



Secagem de cacau em secador tipo plataforma com e sem recirculação de ar

CLIVE R. McDONALD
EVANDRO SENA FREIRE

Boletim Técnico 118

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

1983

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA

Órgão vinculado ao Ministério da Agricultura

Presidente: Ângelo Amaury Stabile, Ministro da Agricultura; **Vice-Presidente:** Benedito Fonseca Moreira, Diretor da CACEX; **Secretário-Geral:** José Haroldo Castro Vieira; **Secretário-Geral Adjunto:** Emo Ruy de Miranda; **Coordenador Técnico-Científico:** Paulo de Tarso Alvim; **Coordenador Regional:** Fernando Vello.

BOLETIM TÉCNICO

Publicação de periodicidade irregular, editada pelo Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), destinada à veiculação de artigos científicos e de divulgação técnica, relacionados com assuntos agrônômicos e sócio-econômicos de interesse das regiões produtoras de cacau, de autoria de pesquisadores e técnicos da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), e eventualmente de técnicos de outras instituições.

Comissão de Editoração (COMED): Jorge Octavio Moreno, Coordenador; Ronald Alvim; Percy Cabala R.; Antonio Henrique Mariano; Ariovaldo Matos; Leda Góes Ribeiro; Saulo de Jesus Soria.

Editor: *Jorge Octavio Alves Moreno*

Assinatura anual poderá ser feita mediante o envio de Cr\$ 1.000,00 (hum mil cruzeiros) em cheque nominal à CEPLAC – Divisão de Finanças, pagável em Itabuna, BA, ao seguinte endereço:

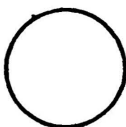
BOLETIM TÉCNICO
CEPLAC/DIBID – Caixa Postal 7
45.600 – Itabuna, Ba

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



Secagem de cacau em secador tipo plataforma com e sem recirculação de ar

CLIVE R. McDONALD
EVANDRO SENA FREIRE

Boletim Técnico 118

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

1 9 8 3

SECAGEM DE CACAU EM SECADOR TIPO PLATAFORMA COM E SEM RECIRCULAÇÃO DE AR

*Clive R. McDonald**
*Evandro Sena Freire***

RESUMO

Amêndoas de cacau foram secas sob condições controladas, usando um secador tipo plataforma, com e sem recirculação do ar de secagem. Um parâmetro denominado eficiência térmica global foi definido para permitir a comparação dos resultados apresentados com os encontrados na literatura.

Pela aplicação de fluxo de ar reduzido nos testes sem recirculação, eficiências tão altas quanto aquelas obtidas com recirculação foram conseguidas para temperaturas próximas de 60 °C. A 70 °C, o uso da recirculação resultou em algum aumento na eficiência.

Nas condições dos experimentos, os valores de eficiência global para os testes sem recirculação foram independentes da temperatura do ar de secagem. Nos experimentos com recirculação, entretanto, a carga de cacau usada e, em menor grau, a temperatura do ar tiveram efeito importante na eficiência do sistema.

As curvas de secagem obtidas nos testes apresentaram três fases distintas de secagem, correspondendo bem com os resultados já publicados. As taxas de secagem durante as duas fases iniciais foram menores do que o esperado, embora durante o período final, a queda experimental na taxa normal, tenha ocorrido.

ABSTRACT

Cocoa was dried under controlled field conditions, using a platform type unit with and without recirculation of the drying air. A value known as the 'overall thermal efficiency' was defined to enable the results presented here elsewhere to be compared. By the application of a reduce air flow to the non-recirculation runs, efficiencies at least as high as those obtained with recirculation could be obtained with drying at or near 60 °C. At 70 °C the application of recirculation resulted in some increase in efficiency. Overall thermal efficiency values for the no-recycle runs, over the range of conditions tested, was independent of drying air temperature. With recirculation, however, the degree of cocoa loading and to a lesser extent the drying air temperature were important in determining system efficiency. The drying rate curves of the runs carried out showed three distinct periods, corresponding well with previously published results. Drying rates during the initial periods were lower than expected, though during the final period, the usual exponential fall in drying rate took place.

* *11 Tudor Green, Blacon, Chester, Inglaterra.*

** *Divisão de Tecnologia e Engenharia Agrícolas, Centro de Pesquisas do Cacau, APT CEPLAC – 45.600, Itabuna, Bahia, Brasil.*

INTRODUÇÃO

O cacau, após o processo normal de fermentação, tem um conteúdo de umidade de cerca de 50% (base úmida) que deve ser reduzida para 7% antes que o produto seco possa ser seguramente armazenado. Em regiões onde condições adversas de clima não permitem o uso da secagem natural ou nas situações em que altas produções garantem um maior nível de industrialização, a secagem artificial é adotada. Talvez o mais simples tipo de secador seja o tipo plataforma, o qual consiste de um lastro de secagem, geralmente feito de chapas de aço perfuradas, suportado por paredes de tijolos. O espaço debaixo do lastro de secagem, conhecido como “plenum”, permite a distribuição do fluxo de ar sobre toda a área de lastro com o produto a ser seco. O fluxo de ar pode ser obtido por convecção natural ou forçada. Neste caso o ar quente de uma fornalha ou outro tipo de aquecedor, situado junto à plataforma de secagem, é insuflado no “plenum” por meio de um ventilador. Camadas espessas de cacau podem ser usadas em áreas relativamente pequenas e uma adequada distribuição de ar pode ser conseguida com alturas de “plenum” relativamente baixas. Estes dois fatores combinados possibilitam o uso de um secador tipo plataforma, compacto e de baixo custo de construção.

Um método muito preferido para aumentar a eficiência térmica de sistemas de secagem utiliza a reciclagem do ar que deixa o secador, quando este não se torna completamente saturado pela sua passagem através do produto úmido. Desde que a umidade do ar de saída diminui continuamente, durante a secagem, para se obter uma operação ótima, a proporção de ar reciclada deve ser aumentada gradualmente. Isto tende a levar a uma complicada seqüência de operação.

O presente trabalho procura comparar o desempenho de um dado secador, com e sem recirculação do ar de secagem. Este trabalho é o primeiro de uma série em que diferentes tipos de secadores serão testados e comparados. Por esta razão, deu-se ênfase, aqui, à definição do procedimento experimental e dos métodos de análise de dados, uma vez que isto formará a base para todos os estudos futuros. Nenhuma apreciação econômica foi feita quer em termos de capital de investimento ou de custo de operação.

Demanda de energia do processo

A energia requerida no processo de secagem pode ser subdividida em energia mecânica, para acionar o ventilador, e o calor, para elevar a temperatura do ar de secagem. Os meios de se suprir estas necessidades devem ser selecionados com cuidado, especialmente, diante da atual conjuntura de altos custos de energia. Deve ser sempre lembrado, entretanto, que o objetivo primeiro é evitar a deterioração de um produto de alto valor comercial e isto significa que a combinação secador/custo de energia a ser usada deve ser capaz de secar todo o cacau que chega, sob quaisquer condições.

Para tão alto grau de confiabilidade, no presente nível de conhecimento, a energia mecânica deve vir da eletricidade ou do óleo diesel, enquanto que o aquecimento deve ser obtido através do óleo diesel, eletricidade, gás ou lenha. Enquanto que o uso da eletricidade e do óleo diesel pode ser justificado para o suprimento de pequenas quantidades de energia, requeridas para acionar o ventilador (menos que três por cento do total de energia necessária, conforme WOOD, 1961), a lenha deve ser encarada por alguns anos, ainda, como sendo a única fonte de energia térmica da Região Cacaueira da Bahia. Uma vez que o uso da secagem com convecção forçada, com esta confiável combinação de fontes de energia, tenha sido introduzida na região com sucesso, pré-aquecedores solares poderão ser considerados como um meio para reduzir custos de operação (HUBBARD, 1976). Uma outra possibilidade futura é o uso do gasogênico derivado do carvão vegetal para acionar um motor a gasolina adaptado, conectado a um ventilador. Tal sistema, entretanto, é ainda baseado na lenha e a perda de energia que ocorre na obtenção do carvão precisa ser levada em conta, quando comparada com a eficiência de sistemas em que a madeira é queimada diretamente. A dependência óbvia e contínua da lenha para fins de secagem, deve ser levada em consideração no futuro próximo através de uma política específica de reflorestamento, tanto em cada fazenda como em áreas vizinhas destinadas à produção de madeira para este fim.

REVISÃO DE LITERATURA

WOOD (1961) estudou o desempenho de um secador tipo plataforma de 16,7 e 11,7 m², com queimador de diesel e ventilador elétrico. Concluiu que, dentro das condições experimentadas, a secagem mais econômica foi obtida com a carga máxima (42,7 kg/m² *, representando uma espessura de camada de 0,114 m), com a temperatura mais alta (80 °C) e com o mais baixo fluxo de ar (0,046 m/s). Nestas condições, a secagem foi completada em 25 a 36,5 horas. Assumindo um valor de 3,55 x 10⁷ kJ/m³ para o calor de combustão do diesel, foi conseguida uma eficiência global de 27 a 30%. Em uma seqüência adicional de seis testes, com redução da vazão de ar e/ou temperatura depois de um tempo de secagem entre 6 e 16,5 horas, foram obtidos valores de eficiência de até 35%.

ALLISON e KENTON (1964) estudaram a secagem de cacau em um secador plataforma com recirculação. Um ventilador e trocador de calor similar àquele usado por WOOD (1961), porém, duas vezes maior, foram usados para secar, em uma plataforma comparativamente maior (20,8 m²), cargas de cacau de até 51,7 kg/m². A proporção de ar reciclado para a de ar ambiente usada, durante os

*Cargas do secador serão expressas em quilogramas de cacau seco (sete por cento de umidade base úmida) por metro quadrado de lastro.

testes, foi crescente, permitindo que no final do processo a temperatura se elevasse gradualmente até um valor máximo de 70 °C. Embora secagem mais lenta seja uma característica de sistemas com recirculação, foram alcançados tempos de secagem de somente 22 horas, com o uso de alta vazão de ar (nominalmente 0,12 m/s). Apesar disso, foram obtidas eficiências globais de até 46% e, possivelmente, estas pudessem ter sido ainda maiores se o cacau não tivesse sido super-seco (i.e. seco até teores de umidade de 4%, em alguns casos). É muito difícil comparar diretamente os resultados de WOOD com aqueles de ALLISON e KENTON por causa da falta de similaridade das condições. Entretanto, para cargas na faixa de 39 a 42,7 kg/m² e temperaturas de 75 a 80 °C, os testes sem circulação e baixa vazão de ar deram eficiências de 22,2 a 29,9%, enquanto que com recirculação e altas vazões foram obtidos valores de 29,9 a 41,2%.

MARAVALHAS (1976) também estudou a secagem de cacau com recirculação. Cargas de 67 kg/m² são citadas, com temperaturas de ar de secagem de até 80 °C. Uma metodologia para a operação do secador usado foi desenvolvida, a qual resultou em consumos de combustível equivalente a eficiências térmicas globais de 37,6 a 43,4%.

MATERIAL E MÉTODO

Descrição e apresentação do secador

O secador testado (Figura 1) foi utilizado por MARAVALHAS (1976). Cargas de cacau correspondentes a camadas de até 0,2 m de espessura puderam ser usadas, deixando uns poucos centímetros de parede livre acima da superfície do produto para o revolvimento. O fluxo de ar foi conseguido através de um ventilador centrífugo acionado por um motor elétrico de 3 HP. O aquecimento foi feito por meio de um trocador de calor do tipo fluxo cruzado, com os gases de combustão, oriundos de um conjunto de bicos queimadores de baixa pressão, passando verticalmente pelo interior dos tubos do trocador para a chaminé. O gás empregado foi o comum, de cozinha (40% butano e 60% propano), contido em duas baterias de seis cilindros contendo até 70 kg de gás cada. O aquecedor tinha uma capacidade nominal de 93 KW, o que implica numa elevação teórica de temperatura de aproximadamente 35 °C, baseando-se no fluxo de ar especificamente pelo fabricante e uma eficiência de transferência de calor de 100 por cento no trocador.

Havia uma cabine montada acima da plataforma, de forma retangular, de 1,0 m de altura com janelas que, quando suspensas, davam acesso para carga e/ou revolvimento de cacau, mas quando fechadas serviam como um duto para conduzir o ar, na saída do secador, de volta à entrega do ventilador. Duas portas corredeiras de áreas de 0,05 m² e 0,021 m², nesta estrutura, permitiam a entrada de ar ambiente para o ventilador, porém, quando fechadas, juntamente com as janelas da

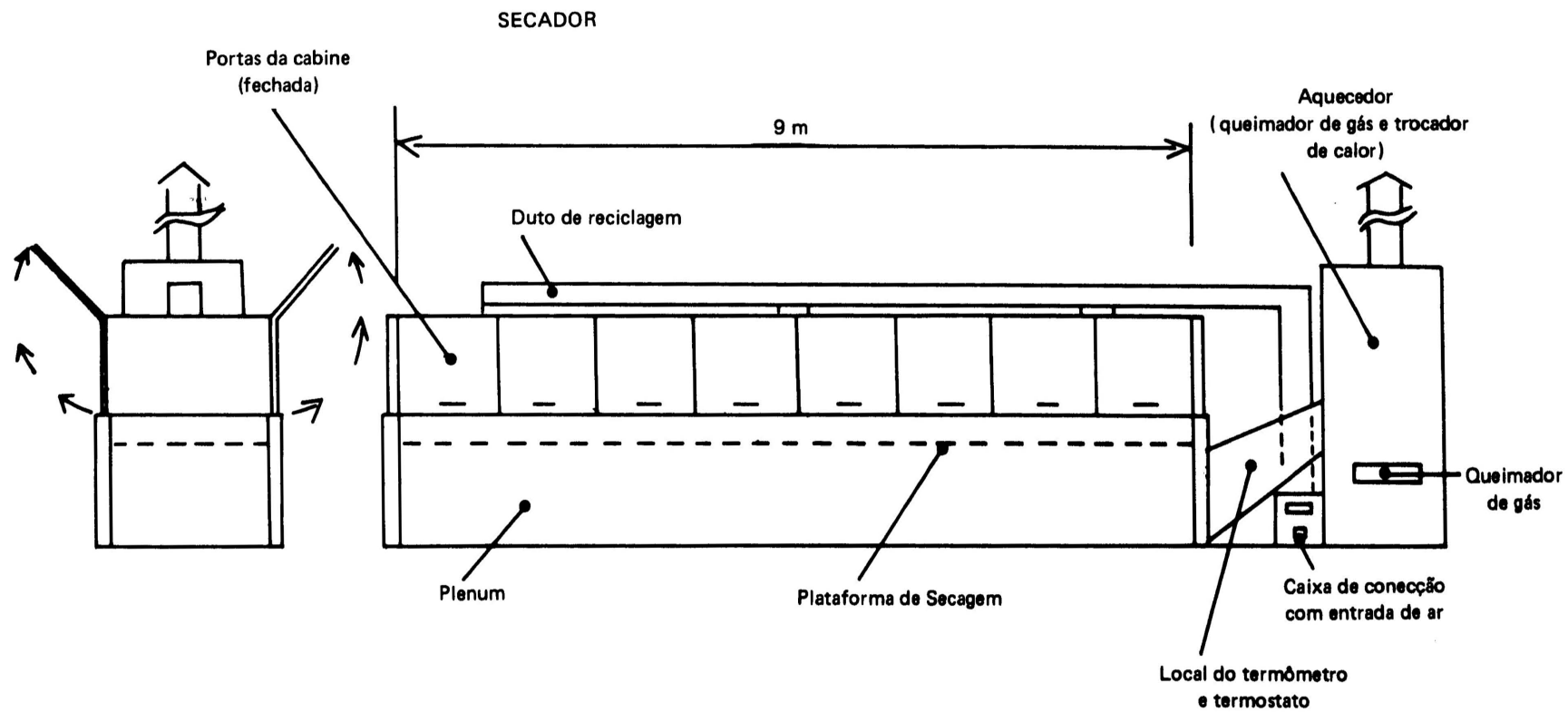


Fig 1 – Diagrama do Secador

cabine de recirculação de ar, permitiam a recirculação total do ar de secagem, via trocador de calor.

As amêndoas de cacau vindas diretamente das caixas de fermentação eram pesadas antes de serem transferidas para o secador.

A temperatura era ajustada em um termostato e o ventilador e a unidade de aquecimento eram então acionados.

O procedimento para secagem com recirculação foi aquele recomendado por MARAVALHAS (1976), o qual está resumido no Quadro 1. Para os testes sem recirculação, os dutos de recirculação eram vedados e somente a entrada de ar menor era deixada aberta, durante todo o tempo de operação.

Quadro 1 - Procedimento para secagem com recirculação de ar.

Tempo de secagem		
0	Todas as janelas abertas	Completamente abertas
3 a 4	Fechar as janelas alternadamente, mantendo as outras semi-abertas.	Completamente abertas
8	Todas as janelas devem ser fechadas.	Completamente abertas
12	Todas fechadas	Entrada de ar menor deve ser fechada
Quando não houver mais nenhum sinal de condensação nas paredes da cabine de recirculação	Todas fechadas	Entrada de ar maior deve ser fechada pela metade.
20	Todas as janelas fechadas até o término da secagem.	Todas entradas de ar devem estar fechadas até o término da secagem.

Amostragem da massa de cacau foi feita a cada duas horas. Um pedaço de tubo plástico de oito centímetros de diâmetro era introduzido verticalmente na camada de cacau e, com uma lâmina metálica introduzida entre o tubo e o lastro perfurado, toda a amostra contida no tubo podia ser removida e despejada em um saco plástico. Imediatamente após a amostragem a camada era revolvida manualmente.

O consumo de gás foi estimado a partir das diferenças entre os pesos dos cilindros de gás antes e após cada teste.

Medições de temperatura, vazão de ar e umidade

Leituras de temperatura foram feitas a cada meia hora, usando um termômetro de mercúrio de tubo capilar inserido na parede do duto de saída de ar do trocador, nas vizinhanças do termostato.

Valores integrados da vazão de ar foram tomados com um anemômetro de aletas (Air Flow Development, High Wycombe, Inglaterra), enquanto que velocidades instantâneas foram medidas por meio de um anemômetro de fio quente (Wallac Instruments, Newbury, Inglaterra). Ambos os anemômetros foram calibrados com anemômetro sensível de copos (C.F. Cassella Co., Londres, Inglaterra). Para se obter valores representativos nas entradas de ar, leituras com o anemômetro de fio quente foram tomadas em 13 pontos, de acordo com as normas BS 848 para medição de fluxo de ar em dutos retangulares.

Umidades relativas do ar ambiente e de reciclagem eram medidas com higrômetros de cabelo (Gallenkamps, Londres, Inglaterra).

Ânalse dos dados

Pequenas variações nos teores de umidade inicial e final podem ter grandes efeitos sobre o tempo de secagem, especialmente no presente caso onde as taxas finais de secagem são baixas. Na prática, estas variações são inevitáveis e a determinação do teor de umidade no campo é inteiramente uma questão de prática do operador. Para que a comparação entre os testes fosse possível, uma medida mais precisa do tempo de secagem foi necessária. Valores de umidade inicial e final foram fixados em 50 a 7%, respectivamente, e um tempo de secagem corrigido (T_c) foi calculado como sendo a duração da secagem entre estas duas umidades. Correção do valor inicial da umidade foi feita por interpolação linear, enquanto que a estimativa do ponto final (seja ele interpolação ou extrapolação) foi feita através de uma relação exponencial com os coeficientes obtidos por regressão linear sobre os dados da umidade das últimas horas de secagem (i.e. durante o período da taxa de secagem decrescente). Para os oito testes considerados, os coeficientes de correlação obtidos caíram na faixa de 0,936 a 0,977.

A eficiência global do secador (N_t) foi definida como sendo a razão da quantidade de calor de fato, usada para evaporar água para aquela gerada pelo queimador de gás. Um valor aproximado de N_t pode ser calculado por:

$$N_t = \frac{L A \lambda}{F C T} \left(\frac{M_o - M}{100 - M_o} \right) \quad (1)$$

onde:

L = carga de cacau seco, kg/m^2

A = área do secador, m^2

λ = calor latente de evaporação da água, $0,225 \times 10^7$ J/kg

M_o = teor de umidade inicial, % base úmida

M = teor da umidade final, % base úmida

F = consumo de combustível, kg/h

T = tempo real, h

C = valor calorífico líquido do gás, $5,16 \times 10^7$ J/kg

Introduzindo o tempo de secagem corrigido, T_c , e as constantes acima a Equação 1 reduz-se para:

$$N_t = 0,6768 \frac{L}{FT_c} \quad (2)$$

A Equação 2 é apenas uma aproximação, uma vez que o consumo de combustível (F) pode variar durante qualquer teste (especialmente quando usando recirculação) e deve ser aproximado pela divisão do peso total de gás consumido pelo tempo real de secagem.

A eficiência térmica global é um método vantajoso na comparação de testes diferentes e, também, na comparação de um secador com outro, pois ela é um valor que engloba todo o sistema de secagem. Para acompanhar a eficiência de secagem, durante todo um teste, um valor para a eficiência instantânea é necessário. Este pode ser definido como sendo a razão entre quantidade de água capturada pelo ar, durante sua passagem pelo secador, e a quantidade total que poderia ser removida se o ar deixasse o secador em estado de saturação e pode ser calculada por:

$$N_i = \frac{re - ra}{rs - ra} \quad (3)$$

onde: re = razão de umidade do ar na saída da camada de cacau, kg/kg.

ra = razão de umidade do ar de entrada ou ar ambiente, kg/kg.

rs = razão de umidade do ar saturado à mesma temperatura de bulbo úmido do ar de saída, kg/kg.

Assumindo condições de secagem adiabática, a equação 3 pode ser aplicada pela medida de somente três parâmetros; neste caso, temperatura e umidade relativa ambiente e umidade relativa do ar de saída foram registradas.

As taxas de secagem foram calculadas a partir dos dados de teor de umidade experimentais usando, primeiramente, a técnica de ajuste de curva por cinco pontos, seguido pela estimação da derivada pelo método dos três pontos (PERRY, 1963). O uso de estimativas de ordens mais altas não melhorou os resultados finais de modo significativo.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Um resumo das condições de testes de oito experimentos está no Quadro 2. Quebra da correia do ventilador e falha no funcionamento da chama piloto do queimador causaram a eliminação de cinco testes experimentais. Irregularidades na colheita do cacau não permitiram que o secador fosse freqüentemente carregado com quantidades de cacau predefinidas e constantes.

Temperaturas do ar de secagem

O controlador de temperatura mostrou ser inadequado, sua calibração foi apenas aproximada e uma variação de 1 °C foi observada entre os pontos em que o termostato ligava e desligava.

Grandes variações de temperatura na secção transversal do duto da saída do trocador foram também observadas, sendo a faixa de variação medida na região do termostato, de 61,5 a 88 °C, quando a temperatura de controle era de 60 °C.

Duas temperaturas no termostato foram investigadas (60 e 80 °C) e os resultados de dois testes são apresentados nas Figuras 2 e 3, mostrando as temperaturas do ar, medidas a cada meia hora. As irregularidades das curvas de temperatura mostram como o nível de controle foi ineficiente.

De um modo geral, nos testes sem recirculação, a temperatura eleva-se rapidamente até o valor fixado no termostato, enquanto que, com o uso da recirculação, a temperatura mantém-se baixa por um certo tempo. Verifica-se que para vazões de ar mais altas, usadas nas secagens com recirculação, o aquecedor pode elevar a temperatura do ar ambiente para apenas 55 a 65 °C e somente mais tarde, quando a reciclagem torna-se completamente efetiva é que mais altas temperaturas podem ser atingidas. Durante o período inicial dos testes com reciclagem, os bicos queimadores de gás permanecem acesos continuamente, dando uma temperatura mais constante. Nos testes sem reciclagem, com baixos fluxos de ar, temperaturas mais elevadas são obtidas de imediato, embora o sistema de controle mal pôde manter a temperatura de 60 °C (ver especialmente o teste 13). Deve ser observado que há uma forte tendência por parte do operador de colocar o termostato na temperatura mais alta possível para tentar acelerar a secagem. Isto está claro na Figura 2, para o teste 8, no período de 24 a 31 horas.

Para condições de fazenda, um queimador que não desliga é preferível, mas onde o controle de temperatura é essencial, um controlador não do tipo ajustável, mas de ponto único é recomendado para evitar o mau uso e para reduzir o custo de investimento.

Medição de vazão de ar

Tendo em conta que o fluxo de ar através do cacau não será perfeitamente uniforme, as leituras de fluxo volumétrico, tomadas na entrada do aquecedor,

Quadro 2 - Resumo das condições dos testes efetuados.

Nº Teste	Temperatura no termosta- to ºC	Temperatura média obtida ºC	Carga de Cacau seco (7% b.u.) Kg/m ²	Consumo horário de gás kg/h	Tempo de secagem corrigido h	Eficiência térmica global %	Umidade Inicial % b.u.	Umidade final % b.u.	Tempo de secagem real h
NR/04	60	62,9	46,3	3,147	36,2	27,5	51,9	9,6	32,0
NR/13	60	66,4	46,0	2,711	43,8	26,2	50,2	6,3	45,0
NR/10	80	67,4	49,0	3,449	36,5	26,3	49,9	8,7	34,0
NR/12	80	74,7	49,5	3,493	36,5	26,3	49,9	7,4	36,5
CR/08	60	59,3	47,8	3,353	34,3	28,1	51,6	6,6	36,0
CR/09	60	65,1	44,5	3,218	36,9	25,4	52,3	6,9	38,0
CR/03	80	67,6	64,1	3,604	30,5	39,5	51,3	6,7	36,0
CR/02	80	71,4	48,3	3,272	28,4	35,2	52,5	6,8	34,0

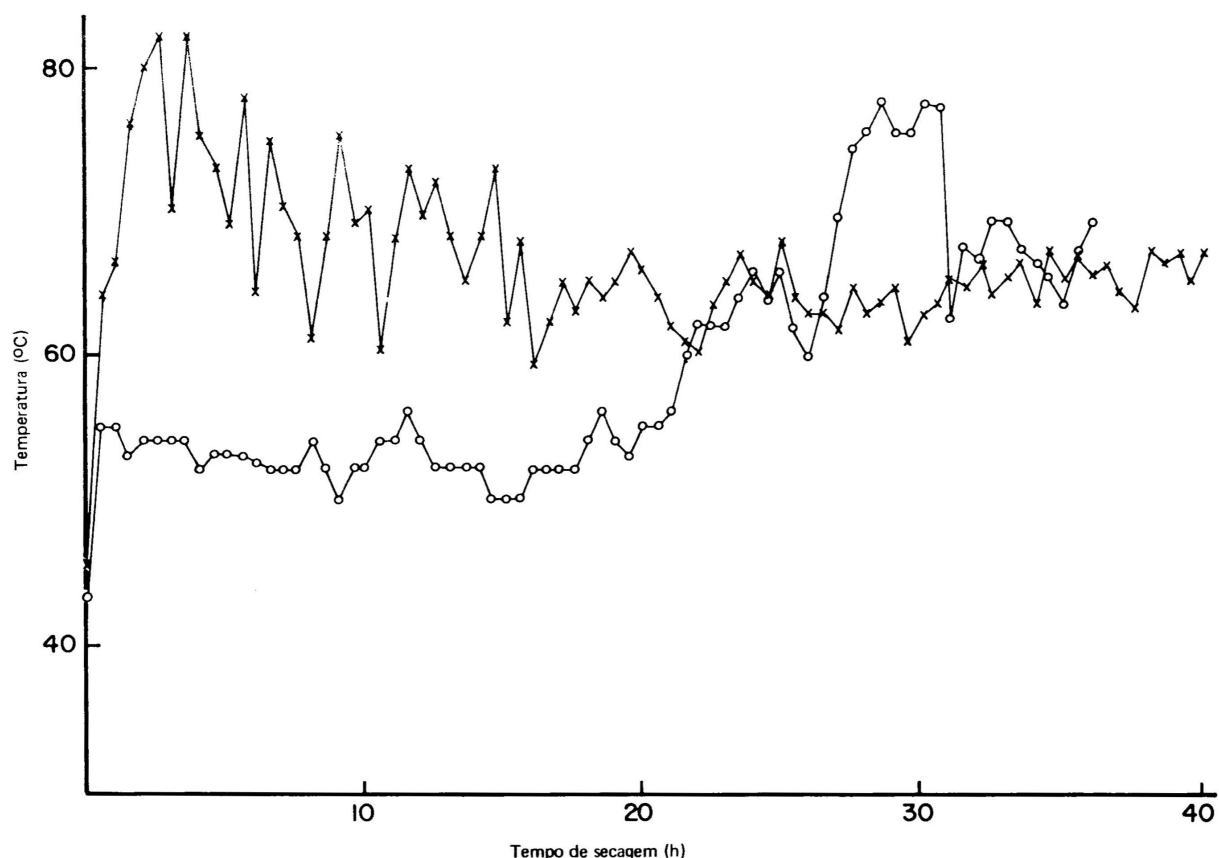


Fig. 2 – Curvas de temperatura de secagem: o teste 8 com recirculação; x teste 13 sem recirculação.

serão quotadas como velocidades equivalentes através do cacau. Estas foram calculadas, para os propósitos deste trabalho, assumindo distribuição uniforme perfeita. Por exemplo, um fluxo de ar livre do ventilador de $2,67 \text{ m}^3/\text{s}$ (como especificado pelo fabricante) representaria uma velocidade de $0,15 \text{ m/s}$ através do cacau.

Com o duto de recirculação completamente vedado, a vazão de ar, medida na entrada de ar maior (a menor permanecendo fechada), correspondeu a uma velocidade do ar de secagem de $0,62$ a $0,59 \text{ m/s}$. Com a entrada menor aberta e a maior fechada, o fluxo através do cacau medido foi de $0,029 \text{ m/s}$. Isto representa as condições normais de operação nos testes sem recirculação. O fluxo combinado foi tomado como sendo de $0,09 \text{ m/s}$.

A situação torna-se complexa quando a reciclagem é aplicada, uma vez que o ar pode ser succionado tanto da entrada do aquecedor como do duto de reciclagem, dependendo das resistências ao fluxo dos dois caminhos. Por exemplo, uma redução na área das entradas de ar ambiente tende a aumentar a reciclagem, enquanto que o aumento na carga de cacau tem efeitos inversos.

O fluxo de ar combinado, medido nas duas entradas de ar ambiente, deu uma velocidade no cacau de $0,03 \text{ m/s}$, quando em reciclagem. Desde que o fluxo de ar

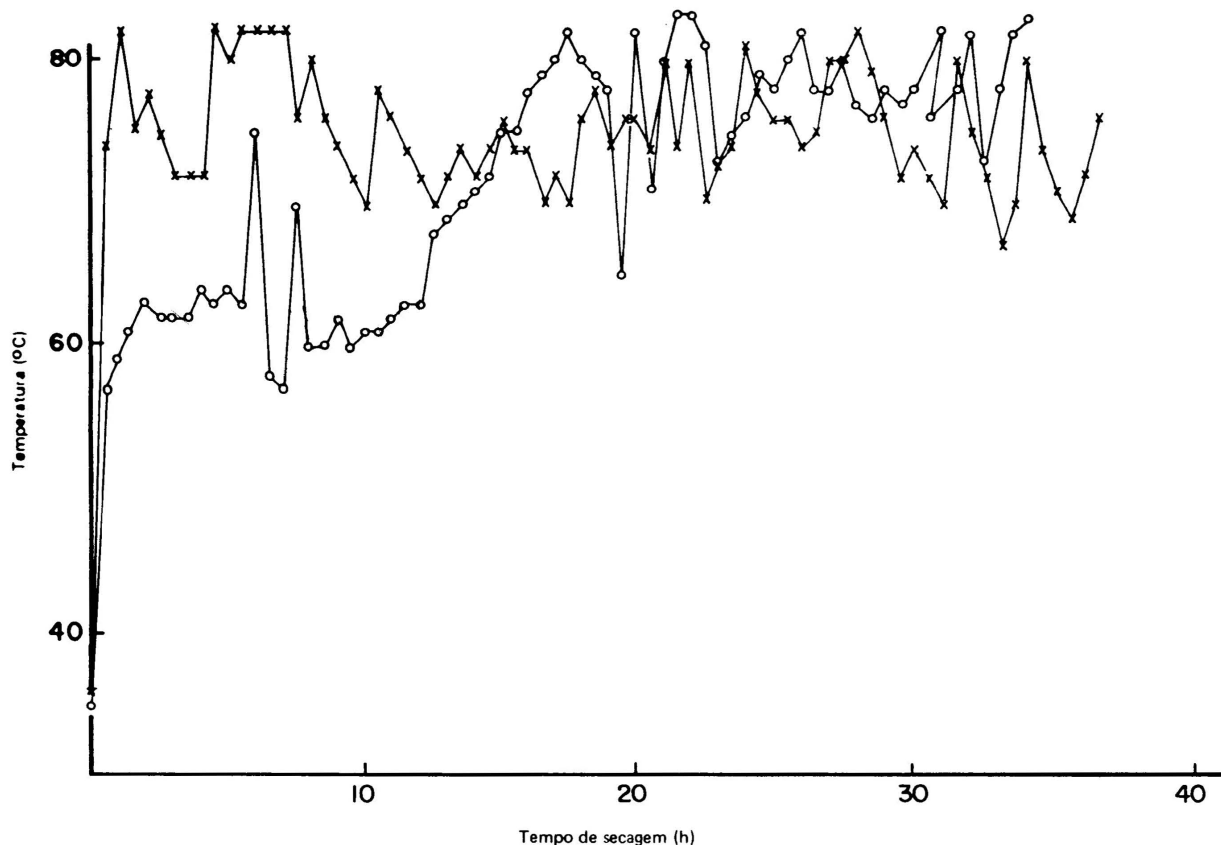


Fig. 3 – Curvas de temperaturas de secagem: o teste 2 com recirculação; x teste 12 sem recirculação.

total no cacau deve ser pelo menos 0,09 m/s, medido para as condições de testes sem reciclagem, é evidente que desde o início do processo pelo menos 67% do fluxo total vem do duto de recirculação (embora este não seja necessariamente todo o ar de secagem gasto). Esta proporção aumenta com o decorrer do processo até que praticamente todo o fluxo de ar seja derivado da reciclagem. Os fluxos de ar nominalmente aplicados (todos medidos com cacau recém-fermentado no secador) foram 0,03 m/s para testes sem recirculação e pelos menos 0,09 m/s para os testes com recirculação. O uso do fluxo mínimo no primeiro caso segue a sugestão de SHELTON (1967) de que isto levará a uma eficiência máxima, e valores de eficiência altos foram esperados para o método de secagem com recirculação.

Taxa de secagem

Tem sido observado que as amêndoas de cacau individuais secam em três estágios (BRAVO e McGAW, 1974): (i) – evaporação da umidade superficial (até 40% de umidade); (ii) – secagem da testa das amêndoas (até 23% de umidade); (iii) – secagem dos cotilédones (até 7% de umidade).

Quando secas em camadas espessas, estas fases tornam-se menos distintas, embora SHELTON (1967) tenha observado um período inicial controlado pela temperatura e fluxo de ar, seguido por um período controlado pela temperatura apenas, com um teor de umidade crítico de 23 por cento.

A Figura 4 mostra a variação da taxa de secagem com teores de umidade ajustados para dois testes e, neste caso, as umidades críticas de 40% e, mais claramente, de 23% podem ser vistas.

As três fases são caracterizadas por: (i) — uma taxa baixa e constante; (ii) — uma taxa de secagem crescente e; (iii) — uma taxa de secagem decrescente. Nenhuma explicação foi conseguida para este tipo de comportamento, embora algumas considerações possam ser feitas. Cacau recém-fermentado, contendo alto teor de umidade superficial, apresenta uma elevada resistência ao fluxo de ar. Uma vez que a testa das amêndoas esteja seca, esta diminui com a secagem (HAYNES, 1957). Como isto ocorre durante o período de 40 a 23% de umidade, é durante este intervalo que o fluxo de ar e, conseqüentemente, a taxa de secagem devem diminuir.

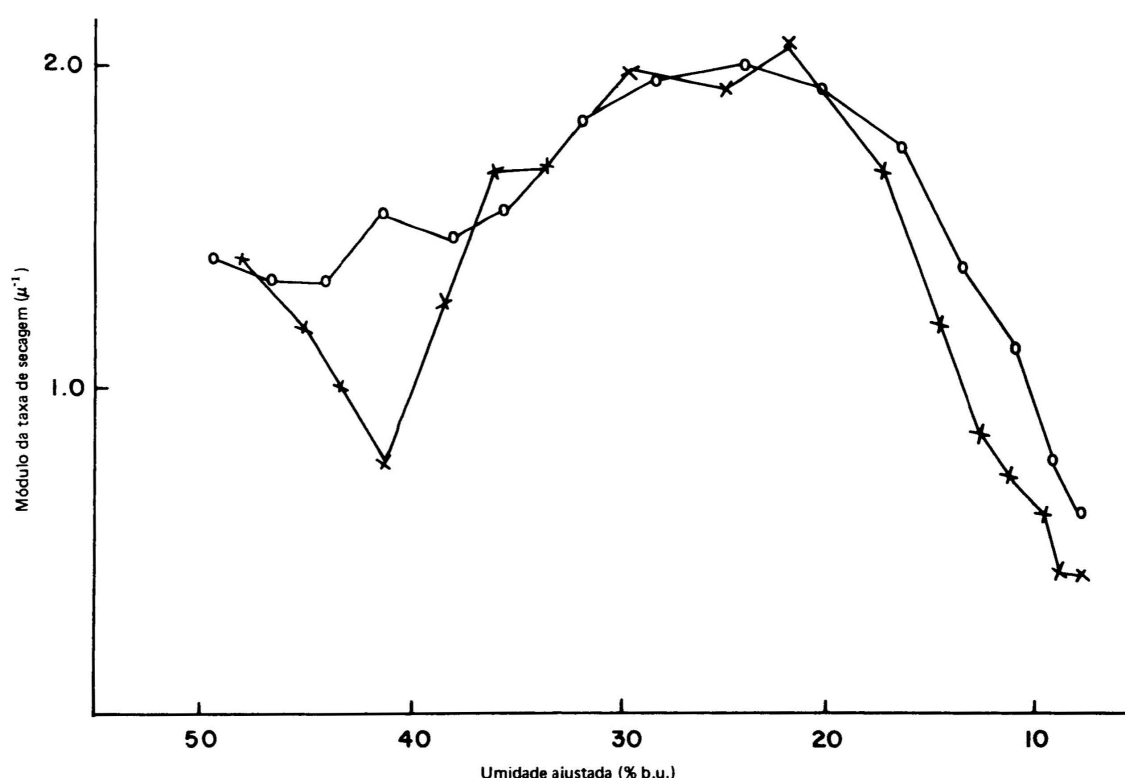


Fig. 4 — Módulo da taxa de secagem versus teor de umidade ajustado: o teste 2 com recirculação; x teste 12 sem recirculação.

Os tempos de secagem obtidos foram muito mais altos do que aqueles quotados na literatura e isto pode ser devido, principalmente, aos baixos fluxos de ar utilizados no presente trabalho. Esta dependência do fluxo de ar é especialmente durante o primeiro período de secagem. Considerando a Figura 4, no período de secagem até 38% de umidade, a taxa de secagem, no teste 2, a 0,09 m/s (a recirculação quase não foi usada neste estágio) é significativamente mais elevado do que no teste 12 a 0,03 m/s. Isto resultou numa redução no campo de secagem corrigido de 8,1 horas, apesar do efeito retardativo de recirculação final. De fato, mais aumento no fluxo de ar parece recomendável durante este período.

Curvas de eficiências instantâneas para os testes 8 e 12 estão contidas na Figura 5, e o fato mais relevante é a semelhança destas curvas com as de secagem convencional, com períodos bem definidos de eficiência constante e decrescente. Além do mais, o ponto de transição entre estes dois períodos ocorre em teores de umidade (designado por M na Figura) muito próximo do início do período da taxa de secagem decrescente. Se a analogia entre estas curvas e as de secagem convencional pode ser levada mais a frente, então, este período de eficiência constante seria dependente do fluxo de ar, o que estaria de acordo com as observações de SHELTON (1967).

Embora raramente chegando a ser igual (erro experimental e a suposição de condições adiabáticas no uso da Equação 3 sendo responsável pela diferença), o valor constante de N_i durante a fase inicial da secagem é uma forte indicação de que condensação está ocorrendo dentro da massa de cacau. Isto tenderá a reduzir a taxa de secagem, mas assim que as condições de secagem da testa das amêndoas se aproximam, a condensação cessa e a taxa de secagem aumenta. Esta é uma interpretação alternativa para o comportamento visto na Figura 4. Uma experimentação mais rigorosa, com leituras de temperaturas de bulbo seco e úmido de baixo e acima da camada de cacau, é necessária para tornar mais claro este ponto.

É muito difícil detectar, entre as várias ondulações da Figura 5, o efeito da reciclagem sobre o valor de N_t , embora pareça, de fato, haver alguma recuperação temporária na eficiência depois de 4 e 20 horas de secagem.

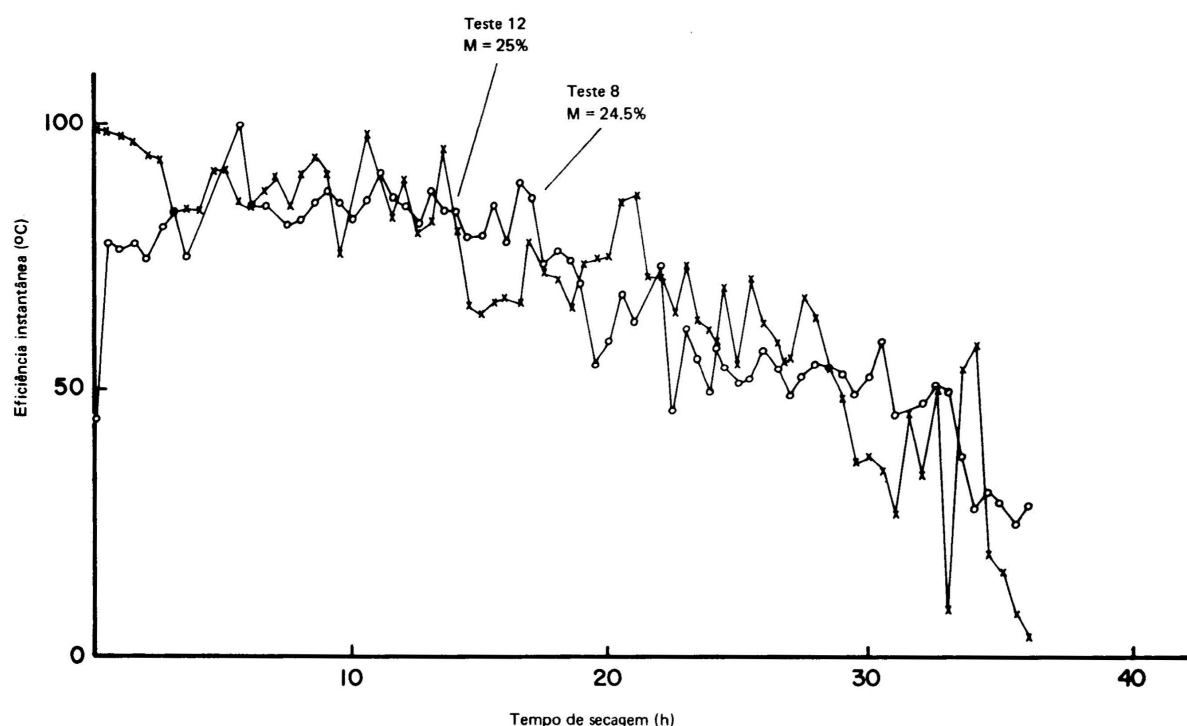


Fig. 5 – Eficiência de secagem instantânea versus tempo: o teste 8 com recirculação; teste 12 sem recirculação.

Considerando, agora, os valores de eficiência global apresentados no Quadro 2, a primeira coisa a notar é que para os testes sem reciclagem N_t é praticamente independente da temperatura. Qualquer que seja a duração do período de secagem dependente do fluxo de ar, o processo deve, teoricamente, permanecer dependente da temperatura, durante todo o tempo. Os únicos dados para comparação disponíveis são os de WOOD (1961), os quais mostram valores de eficiência similares àqueles obtidos aqui, com somente evidências não conclusivas de um aumento da eficiência com temperatura. As variações de temperaturas reais aplicadas (11,8 °C aqui, 10 °C no caso de WOOD), embora não muito altas, teriam sido imaginadas serem suficientes para gerar uma resposta definida em N_t . Esta inesperada fraca dependência de N_t da temperatura pode ser um resultado de erros experimentais (notavelmente os erros devido às grandes irregularidades de temperaturas nos pontos de medições) ou o efeito de mascaramento da componente de N_t não relacionado à secagem em si (variações dependentes da temperatura na combustão e eficiência da troca de calor). Pela aparência, entretanto, estes resultados indicam que sob estas condições não há nenhuma penalidade em se operar a uma temperatura mais baixa. Além disso, se a temperatura é de tão pouca importância, então a escolha de outros parâmetros, notadamente a carga de cacau e o fluxo de ar de secagem, torna-se ainda mais importante.

A interpretação dos testes com recirculação é mais difícil por causa da faixa de cargas de cacau usadas e da variação contínua da temperatura de operação durante o processo (as temperaturas médias apresentadas não passam de um guia para a situação real). Além do mais, como mencionado anteriormente, aumento na carga de cacau tende a aumentar a proporção de ar ambiente, para aquela de ar reciclado que está sendo forçada através do aquecedor e isto resulta em uma temperatura média de secagem reduzida e/ou maior consumo de gás (comparar testes 9 com 8 e 3 com 2). Apesar destas dificuldades, uma comparação dos testes 8 e 2 (com cargas de cacau similares) parece indicar uma eficiência melhor para a temperatura mais alta, enquanto os testes 9 e 3 (com temperaturas médias similares) indicam que o aumento da carga resulta em aumento de eficiência.

CONCLUSÕES

Uma seqüência de quatro testes sem recirculação do ar de secagem, com baixo fluxo de ar e cargas de cacau relativamente constantes, mostraram que a eficiência global do sistema é independente da temperatura nas condições investigadas.

Triplmando o fluxo e recirculação o ar de secagem usado, na maneira recomendada por MARAVALHAS (1976), resultou em nenhum aumento na eficiência a 60 °C, ou para temperaturas a cerca de 60 °C, mas com temperaturas próximas de 70 °C parece ser possível obter uma significativa melhora na eficiência.

Sem recirculação, tempos de secagem corrigidos entre 36,2 e 43,8 horas foram observados, enquanto que com reciclagem, secagens de 28,4 a 36,9 horas fo-

ram conseguidas, dependendo da carga do secador e da temperatura de operação. Isto representa secagem lenta se comparada com os dados quotados na literatura, embora os fluxos de ar e/ou as temperaturas de operação, usados aqui, sejam mais baixos do que os usados previamente.

As curvas de secagem obtidas exibem três fases distintas, com pontos de transição a 40 e 23% de umidade. Uma elevação na taxa de secagem ocorreu durante o segundo período de secagem e pensa-se que isto seja devido ou ao fluxo de ar elevado, resultado de uma redução na resistência ao fluxo com o decorrer da secagem, ou também aos efeitos de condensação dentro da massa de cacau, durante a parte inicial do processo.

As curvas de eficiência de secagem instantâneas mostram um período inicial de eficiência alta e uniforme, seguido de uma queda, a qual corresponde quase que exatamente com a fase final de secagem de taxa decrescente. As várias fases do esquema de reciclagem são fracamente aparentes.

O desempenho global do secador pode ser melhorado pelo uso de um alto fluxo de ar, no início com uma redução na umidade para cerca de 23%, embora o abuso desta flexibilidade operacional (i.e. o uso de alto fluxo durante todo o tempo) seja provável em muitas condições de campo.

Mais investigação é necessária para definir os valores ótimos para estes dois fluxos de ar, de forma a maximizar a taxa de secagem e, concomitantemente, manter a eficiência de secagem instantânea dentro de limites especificados, durante todo o processo. A informação disponível até agora indica que para as condições deste testes o melhor fluxo de ar inicial seria acima de 0,09 m/s.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Overseas Development Administration, Londres, e a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, pelo suporte financeiro necessário à realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ALLISON, H.W. and KENTON, R.H. 1964. Mechanical drying of cocoa. *Tropical Agriculture (Trinidad and Tobago)* 41:115-119.
- BRAVO, A. and McGAW, D.R. 1974. Fundamental artificial drying characteristics of cocoa beans. *Tropical Agriculture. (Trinidad and Tobago)* 51:395-406.
- HAYNES, D.W.M. 1957. Cocoa drying. *Malayan Agricultural Journal* 41:88-96.

- HUBBARD, F.T.P. 1976. Role of estate cocoa factory in processing cocoa beans. *In* Seminar on Cocoa-Coconuts, Tawan, Sabah, Malaysia, 1976. Proceedings. Sandakan, Malaysia, EMPA. pp. 161-172.
- MARAVALHAS, N. 1976. Novo tipo de conjunto secador para cacau fermentado. *Cacau Atualidades (Brasil)* 13(3):6-9.
- PERRY, J.H. 1963. Chemical engineers handbook. 4^a ed. New York, McGraw-Hill.
- SHELTON, B.H. 1967. Artificial drying of cocoa beans. *Tropical Agricultural (Trinidad and Tobago)* 44:125-132.
- WOOD, G.A.R. 1961. Experiments on cocoa drying in the Cameroons *Tropical Agriculture (Trinidad and Tobago)* 38:1-11.

INFORMAÇÕES AOS COLABORADORES

1. Serão aceitos para publicação artigos científicos e de divulgação técnica, relacionados com assuntos agrônômicos e sócio-econômicos de interesse das regiões produtoras de cacau.

2. São da exclusiva responsabilidade dos autores as opiniões e conceitos emitidos nos trabalhos. Contudo, à Comissão Editorial reserva-se o direito de sugerir ou solicitar modificações aconselháveis ou necessárias.

3. Os trabalhos deverão ser encaminhados em 3 vias (original e duas cópias) datilografadas em uma só face do papel em espaço duplo e com margens de 2,5 cm. O texto deverá ser escrito corridamente, sem intercalações de figuras e quadros, que feitos em folhas separadas, devem ser anexados ao final do trabalho, acompanhados das respectivas legendas.

4. As figuras (gráficos, desenhos, mapas ou fotografias) não deverão ultrapassar a medida de 18 x 20 cm. Os gráficos e os desenhos serão feitos com tinta nanquim em papel vegetal; as fotografias, somente aceitas em preto e branco, serão copiadas em papel brilhante com bom contraste; os mapas serão confeccionados no tamanho máximo de 40 x 50 cm e em escala adequada a receberem redução para 11,5 x 18 cm, espaço máximo a ser ocupado pela mancha da página.

5. Os quadros deverão ser explicativos por si mesmos, podendo ser datilografados em papel deitado no tamanho máximo de folha ofício.

6. Deverá ser evitada a duplicidade de apresentação de dados, isto é, a apresentação simultânea em gráficos e quadros, cabendo ao(s) autor(es) optar(em) por uma delas.

7. Os trabalhos de pesquisas deverão ser organizados seguindo o estilo científico: Título, Resumo, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão (ou a combinação dos dois últimos), Conclusões, Agradecimentos (quando for o caso) e Referências.

8. Aos trabalhos descritivos e monografias será reconhecida liberdade de estilo. Neste caso, contudo, o editor permite-se, quando necessário, proceder alterações para sanar falhas de estilo e especialmente evitar ambigüidades, consultando os autores em caso de dúvida. Qualquer que seja a forma de apresentação é indispensável a preparação de breve resumo do conteúdo do trabalho e sua tradução para o idioma inglês, a fim de compor o Abstract. Não se aceitam citações bibliográficas em notas de rodapé.

9. Deverão constar na primeira página, em chamada de rodapé, a qualificação profissional e endereço do(s) autor(es).

10. As citações bibliográficas no texto deverão ser feitas pelo sistema autor-ano. A Literatura Citada obedecerá a ordem alfabética dos nomes dos autores. Trabalhos de um mesmo autor serão citados na ordem cronológica das datas em que foram publicados, e quando do mesmo ano serão distinguidos acrescentando-se letras minúsculas ao número indicativo do ano (a, b, c etc.). Trabalhos até de três autores serão citados pelos nomes de todos, e de quatro ou mais, pelo nome do primeiro, seguido de et al., e o ano.

