.6
22		2552.6	88.4	63.7	1.71	36.8	14.0
29		2651.9	90.0	66.9	1.57	33.8	15.6
6		2658.1	92.9	59.4	1.79	38.5	14.0
3		2671.7	94.2	64.7	1.84	39.6	13.8
26		2673.8	96.3	65.1	1.82	39.0	14.4
33		2707.1	94.7	64.1	2.24	48.2	11.4
23		2711.1	93.0	65.5	1.58	33.9	16.3
1		2747.2	101.1	66.7	1.50	32.3	18.2
35		2752.4	94.8	66.4	1.45	32.1	17.2
19		2760.1	96.5	61.1	1.98	42.5	13.2
20		2762.7	96.6	63.6	2.04	43.8	12.8
13		2815.5	95.6	63.8	1.62	34.8	16.01
17		2821.6	98.6	61.5	1.86	40.0	14.4
24		2823.7	98.4	68.8	1.67	35.8	16.0
31		2856.7	103.2	63.1	1.84	39.5	15.2
9		2867.0	97.6	65.1	1.43	30.6	18.6
34		2911.3	99.6	65.5	1.81	38.8	14.9
15		2982.0	102.5	70.1	1.40	30.1	19.8

No Quadro 7 é apresentado um resumo das informações dos Quadros 5 e 6, que pode ser utilizado como desempenho padrão de um secador com as novas recomendações, na maneira já padronizada. Os dados de 20 kg/hora de lenha devem ser vistos com reserva, pois provieram de apenas dois testes. O Quadro 7 mostra ao fazendeiro a seguinte alternativa: ou ele seca mais rápido, gastando mais lenha, ou ele aproveita a lenha, aceitando uma secagem mais demorada.

Esta última possibilidade merece consideração, pois o aumento do tempo da secagem, que é de apenas seis horas, economizará 60% do gasto de lenha.

As temperaturas médias apresentadas são aparentemente baixas, devendo-se, contudo, lembrar que seus picos atingiram temperaturas altas, chegando, de vez em quando, à casa dos 80 °C que geralmente é considerada como a temperatura máxima para não afetar a qualidade final do produto.

Quadro 7 - Desempenho médio do secador, sem (1978) e com modificações (1979).

A no	Gasto nominal de lenha	Número de testes	Temperatura da Secagem		Tempo de Secagem		Gasto atual de Lenha	
			Média °C	Desvio padrão	Média horas	Desvio padrão	Média m ³	Desvio padrão
1978	40	2	59.7	-	43.9	-	2.72	-
	30	8	58.3	3.07	40.7	7.91	1.90	0.37
	15	2	42.8	-	69.7	-	1.63	-
1979	30	20	64.3	7.07	36.9	4.9	1.72	0.23
	20	2	64.6	-	36.6	-	1.14	-
	15	10	58.9	6.03	42.6	5.3	0.99	0.13

Aplicabilidade das Recomendações para Secadores de outros Tamanhos

Em geral, a maior parte das recomendações e observações apresentadas pode ser aplicada diretamente para secadores de outros tamanhos. A exceção mais importante é a recomendação ligada à carga ideal de lenha.

Idealmente estes dois fatores devem ser pesquisados para cada secador de tamanho diferente, porém, na falta destas informações, eles são aqui propostos por extrapolações dos dados já disponíveis.

A estimativa da carga ideal de lenha deve ser relacionada com a carga de cacau no lastro, ou em termos mais corretos, com a quantidade de energia necessária para a secagem, que por sua vez é dependente da energia necessária para evaporar a água do cacau. Para quantidades de cacau similares àquelas já pesquisadas a carga ideal de lenha poderá ser relacionada diretamente com a área do secador. Se a carga ideal de lenha para um secador de 6 x 6 m for de 15 a 30 kg/hora, para um secador de 5 x 5 será de 10,4 a 20,8 kg/hora, e para um secador de 4 x 4 m de 6,7 a 13,3 kg/hora.

CONCLUSÕES

Um aumento da eficiência de operação do secador foi conseguido através das modificações introduzidas, principalmente na fornalha, que reduziram o consumo de lenha em uma média de 9,5% para taxa de lenha de 30 kg/hora e 38,9% para taxa de 15 kg/hora. Estas reduções do consumo de lenha são devido ao menor tempo gasto na secagem e são nominais para cada taxa de lenha.

A orientação do secador em relação a direção dos ventos predominantes ficou provada ser de fundamental importância em sua operação. A colocação das entradas de ar voltadas para os ventos predominantes, bem como as saídas (janelas) na parte oposta, ajudarão a melhorar o fluxo de ar que passa através

da massa do cacau, uma vez que este fluxo responde, em grande parte, pelo tempo de secagem.

A melhoria da qualidade final do produto foi obtida através do controle da taxa de lenha, que deu uma temperatura de secagem sem grandes flutuações.

Entretanto, o grande fator alcançado na melhoria da qualidade foi a eliminação do cheiro de fumaça, devido a obtenção de um sistema de baixa pressão no interior da fornalha e tubo trocador de calor, eliminando, assim, a possibilidade de vazamento de fumaça no interior da câmara e pela porta da fornalha. Com o novo sistema a fumaça só tem um único destino — sair pelo alto da chaminé.

RECOMENDAÇÕES

Além da passagem destas informações de maneira mais acessível aos agricultores, se possível, usando até a televisão, como meio de comunicação, recomenda-se que um trabalho, junto às empresas regionais que trabalham com chapas tubulares e fornalhas, seja feito no sentido de se proporcionar um serviço volante, que se possa deslocar até às fazendas, para introduzir estas modificações nas instalações já existentes.

Sugere-se que estas modificações sejam financiadas pelo sistema CEPLAC/Banco do Brasil.

É importante observar que estes financiamentos deverão envolver todo o conjunto de modificações, uma vez que elas representam um pacote, através do qual, os dois objetivos básicos, *aumento da eficiência de operação e melhoria da qualidade final do produto*, serão alcançados.

Sugere-se, outrossim, que financiamentos para construções de novos secadores só sejam concedidos com a obrigatoriedade da inclusão da nova fornalha e da orientação correta.

Finalmente, sugere-se que uma ou mais secagens sejam acompanhadas por técnicos do CEPEC (DITEC) e alguns técnicos do DEPEX, para que juntos vivenciem as modificações introduzidas, de modo que estes possam repassá-las aos demais técnicos do DEPEX e estes aos agricultores.

Ver recomendações mais importantes nos Anexos 1 a 5.

LITERATURA CITADA

- BONDAR, G. 1924. O cacao; a cultura e o preparo de cacao. Salvador, Brasil, Imprensa Oficial 157 p.
- COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA, s.d. Catálogo de instalações agrícolas e habitações rurais; codificação de projetos e orçamentos. Ilhéus, BA, Brasil. 2 v.
- McADAMS, W.H. 1954. Heat transmission. 3 ed. New York, McGraw Hill. 532 p.
- McDONALD, C. R. e FREIRE, E.S. 1981. Secagem de cacau com e sem recirculação de ar em um secador do tipo Plataforma. In Ilhéus, BA, Brasil. CEPLAC/CEPEC. Informe Técnico 1979. Ilhéus. pp. 268–269.
- PERRY, J.H. 1963. Chemical engineers handbook. 4 ed. New York, McGraw Hill. 1 v.
- REINEKE, L.H. 1961. Wood fuel combustion practice. In US. Department of Agriculture. Report n° 1666-18. Washington. 9 p.
- SCHMIDT, K. 1932. Secagem de cacau. Salvador, Brasil, s.l. 17p.
- TORREND, C. 1918. A cultura do cacau. VIII. Seccagem e expedição. Brotéria (Série de Vulgarização Científica) (Portugal) 16:135–138.
- WOOD, G.A.R. 1969. Experiments on cocoa drying in the Cameroons. Tropical Agriculture (Trinidad and Tobago) 38:1–11.

RESUMO

São apresentados os resultados de dois anos de estudo com o secador tubular tradicional, usado para a secagem de cacau na região sul da Bahia. O objetivo do primeiro ano de trabalho foi obter um completo entendimento do mecanismo de operação deste tipo de secador. Durante o segundo ano uma sequência de modificações foram implementadas, tendo-se como metas: aumentar a eficiência de operação do secador, assim como melhorar a qualidade final do produto. A operação do secador foi estudada sob os seguintes aspectos: a) baixa eficiência térmica da fornalha; b) superaquecimento da fornalha e tubo; c) contaminação com cheiro de fumaça; d) fluxo de ar no secador tubular; e) desuniformidade na secagem; f) considerações na transferência de calor. São apresentadas recomendações práticas dentro de cada subtítulo, bem como são comentadas suas aplicabilidades.

S U M M A R Y

The results are presented of a two year study of traditional artificial drier used for cocoa in the Bahia Region of Brazil. The objective of the first year work was to obtain a complete understanding of the operating mechanisms of this type of drier. During the second year a sequence of modifications were implemented, the objective of which were twofold; to increase the efficiency of the drier while at the same time improving the quality of the dried cocoa. The operation of the drier has been studied under the following subheadings: a) Low thermal efficiency of the furnace; b) Overheating of the furnace and heat exchange tube; c) Contamination of cocoa with smoke; d) Drying air flow movement; e) Disuniformity of the drying over the area of the drying floor; f) Heat transfer considerations. For each subheading practical recommendations are made and their effectiveness discussed.

Anexos

ANEXO 1
BAIXA EFICIÊNCIA TÉRMICA DA FORNALHA

PROBLEMAS	RECOMENDAÇÕES
A) Excesso de fluxo de ar de combustão.	a) Reduzir o fluxo de ar de combustão, com uma placa de controle (registro), colocada na parte frontal do cinzeiro. b) Este registro deve funcionar fechado (encostado ao cinzeiro). O ar que entra pelas imperfeições do encontro das partes metálicas é suficiente para a combustão da lenha.
B) Desuniformidade na cobertura dos crivos com a lenha.	a) Colocar até 30 kg/hora de lenha na fornalha. b) Colocar, no fundo da fornalha, uma chapa metálica que impeça a lenha ultrapassar a área dos crivos. c) Cobrir o primeiro conjunto de crivos com chapa metálica, forçando todo o ar de combustão a passar através da lenha em chamas, empilhadas no final da fornalha.
C) Uso da lenha mal preparada.	a) Preparar a lenha com antecedência (durante o período de paradeiro), cortando-a com menos de 1 m de comprimento por 15 cm de espessura, armazenando-a por 6 meses antes do uso, de preferência sob uma cobertura.
D) Obstrução dos crivos pelo acúmulo de cinzas em cima e em baixo dos mesmos.	a) Agitar as brasas a cada hora, imediatamente antes da colocação de nova carga. b) Aumentar a altura do cinzeiro para 30 cm, para facilitar a retirada das cinzas. c) Retirar as cinzas do cinzeiro, regularmente, a cada 4 horas, com um rodo metálico especial (com a haste marcada de modo a se saber o comprimento da fornalha).

ANEXO 2
SUPERAQUECIMENTO DA FORNALHA E TUBO

PROBLEMAS	RECOMENDAÇÕES
A) Colocação de excesso de lenha na fornalha.	a) Operar a fornalha num regime rigoroso de enchimento, com não mais do que 30 kg de lenha de boa qualidade de hora em hora.
B) Uso de chapa de aço fina para fornalha e tubo de combustão.	a) Usar chapa de 5/16" para a fornalha, 1/4" para a primeira secção do tubo e 3/16" para as secções restantes.
C) Falta de meios para o operador acompanhar a temperatura da operação.	a) Instalar um termômetro metálico a mercúrio, de acordo com as recomendações da CEPLAC (preferivelmente adquirido através da revenda da CEPLAC).

ANEXO 3

CONTAMINAÇÃO COM CHEIRO DE FUMAÇA

PROBLEMAS	RECOMENDAÇÕES
A) Má colocação do regulador de fluxo de ar na base da chaminé.	a) Colocá-lo na entrada do cinzeiro em forma de uma porta com dobradiças.
B) Fumaça saindo pela porta da fornalha e entrando no plenum através dos 2 buracos na parte frontal (“espelho”), como também através da má junção das partes laterais da fornalha com as paredes.	a) Eliminar os buracos do “espelho”. b) Construir as paredes de modo a permitir uma boa vedação com as bordas da fornalha, deixando apenas 2 mm em cada lado para permitir o movimento de expansão da chapa da fornalha.
C) Empenamento dos flanges do tubo de troca de calor, produzindo vazamento de fumaça.	a) Impedir o superaquecimento, mantendo as brasas em cima dos crivos e não dentro do tubo. b) Fazer a manutenção anual com a desmontagem completa do tubo. Vedar os flanges com cordas de amianto de 1/4” de diâmetro e trocar todos os parafusos com qualquer estrago.
D) Vazamento na junção metal-cimento, na parte do tubo, junto à chaminé.	a) Inspeccionar regularmente e rejuntar com cimento neste ponto.
E) Uso da chaminé metálica dando uma tiragem menor devido as perdas de calor.	a) Usar somente chaminés construídas de tijolos.

ANEXO 4
DESUNIFORMIDADE NA SECAGEM (“SOMBRA”)

PROBLEMAS	RECOMENDAÇÕES
A) Carregamento irregular da fornalha.	a) Carregar, rigorosamente, um máximo de 30 kg de lenha de hora em hora.
B) Variação da velocidade e direção do vento.	a) Orientar o secador com o eixo longitudinal da chapa tubular na mesma direção dos ventos predominantes, preferivelmente soprando na parede da chaminé, localizando-se todas as 4 entradas de ar nesta parede.

ANEXO 5

AUMENTO DA TAXA DE SECAGEM

PROBLEMAS	RECOMENDAÇÕES
A) Aumento do fluxo do ar de secagem pelo aproveitamento da força do vento.	a) Colocar todas as entradas de ar na parede da câmara voltada para a direção dos ventos predominantes. b) Construir ou operar o secador com no mínimo 4 janelas de 1 m² cada, localizadas nas paredes do lado oposto aos ventos predominantes, assegurando-se não haver janelas na parede onde o vento incide, bem como que o resfriador de cacau não fique na passagem de saída do ar úmido da secagem. c) Localizar o secador de modo a ter uma área livre de edifícios, árvores, capins altos etc., de pelo menos 25 m de comprimento, do lado dos ventos predominantes.
B) Aumento da transferência e aproveitamento do calor.	a) Orientar o secador com as entradas de ar localizadas na parede da chaminé, de modo a fazer um contra fluxo com os gases da combustão de dentro do tubo. b) Pintar as paredes internas da câmara com cal (3 camadas) para refletir a maior proporção de qualquer radiação que a atingir. c) Todo ano, desmontar o tubo, tirar as cinzas e limpá-lo por fora e por dentro com uma vassoura de aço.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA – CEPLAC

CONSELHO DELIBERATIVO

Presidente

Ângelo Amaury Stabile – Ministro da Agricultura

Vice- Presidente

Benedito Fonseca Moreira – Diretor da CACEX

Secretário Geral da CEPLAC

José Haroldo Castro Vieira

Ministério da Indústria e Comércio

Carlos Pereira Filho

Governo do Estado da Bahia

Renan Rodrigues Baleeiro

Governo do Estado do Espírito Santo

Emir Macedo Gomes

Banco Central do Brasil

Mário Roberto Trompowsky do Amaral

Produtores de Cacau

Onaldo Xavier de Oliveira

SECRETARIA GERAL

Secretário Geral

José Haroldo Castro Vieira

Secretário Geral Adjunto

Emo Ruy de Miranda

Coordenador Técnico-Científico

Paulo de Tarso Alvim

COORDENADORIA REGIONAL

Coordenador Regional

Fernando Vello

Chefe do Departamento Administrativo

Lício de Almeida Fontes

Chefe do Centro de Pesquisas do Cacau

João Manuel Abreu

Chefe do Departamento de Extensão

Antonio Manoel Freire de Carvalho

Chefe do Departamento de Apoio ao Desenvolvimento

Ivan da Costa Pinto Gramacho

Chefe da Escola Média de Agricultura da Região Cacaueira

João Luiz de Souza Calmon

PROGRAMA ESPECIAL DA AMAZÔNIA

Chefe do Departamento Especial da Amazônia

Frederico Monteiro Álvares Afonso

Editor

Jorge Octavio Alves Moreno

