

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

PRÉ-SECAGEM DE CAFÉ EM BARÇAÇA
COM UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR.

ELIEZER DORFMAN
(Engenheiro Mecânico)

Orientador:

PROF. DR. HERBERT GUILHERMO WIRTH

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrí-
cola da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do tí-
tulo de Mestre em Engenharia Agrícola.

UNICAMP
1000 BIBLIOTECA CENTRAL

Aos meus pais

À Kazumi

Dedico

4.2. Métodos	27
4.2.1. Montagem do Sistema	27
4.2.2. Dimensionamento da Chapa Perfurada	28
4.2.3. Dimensionamento das Resistências Elé tricas	32
4.2.4. Procedimentos Durante as Experiências	34
4.3. Análise Sensorial	35
5. RESULTADOS OBTIDOS, ANÁLISE ECONÔMICA E DISCUSSÃO	36
5.1. Comprovação do Modelo Matemático	36
5.2. Resultados de Secagem	41
5.3. Qualificação do Produto Obtido	48
5.4. Análise Econômica	48
5.4.1. Bases de Cálculo	49
5.4.2. Resultados e Discussão	54
6. CONCLUSÕES	56
7. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	58
8. AGRADECIMENTOS	59
9. BIBLIOGRAFIA	60
APÊNDICE A	66
APÊNDICE B	73
APÊNDICE C	80
APÊNDICE D	87
APÊNDICE E	94

ÍNDICE

Página

ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE QUADROS	
ÍNDICE DE TABELAS	
RESUMO	
SUMMARY	
SIMBOLOGIA	
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. Características dos Frutos do Cafeeiro	7
3.2. Preparo ou Processamento Industrial	8
3.3. Classificação do Café	9
3.4. Principais fatores que Danificam a Qualidade do Café	10
3.5. Secagem	12
3.5.1. Secagem em Terreiros	12
3.5.2. Secagem Artificial	14
3.5.3. Secagem por Convecção Forçada com Utili zação de Coletores Solares para Aqueci mento do Ar	16
3.5.4. Modelo Matemático de Secagem	18
3.5.4.1. Introdução	18
3.5.4.2. Modelos Existentes e Procedimen tos	19
3.5.4.3. Validez do Modelo Matemático	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. Materiais	26
4.1.1. Matéria Prima	26
4.1.2. Equipamentos	26
4.1.3. Aparelhos de Medição e Chaves Acionadoras	27
4.1.4. Acessórios	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 - Anatomia do fruto maduro	8
2 - Esquema dos três tipos de secadores contínuos segundo Brooker et al. (13)	17
3 - Esquemas dos secadores utilizados no Brasil para secagem de café	17
4 - Resultados comparativos de secagem experimen- tal de café e de simulação matemática obtidos por Villa et al. (48)	25
5 - Corte transversal da barçaça	29
6 - Esquema de disposição dos elementos	29
7 - Medida de temperatura	
a - distribuição dos termopares dentro da barçaça	30
b - termopar ligado ao registrador	30
8 - Elementos de medida de umidade	33
9 - Distribuição do ar em função da chapa	33
10 - Curvas obtidas pelo modelo matemático de Thom- pson utilizando condições variáveis; e pontos experimentais	42
11 - Curvas obtidas pelo modelo matemático de Thom- pson utilizando condições médias; e pontos experimentais	43
12 - Curvas obtidas pelo modelo matemático de Thom- pson utilizando condições variáveis; e pontos experimentais	44
13 - Curvas obtidas pelo modelo matemático de Thom- pson utilizando condições médias; e pontos experimentais	45

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
1 - Exportação brasileira de café	2
2 - Balanço de água na secagem	50

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
1 - Caracterização da matéria prima para cada se cagem	37
2 - Resultados experimentais da secagem de café em barçaça	39
3 - Taxas de secagem das experiências realizadas	40
4 - Investimentos e custos de pré-secagem de ca fé para três sistemas	55

RESUMO

Visando verificar o funcionamento de um secador, denominado "barcaça", foram realizadas seis experiências de secagem (pré-secagem) totalizando 21 ton de café úmido (5,3 ton de café beneficiado).

O secador funcionou acoplado a um coletor armazenador solar (60 m^2 , $3 \times 20 \text{ m}$) que fornecia energia após o ocaso do sol por períodos de até 2 horas dependendo da vazão utilizada. Este coletor produzia incrementos de temperatura da ordem de 6°C acima da temperatura ambiente.

Na saída do coletor instalou-se um conjunto de resistências elétricas (38,7 kw) de apoio para gerar o calor necessário ao aquecimento do ar em condições desfavoráveis (dias chuvosos ou nublados e à noite).

A secagem de camadas estacionárias de café com espessura de 0,50m (17 vezes mais que num terreiro) é viável desde que se utilizem vazões da ordem de $60 \text{ m}^3/(\text{min. ton})$.

Conseguiu-se reduzir a área e o tempo de secagem em relação aos terreiros, atingindo-se também melhor qualidade final.

O café foi pré-seco na "barcaça" ($185\% \rightarrow 30-50\%$) sendo depositado após num silo metálico (60 ton de capacidade) e aerado com vazão constante de $5 \text{ m}^3/(\text{min. ton})$.

A "barcaça" comparada aos terreiros e secadores mecânicos evidenciou viabilidade econômica na pré-secagem de café.

Nas condições experimentais utilizadas, os frutos de café não apresentaram períodos de taxa de secagem constante.

Foram comparadas as curvas obtidas pelo modelo matemático de Thompson et al. (1968), adaptado por Villa et al. (1978), com as condições experimentais variáveis e condições médias fixas, apresentaram erros máximos de 10% possibilitando o uso do programa para simulações e otimizações da performance do secador.

SUMMARY

With the purpose of checking the operation of an unconventional fixed bed drier, named "barcaça", six drying (pre-drying) experiences with a total of 21 tons of humid coffee beans (equivalent to 9,5 tons of dried coffee beans) were carried out.

The drier was operated with a solar storing-collecting system (60m^2 , $3 \times 20\text{m}$) that released heat for periods up to two hours after sunset, depending on the flow rate of air. This system increased the ambient air temperature by about 6°C .

A group of electric resistances (38,7 kw) were installed at the exit of the collector to furnish the heat required for warming up the air under unfavorable weather conditions for solar energy collection (at night, during rainy or cloudy days).

The drying of fixed beds of coffee beans with a depth of 0,50 m (seventeen times the thickness used in the traditional "terreiros") was shown to be practicable using air flows of the order of $60\text{ m}^3/(\text{min}.\text{ton})$.

This drier reduced substantially both the area and the time required for pre-drying (drying) as compared with the "terreiro", avoiding the spoiling of the final product.

The coffee beans were pre-dried from about 185% moisture down to 30 - 50% in the "barcaça" then being stored in a finishing metallic silo (60 ton capacity) aerated with a constant flow rate of $5\text{ m}^3/(\text{min}.\text{ton})$.

The "barcaça" compared with either the "terreiro" or mechanical drying shows economic feasibility for pre-drying coffee beans.

Under the operating conditions used, coffee beans did not show any constant rate drying period.

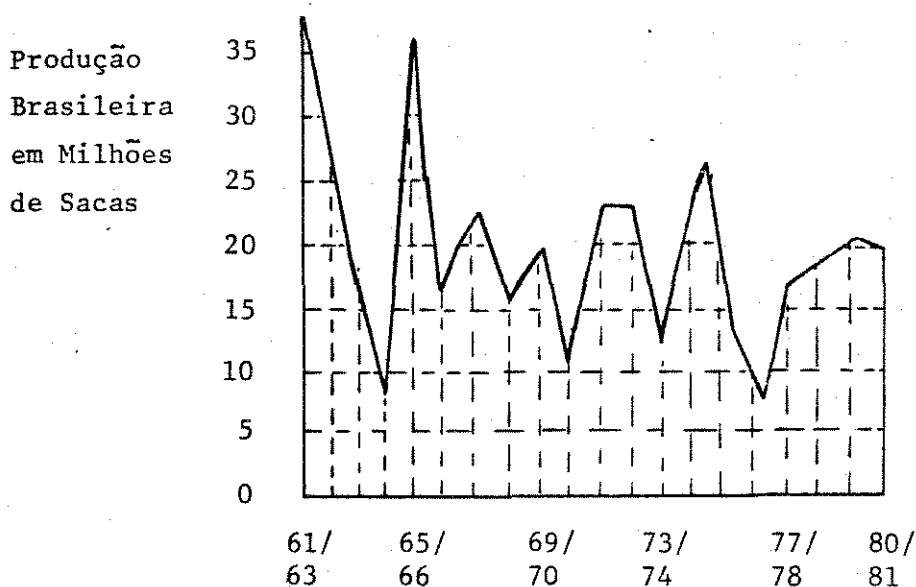
The curves obtained through the mathematical model of Thompson et al. (1968) adapted by Villa et al. (1978) checked within 10% with the experimental and mean curves. Therefore it is possible to simulate the drying of coffee beans aiming at the optimization of the drier performance.

SIMBOLOGIA

a	Área específica do produto, m^2/m^3
c	Calor Específico, $kcal/kg\ ^\circ C$
G_a	Vazão de Ar Seco, $kg/hr\ m^2$
H	Umidade Absoluta do Ar, kg de vapor/ kg de ar seco
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção, na unidade de tempo, $kcal/m^2\ ^\circ C$
H_{fg}	Calor Latente de Vaporização, $kcal/kg$
M	Teor de Umidade Média do Grão, base seca, decimal
M_e	Teor de Umidade de Equilíbrio, base seca, decimal
M_o	Teor de Umidade Inicial, base seca, decimal
m, n, q	Parâmetros da Equação de Camada Delgada
p1 a p9	Parâmetros da Equação de Umidade de Equilíbrio
Pv	Pressão de vapor da água, kgf/m^2
P_{vs}	Pressão de saturação do vapor da água, kgf/m^2
R	Umidade Relativa, %
t	Tempo de Secagem, hr
Δt	Intervalo de Tempo, hr
T	Temperatura de Bulbo Seco, $^\circ C$
Tg	Temperatura do Produto, $^\circ C$
L	Calor Latente de Vaporização, $kcal/kg$
Cp	Calor Específico, $kcal/kg\ ^\circ C$
U	% umidade, bu

1. INTRODUÇÃO

A estimativa final do Instituto Brasileiro do Café (IBC) para a safra cafeeira de 1979/80 é de 21,6 milhões de sacas de 60 quilos, sendo a 1ª previsão para a safra do próximo ano (1980/81), calculada em 21,2 milhões de sacas (veja o gráfico abaixo).



Fonte: Instituto Brasileiro do Café - IBC (5)

O Brasil é o maior produtor e exportador de café no mundo. Na safra de 1976, foram colhidas 21 milhões de sacas, de uma produção mundial estimada em 52,6 milhões (14).

A exportação do café apresentou um quadro favorável de preços ao longo do período 1968-78 (veja o quadro na página seguinte), propiciando a elevação da receita de US\$ 797 milhões para US\$ 2,3 bilhões, apesar da gradativa redução das quantidades embarcadas (22).

O café teve participação em 34,7% das exportações brasileiras no ano de 1977, mantendo-se na primeira posição, correspondendo a US\$ 2,6 bilhões (FOB) (22). Esta participação se prevê ainda maior em razão da existência de planos governamentais para aumentar a produção, renovando e vitalizando os cafezais.

No mercado exportador é de fundamental importância a qualidade do café que deverá possuir propriedades organolépticas desejáveis. Estas propriedades estão em função da eficiência

o método de secagem utilizado. Devido a alta umidade no momento

QUADRO Nº 1

EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉ (22)			
1968-78			
ANO	TONELADA	US\$ MIL FOB	VALOR MÉDIO (US\$/t)
1968	1.119.003	797.260	713
1969	1.139.833	845.687	742
1970	983.454	981.806	999
1971	1.057.517	822.213	778
1972	1.084.410	1.057.164	975
1973	1.110.613	1.344.238	1.211
1974	720.907	980.358	1.360
1975	813.368	934.303	1.149
1976	848.969	2.398.226	2.825
1977	544.156	2.624.944	4.824
1978	757.560	2.308.000	3.047

da colheita (60 a 70%)*, o café está cercado de condições propícias ao desenvolvimento de mofos na superfície dos frutos, aumento do índice de respiração, da temperatura na massa de grãos e posterior fermentação do produto. Assim, para obter-se um café de boa qualidade é necessário que o processo de secagem se inicie no mesmo dia da colheita.

No Brasil, o café é seco por dois métodos bastante distanciados se considerarmos o desenvolvimento tecnológico da secagem:

- Esparramando-se o produto em terreiros de cimento, tijolo ou chão batido e utilizando-se as condições naturais para secagem;

* Todas as umidades estão dadas em base úmida, salvo especifica

- Em secadores mecânicos, fazendo circular através de ventiladores, ar aquecido por queima de lenha ou combustíveis fósseis.

A secagem em terreiros é um método rústico e o produto fica exposto muitas vezes à condições desfavoráveis que depreciam sua qualidade por favorecerem o desenvolvimento de fungos e fermentações micro-biológicas. A fermentação ocorre principalmente no grão empilhado que é aquecido devido à própria respiração. O calor gerado não é dissipado pois, não existe ar entre os grãos estando estes isolados termicamente no meio da camada. O tempo de secagem é longo (10-20 dias) havendo necessidade de grandes áreas para a construção de terreiros.

Mais aprimorados que os terreiros, são os secadores mecânicos que utilizam energia para movimentar o produto e aquecer o ar, elevando o custo operacional da secagem; além de não terem sido projetados para o café e sim para oleaginosas e cereais de baixa umidade inicial (15 a 25%). A má operação dos secadores coloca em risco a qualidade do produto, pois, um café demasiado seco acarreta prejuízos pela perda do peso final e pelo aparecimento de cafés quebrados (o café ressecado quebra no benefício, aumentando o número de defeitos). São secadores de alto custo de investimento e de grande consumo de combustíveis fósseis, apresentando um rendimento térmico (quantidade de energia utilizada para evaporar umidade sobre quantidade de energia gerada pela queima de combustível) da ordem de 30% (31).

Existem atualmente mais de dez tipos diferentes de secadores mecânicos utilizados industrialmente na secagem de café; apesar das particularidades específicas do café quase todos são secadores utilizados para cereais e nenhum deles apresenta grandes vantagens sobre os outros de forma geral, como ficou demonstrado em comparações feitas pelo IBC (37,38).

A escolha de um método de secagem depende de fatores como o nível tecnológico do produtor, possibilidade de investimento, volume de produção, condições climáticas da região, disponibilidade de áreas livres, etc. Um diagnóstico técnico-econômico destes problemas seria útil para orientar os técnicos empenhados em encontrar a melhor solução considerando que as informações são escassas e o café constitui-se numa das principais culturas brasileiras.

Não existe hoje, de uma forma geral, um sistema de secagem de café que seja satisfatório para a maioria dos produtores. O terreiro é considerado primitivo e os secadores mecânicos apresentam sérios problemas de operação, alto consumo de combustível, secagens desuniformes e sobreaquecimento dos frutos (31).

O conhecimento geral sobre o preparo do café, e em particular a secagem, é muito deficiente quando comparado ao conhecimento acumulado nos grãos produzidos nos países bem desenvolvidos no setor agrícola. O café, como muitos produtos de climatropical, não tem sido pesquisado como deveria, dado seu alto valor comercial e porque os países produtores do fruto não dispõem de condições técnicas necessárias.

O café é colhido no Brasil durante os meses secos do inverno, no período de maio a agosto. As condições climáticas de grande parte das regiões produtoras possibilitam, nesta época, a secagem em terreiros, sem que isso afete a qualidade do café e principalmente porque a umidade relativa do ar é baixa, havendo boa radiação solar e pouca ocorrência de chuvas. Entretanto, em regiões de clima úmido o café seco naturalmente corre o risco de contaminação microbiológica, em vista da alta umidade inicial (60 a 70%) e secagem lenta.

As fontes de calor para a secagem artificial de produtos agrícolas são fornecidas pela queima de lenha ou de combustíveis fósseis*. O calor gerado pela queima de lenha é na realidade uma utilização indireta da energia solar, exigindo para seu aproveitamento um sistema de produção que encarece o custo. A outra fonte, em virtude da escassez e do alto custo do petróleo, teve seu preço bastante elevado nos últimos anos, tornando-se muito dispendioso.

Tendo-se isto em mente, as últimas pesquisas tem visado outras alternativas de secagem que possam ser aplicadas combi

* O Conselho Nacional de Petróleo - CNP, voltou atrás em sua decisão de não permitir mais o uso de derivados de petróleo nas operações de secagem de grãos a partir de 1º de janeiro de 1980, prorrogando o prazo para 31 de dezembro de 1980.

nando economia de energia e redução de área utilizada na secagem. Assim, o melhor aproveitamento da energia solar junto com a circulação forçada de ar através do produto seria uma opção para a secagem do café, quer a nível industrial ou a nível de pequeno produtor.

Por outro lado, como as condições iniciais de secagem do café demandam maior cuidado por estar o produto com alto teor de umidade, é viável em termos econômicos, um sistema de secagem em dois estágios. Durante o primeiro estágio (até 35% de umidade), o café seria seco a baixa temperatura, em torno de 30°C, e alta vazão. No segundo estágio a secagem finalizaria com temperaturas maiores (45°C) e vazões mais baixas, em secadores mecânicos ou silos secadores, racionalizando o consumo de energia.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são:

1. Estudar o comportamento do café durante a secagem em camadas espessas, a nível comercial.

2. Estudar a secagem comercial do café em barcaças, a baixas temperaturas, reduzindo o manuseio e a área comparados com a secagem tradicional em terreiros.

3. Estudar a qualidade do café pré-secado em barcaça.

4. Estudar a possibilidade de utilizar energia solar complementada ou não por energia térmica, de origem elétrica, na pré-secagem de café.

5. Estudar a possibilidade de eliminar o emprego de combustíveis fósseis ou lenha na secagem do café.

6. Obter informações para estabelecer os custos fixo e operacionais de pré-secagem de café em barcaça.

7. Comparar os custos de pré-secagem em barcaça com os dos terreiros e secadores mecânicos.

8. Obter as informações que permitam o dimensionamento de barcaças para qualquer capacidade.

Como se observa estes objetivos podem agrupar-se em três categorias:

- a - Aspectos fundamentais na secagem do café: 1
- b - Tecnologia sobre a secagem do café: 2 até 5
- c - Aspectos tecno-econômicos na secagem do café: 6 até 8.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características dos Frutos do Cafeeiro

Dentre as espécies de café mais cultivadas no mundo estão a *Coffea arábica*, denominada comumente Café arábica, e *Coffea canephora*, também chamada de Café robusta. Ocupando 70% do mercado internacional, e produzido em grande parte no continente americano temos o *Coffea arábica* enquanto que o *Coffea canephora* é mais divulgado nos países africanos sendo responsável por 30% da produção mundial. As principais variedades do *Coffea arábica*, única espécie cultivada no Brasil, são: Mundo Novo, Catuaí, Bourbon Vermelho, Bourbon Amarelo, Acaiá (15).

O amadurecimento dos frutos de café se dá em geral nos meses de abril-maio e o período de colheita é variável de região para região, em função da altitude, latitude e condições climáticas locais. Quanto maior a altitude mais retardada será a maturação e maior o tempo disponível para a colheita.

A colheita de café no Brasil é feita pelos processos denominados derraça no chão e derraça no pano. A colheita deve ser iniciada quando a maior parte dos frutos estiverem maduros e antes do início da queda dos frutos secos (36).

Dependendo do número de floradas que apresenta o cafeeiro, teremos por ocasião da colheita, frutos em vários estágios de maturação. O café da roça, como é chamado, quando colhido por derraça no chão, é constituído em geral por uma mistura de frutos verdes (imaturos - 60 a 70% de umidade), verdoengos (intermediário entre o cereja e o verde), cerejas (maduros - 45 a 55% de umidade), passas (semi-seco - 30 a 40% de umidade) bôia (quase-seco - 25 a 35% de umidade), coquinho (quase-seco - 25% ou menos de umidade), casquinha (despoldado no chão), além das impurezas, tais como: torrões, pedras, pauzinhos, folhas, etc. (36).

O processo de derraça no pano se dá quando o café é derrubado em aparadores (de pano, bambu ou plástico) previamente colocados a fim de evitar o contato do mesmo com a terra. Com esse tipo de colheita evitam-se as impurezas, tais como as pedras e torrões e também o contato com os frutos caídos ante

riormente, que, provavelmente, estariam deterioradas pelo contato prolongando com o chão (36).

O fruto maduro do cafeeiro, denominado cereja, constitui-se das seguintes partes: (Fig.1)

- a) casca (epicarpo);
- b) polpa, mucilagem ou mel do café (mesocarpo);
- c) pergaminho (endocarpo);
- d) semente - endosperma e embrião.

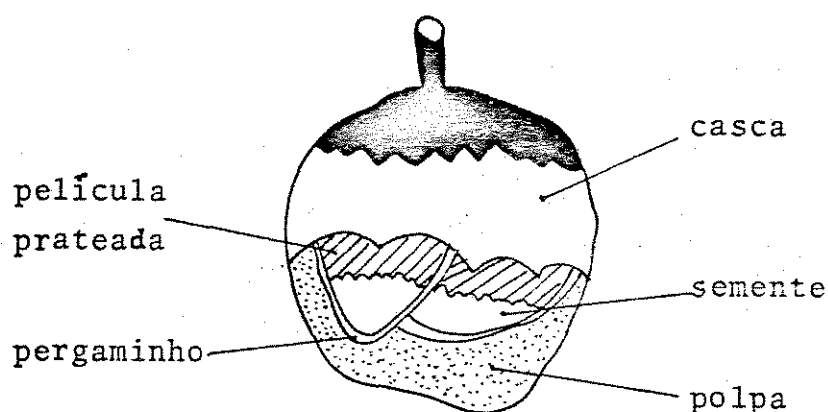


Fig. 1. Anatomia do fruto maduro (cereja)

Segundo Barbosa et al. (9) a água se distribui desigualmente dentro do fruto maduro na seguinte forma aproximada (porcentagens em base úmida): casca - 20 a 25%; mucilagem - 76 a 90%, grão com pergaminho e película prateada - 48 a 49%.

3.2. Preparo ou Processamento Industrial

O preparo do café pode ser feito por dois procedimentos: por "via úmida" ou com despulpamento e por "via seca" ou café de terreiro. No processo por "via seca", utilizado no Brasil, as fases do processamento poderão dispensar o emprego de água, apesar de ser recomendável o uso desta. No processo por "via úmida" é indispensável o uso de água.

Assim, temos dois tipos de matéria prima para utiliza

ção na secagem:

a - Café preparado por "via úmida" ou despulpamento, que dá origem aos cafés despulpados (café lavados), exigindo uma colheita cuidadosa de frutos maduros. Esta medida tem por fim retirar o antes possível a mucilagem açucarada, foco do ataque de microorganismos, possíveis causadores de bebida de qualidade inferior (36).

b - Café preparado por "via seca" quando os grãos colhidos vão diretamente para a secagem, constituído de todas as partes. Deste processo procedem os "frutos naturais" ou "café em fruto", sendo o produto seco denominado "café em coco".

Nos nossos experimentos foram utilizados os "frutos naturais", pois, o preparo por "via seca" é empregado pela maior parte dos cafeicultores brasileiros.

3.3. Classificação do Café

Na classificação do café no Brasil, a determinação da qualidade compreende duas fases distintas (15, 24):

- a - Classificação por tipos ou defeitos; e
- b - Classificação pela qualidade.

A classificação por tipos aqui adotada, admite 7 tipos de valores decrescentes de 2 a 8 e resultantes da apreciação de uma amostra de 300 gramas de café beneficiado, segundo normas estabelecidas na "Tabela Oficial Brasileira de Classificação".

(15) A cada tipo corresponde um maior ou menor número de defeitos (grãos imperfeitos ou impurezas).

Os defeitos podem ser de natureza intrínseca que se constituem de grãos alterados, quer pela imperfeita aplicação dos processos agrícolas e industriais, quer por modificações de origem fisiológica ou genética (os pretos, os ardidos, os verdes, os chôchos, os mal granados, os quebrados e brocados); e a extrínseca que são representados pelos elementos estranhos ao café beneficiado (côco, marinheiro, cascas, paus e pedras). O grão "preto" é considerado o padrão dos defeitos ou defeito ca

pital, sendo os ardidos, brocados, paus e pedras considerados de feitos secundários (36).

A classificação por qualidade do café é determinada pela análise de cinco aspectos principais: cor, peneira, torração, bebida e características gerais. A determinação da qualidade da bebida é o aspecto mais importante (15).

Provadores especialmente treinados para diferenciar os cafés segundo suas propriedades organolépticas, avaliam a bebida, realizando a "prova de xícara" assim, em ordem decrescente o café é classificado como "estritamente mole", "mole", "duro", "riado" e "rio" (36) porém, esta classificação envolve qualidades subjetivas tais como gosto, aroma e acidez deixando dúvidas na sua precisão. Isto tem motivado os pesquisadores a procurarem uma relação entre as propriedades organolépticas e as análises químicas, sem chegar, contudo, a resultados conclusivos (3).

Miya et al. (24) comprovaram a relação entre a quantidade de grãos deteriorados, assim como o grau de deterioração destes grãos, e a qualidade da bebida. Ficou provado que a acidez aumenta a medida que aumenta a proporção de grãos pretos. A torração também modifica a bebida pois, diminui o pH e o ácido clorogênico e aumenta a acidez e o teor de cafeína.

A qualidade da bebida é sem dúvida o aspecto mais importante na classificação do café, influenciando de maneira destacada no valor do produto, para a maioria dos mercados (15).

3.4. Principais Fatores que Danificam a Qualidade do Café

Segundo o IBC (23) a qualidade do café depende em primeiro lugar da espécie plantada. O *Coffea arábica* apresenta aroma e sabor mais apreciado que o *Coffea canephora*. De acordo com a CATI (32) a qualidade também está em função das características ecológicas (clima e solo), das práticas culturais (adubação, irrigação, capinas e uso de pesticidas), da densidade de plantio e processamento pós-colheita.

As doenças do cafeeiro e dos grãos, segundo Heinrich e Abrahão (19) são responsáveis pela qualidade do café; em especial destaque as pragas que atacam os frutos:

A broca do café (*Hypothenemus hampei* F.) e o caruncho

das tulhas (*Araecerus fasciculatus* G.), besouros que, ao se alimentarem, destroem parcial ou totalmente os grãos integrais.

A matéria prima ideal para a produção de um café de fi na qualidade é o fruto no estágio cereja (maduro). Portanto, a medida que diminui a porcentagem de frutos maduros na mistura colhida a qualidade da bebida cai, sendo que a partir de 85% de cerejas a bebida varia de "superior" para "menos aceitável" e abaixo de 60% a bebida é considerada "muito ruim" (24).

Teixeira (36) recomenda as seguintes precauções por ocasião da colheita:

1. A colheita deverá ser iniciada quando a maior parte dos frutos estiver madura e antes que se inicie a queda dos frutos secos.

2. A permanência prolongada dos frutos na árvore ou no chão deverá ser evitada para não aumentar a incidência de grãos ardidos e pretos.

3. A colheita de frutos verdes deverá ser evitada.

4. A separação dos frutos em vários estágios de maturação, através de lavadores e separadores de verdes evitarão uma matéria prima heterogênea que dificulta uma boa secagem.

Segundo Abdul e Anderson (2) e Freitas (17) no processo deteriorativo atuam fatores de natureza biológica, envolvendo a participação de microorganismos, fungos em particular, bactérias e leveduras.

Iturra (23) observou uma resposta de tendência proporcional entre o desenvolvimento de fungos e o aumento da umidade do grão, sendo a temperatura mais favorável ao crescimento de fungos igual a 35°C, logo a 25°C e a menos favorável de 40°C.

Num estudo sobre as transformações químicas e estruturais, durante a deterioração da qualidade do café, Amorim et al. (4) destacou como principal fator deteriorativo a desintegração das membranas (película prateada, etc.), devendo-se evitar ao máximo os fatores que podem influir na organização estrutural destas membranas, tais como: temperaturas extremas (tanto alta

Assim, no preparo por "via seca" a qualidade do café es
tã sujeita a muitos tipos de interferências agravadas pelo tem
po dispendido no preparo, isto é, quanto mais rápido o café pas
sar do estágio cereja para o seco, sem aumentos excessivos de
temperatura, menor será o tempo de atuação dos microorganismos
existentes na mucilagem e conseqüentemente menores as probabili
dades de termos café de baixa qualidade.

3.5. Secagem

É fato notório que para obter-se um café de boa qualidad
e uma das fases merecedoras de máximo cuidado é a secagem, pois,
se mal efetuada vai depreciar muito o produto obtido.

A secagem pode ser conduzida em terreiros, seca natural
ou em secadores mecânicos, seca artificial, que utilizam ar
aquecido por calor proveniente da queima de combustíveis fósseis
(derivados do petróleo) ou lenha (15, 36). Podemos ter também a se
cagem por ar aquecido com coletores solares, que é forçado mecâ
nicamente através da camada do produto (31).

Se compararmos o café a outros grãos (cereais e oleagi
nosas) vemos que ele possui umidade inicial bem mais alta (60 a
70% contra 15 a 25% dos grãos) dificultando a operação de seca
gem pois, pode deteriorar-se facilmente (23, 44).

Segundo a CATI (32), para se obter sucesso na operação
de secagem, qualquer que seja o método utilizado, devem ser ob
servados os seguintes pontos:

- 1 - Evitar fermentação durante a secagem;
- 2 - Evitar excesso de temperatura;
- 3 - Secar os grãos no menor tempo possível até 18-20%
de umidade;
- 4 - Procurar obter um produto uniforme quanto a cor
após o benefício.

3.5.1. Secagem em Terreiros

Neste método o café é colocado em terreiros, sendo seco
pela ação dos raios solares e por convecção natural de ar (6,
10, 28, 32).

A secagem natural no Brasil consiste em esparramar os

do. Segundo Teixeira (36) o café deve ser esparramado em camadas bem finas e ser revolvido frequentemente nos dois sentidos, principalmente no início da secagem. Estas reviragens visam uniformizar a exposição dos grãos aos raios solares. À tarde, deve-se aleirar o café, assim permanecendo durante a noite. A medida que seca, o café poderá ser esparramado em camadas mais espessas, sendo amontoado à noite e coberto com lençol plástico ou encerado. Nesta fase chamada meia seca, a operação visa proteger o café contra condensação de umidade e chuvas, manter algum calor entre os frutos, acelerando a secagem, e equalizar a umidade na camada, pois, o café da roça é heterogêneo.

A partir da meia seca, o café completará sua secagem em montes, onde se estabelecerá o equilíbrio entre a umidade interna e externa do fruto e dos frutos entre si. Para tanto, diariamente deve-se revirar o café por 2 ou 3 horas de sol e a seguir amontoá-lo e cobri-lo (36).

O tempo de secagem varia de 10 a 20 dias, até os grãos atingirem um teor final de umidade entre 11 e 13%. A variação do tempo depende da umidade inicial média dos grãos e zona de produção: temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, intensidade de radiação solar, condições ambientais (44).

Segundo Foote (16) a perda de água no fruto maduro (cereja - 60% de umidade) é cerca de 100 vezes mais rápida que ao final da secagem (13% de umidade).

Por outro lado, Nobre e Oliveira (26) apontaram o efeito quadrático como o mais adequado para explicar o comportamento dos parâmetros Peso, Umidade e Volume, observados durante quatro tratamentos de secagem que permitiram chegar às seguintes conclusões:

1 - Para todos os estágios de maturação dos frutos de café - houve decrêscimo de 50% do volume até o 3º dia de secagem, o peso decresceu de cerca de 50% até o 4º dia; e a umidade decresceu em cerca de 50% nos primeiros 4 a 6 dias de secagem.

2 - O maior decrêscimo nos parâmetros volume e peso foi verificado para os frutos cereja, seguidos dos verde cana, verde de granado e passa, respectivamente.

3 - Todos os estágios dos frutos, apresentaram um comportamento quadrático, quanto à redução do peso, volume e umidade.

4 - Houve uma estreita correlação entre os parâmetros peso/volume ($r = 1$) e umidade/peso ($r = 1$).

Ao ser atingida a umidade final (13%), o café é recolhido às tulhas, que são unidades armazenadoras, de madeira ou alvenaria, onde fica a granel, sem ventilação, podendo então completar a uniformização da umidade dos frutos.

A razão dos terreiros serem ainda amplamente usados atualmente, deve-se ao fato de ser uma técnica bem conhecida pelos produtores que continuam a executá-la passivamente da mesma forma em que foi fixada pelos primeiros cafeicultores.

3.5.2. Secagem Artificial

Ao amadurecerem, os frutos de café possuem grande quantidade de água. Esta água pode ser removida se fizermos passar, através da camada de produto, ar aquecido pela queima de um combustível fóssil ou de lenha, sendo denominado tal procedimento secagem artificial.

O café da roça, apresenta no início da colheita elevada porcentagem de umidade que obriga a uma pré-secagem por 3 a 4 dias no terreiro antes de ser colocado nos secadores mecânicos, para se evitar problemas com o mel do café que aglomera os frutos e dificulta a passagem do ar através da camada. Segundo Teixeira (36) a maioria dos secadores mecânicos existentes no mercado não dispensam a pré-secagem do café antes da secagem.

Os secadores mecânicos disponíveis no mercado são de vários tipos. Com relação a movimentação do produto e do ar, são quatro as categorias principais (13):

- a - Secador estacionário, sem movimentação do produto;
- b - Secador com fluxo de ar perpendicular ao fluxo de produto;
- c - Fluxo de ar paralelo ao fluxo de produto; e
- d - Fluxo de ar em contra-corrente ao fluxo de produto.

A secagem pode ainda ser classificada em dois tipos quanto a forma de atuação do calor (13):

- 1 - Secagem contínua: o produto que está sendo seco fica constantemente sob a ação do ar quente até o teor final de umidade desejado.
- 2 - Secagem parcelada ou intermitente: o produto é submetido a determinados períodos de secagem e de repousos sucessivos até o final.

Sivetz e Foote (34) descrevem alguns tipos de secadores utilizados para café despulpado e não despulpado; estes, foram desenvolvidos baseando-se em informações práticas de secadores para cereais e oleaginosas, visto não existir subsídios de trabalhos com café. Possuem alto custo operacional utilizando energia para movimentação do produto e aquecimento do ar. A eficiência térmica é baixa pois, deve-se aquecer o ar de maneira indireta (usando trocador de calor) para não prejudicar o café. Assim, raramente atinge-se 40% de eficiência térmica. Sendo a temperatura do ar um dos fatores mais críticos, a falta de controle na operação pode danificar a condição do produto, porque as substâncias voláteis são responsáveis pela qualidade da bebida. O café tolera aproximadamente 40°C (temperatura do ar) por um ou dois dias, 50°C por poucas horas e 60°C por menos de uma hora sem se danificar

Teixeira et al. (41) relataram o efeito da temperatura de secagem na caracterização dos defeitos provenientes de frutos colhidos verdes cujas conclusões foram:

- 1 - A maior ou menor incidência de grãos verdes escuros, preto verdes ou verdes geados está diretamente ligada a temperatura de secagem.
- 2 - O tipo de café, dos frutos colhidos verdes e secos a temperatura superior a 30°C, fica pior que o dos cafés verdes secos à sombra, em camadas mais grossas no terreiro, ou em temperaturas mais baixas.
- 3 - A qualidade da bebida, dos cafés colhidos verdes e

secos a temperaturas superiores a 30°C é bem inferior à dos secos em temperaturas do ar mais baixas.

Segundo o IBC (15) para se obter café de boa qualidade é aconselhável colocar no secador partidas homogêneas e secá-las lentamente, com temperaturas do ar de no máximo 45°C.

Na Fig. (2), vemos os esquemas de tres tipos de secadores contínuos segundo Brooker et al. (13). Podemos ver também na Fig. (3) os secadores mais utilizados no Brasil segundo Vilela (44) que são dos de tipos de fluxos contra-corrente e fluxos cruzados.

Nestes secadores os frutos de café são descarregados no fundo sobre uma esteira horizontal sendo conduzidos por um elevador de canecas até a parte superior, quando o produto é recirculado, seguindo este procedimento durante toda a secagem.

3.5.3. Secagem por Convecção Forçada com Utilização de Coletores Solares para Aquecimento do Ar.

A secagem em camadas espessas por convecção forçada utilizando coletores solares para aquecimento do ar é uma das etapas do pré-processamento mais pesquisadas recentemente (8, 18, 23, 27, 29, 30, 44, 45, 46, 47, 49, 50).

A Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola UNICAMP, através de seu Departamento de Engenharia Agrícola, iniciou há quatro anos um programa sobre secagem de café, visando estudar o comportamento do fruto durante a secagem (características biológicas e físicas de importância), e tirar melhor proveito da energia solar para a secagem eficiente. As seguintes experiências foram feitas desde então:

- Na primeira experiência, comparou-se as posições relativas das camadas de café em relação ao plano do terreiro objetivando maior aproveitamento das variáveis atmosféricas responsáveis pela secagem (44). Os métodos alternativos usados não ofereceram vantagens sobre o sistema tradicional do terreiro.

- Na segunda experiência (44), demonstrou-se a viabilidade de secar café em silos pré-fabricados, utilizando para aquecimento do ar um coletor solar plano de construção simples. Foram secos 313 kg de café em camada espessa de 0,73 m com umida

FLUXOS TRANSVERSAIS

FLUXOS PARALELOS

FLUXOS EM CONTRA CORRE

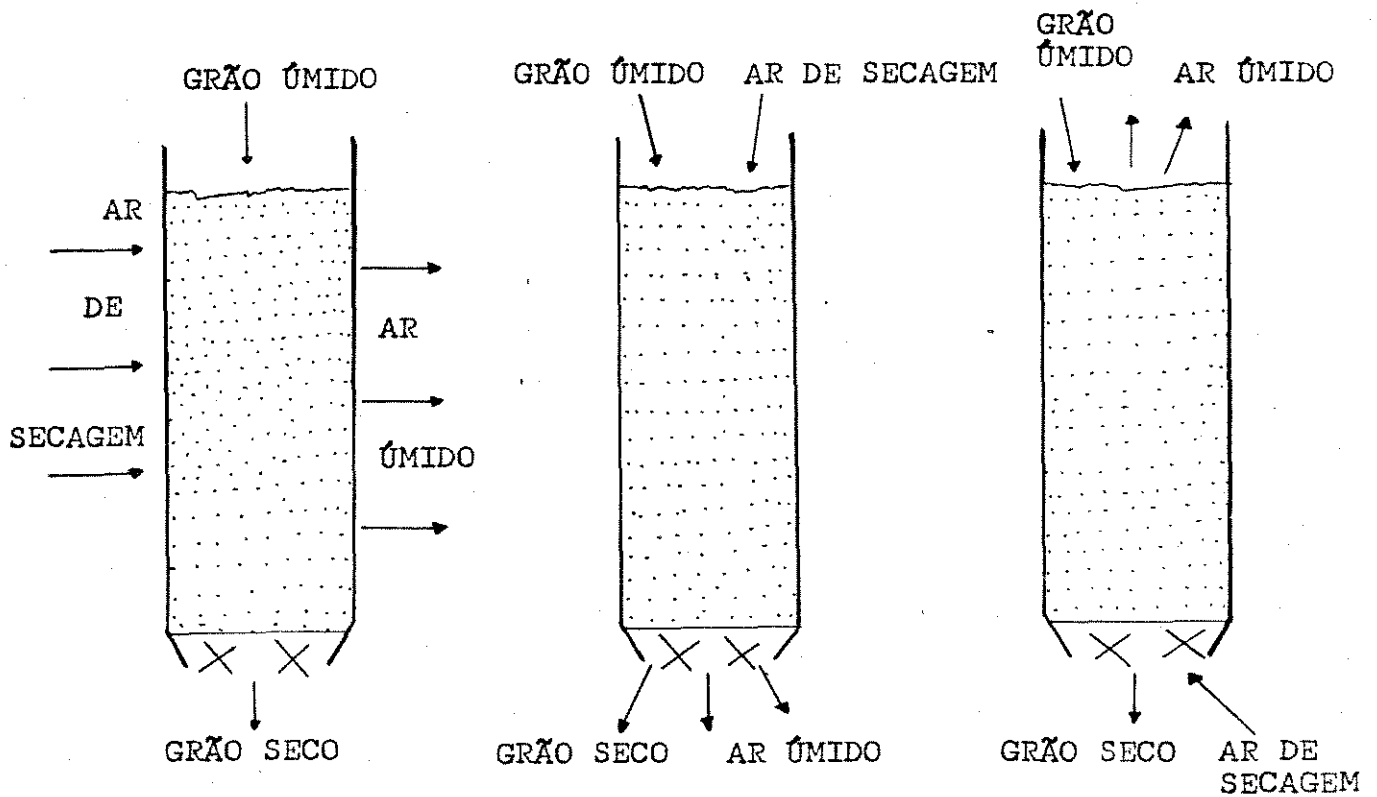


FIG.2 - Esquema dos três tipos de secadores contínuos segundo Brooker et al.(13)

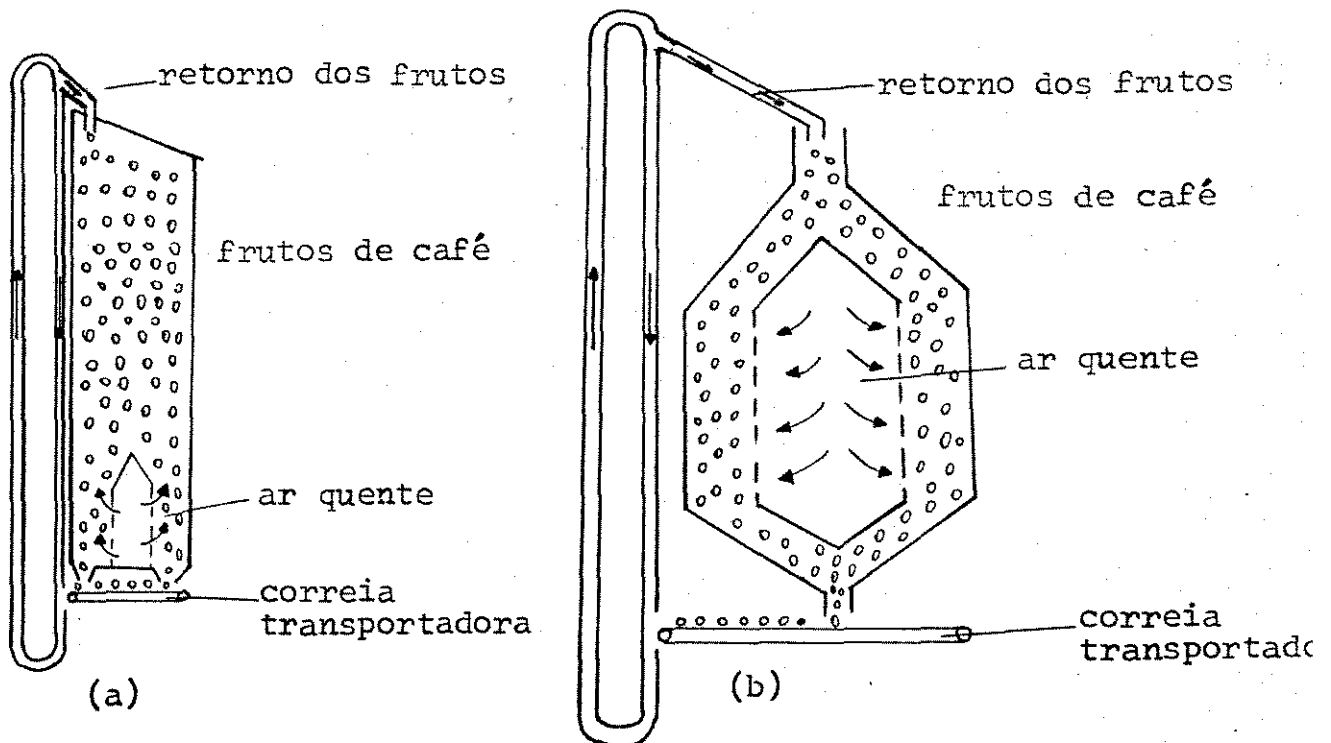


FIG.3 - Esquemas dos secadores utilizados no Brasil para secagem de café, segundo Vilela (44): a)fluxo em contra corrente, b) fluxos transversais.

de inicial de 44,44% até 13,90%, utilizando-se uma vazão de $8,13 \text{ m}^3/\text{min-ton}$ com temperatura média do ar de secagem igual a $30,80^\circ\text{C}$. Dispendeu-se 65 horas na operação resultando um produto de boa qualidade.

- Na terceira experiência, Villa et al. (45), comprovou-se a viabilidade da secagem de café com umidades iniciais de 46% em camadas espessas de 0,25 m de espessura com fluxos de ar de $30 \text{ m}^3/\text{min-ton}$ em barcaças de 2 x 2 m de base. Neste estudo (800 kg de café úmido) concluiu-se que a secagem em camadas espessas é exequível, desde que se movimentem quantidades adequadas de ar entre os frutos, usando condições de secagem que permitam secar toda a massa do produto, antes que ocorra sua deterioração.

- Na quarta experiência, Iturra (23), determinou-se quantitativamente o efeito das variáveis da secagem: temperatura e umidade dos grãos e tempo de secagem, sobre o desenvolvimento dos fungos e sobre a qualidade da bebida do café. Foi elaborado um modelo matemático, com base em dados experimentais, para simular a deterioração que os frutos de café experimentam durante a secagem na faixa de umidade do produto entre 70 e 35%; foram determinadas também as vazões mínimas para a pré-secagem de café em barcaça solar, sob diferentes condições, com temperaturas do ar de secagem entre 35 e 45°C .

Assim, a utilização dos secadores solares para camadas espessas de café contribuiu para a redução do manuseio do produto, diminuição dos espaços usados na secagem (processando camadas espessas), aumento do rendimento térmico de secadores artificiais e manutenção da qualidade do produto (secagem a baixa temperatura e tempo adequado). Por outro lado, aproveitou-se a energia solar como fonte de secagem, através do aquecimento do ar por coletores simples, visando integrar ao conhecimento tradicional da secagem de café (terreiros), os novos avanços da moderna tecnologia (18).

3.5.4. Modelo Matemático de Secagem

3.5.4.1. Introdução

A simulação matemática de secagem é definida como o uso

de modelos matemáticos e bancos de dados a eles relacionados, para prever a performance dos secadores ou sistemas de secagem. Assim, o desenvolvimento e teste de um modelo matemático contribui significativamente para a compreensão dos mecanismos e processos envolvidos na secagem de grãos. Como os modelos tem se tornado cada vez mais complexos, a utilização de técnicas de simulação por computador tem sido úteis na obtenção de soluções. As comparações destas soluções com resultados experimentais possibilitam o entendimento dos processos. Portanto, a simulação é um auxílio no progresso da secagem. Outra grande aplicação dos modelos de simulação por computador é a ajuda que oferecem na predição da performance de secadores e sistemas de secagem. Tal informação pode ser usada no desenvolvimento de novos secadores e na operação e funcionamento de sistemas de secagem (25).

3.5.4.2. Modelos Existentes e Procedimentos

A primeira tentativa importante para modelar a secagem de grãos em camada espessa, foi feita por Hukill em 1954 (21). Entretanto, o primeiro estudo significativo baseado em leis de transferência simultânea de calor e massa, foi publicado por Van Arsdale em 1955 (43). O trabalho não teve na época possibilidade de uso devido a não existência de computadores eletrônicos adequados. O primeiro estudo moderno em secagem de grãos usando um computador eletrônico, para resolver o modelo de equações, foi publicado por Boyce (11), sendo um modelo semi-empírico cujos resultados computados não tiveram concordância com os dados experimentais. O mesmo autor apresentou mais tarde, um modelo fundado em leis de transferência de calor e massa (12). Porém, não teve sucesso devido mais a falta de parâmetros básicos do que ao modelo.

Um modelo composto de equações obtidas mediante um balanço de calor e massa, foi proposto por Bakker-Arkema et al. (7) e descrito também por Brooker et al. (13), denominado pelos autores de modelo MSU (Michigan State University). Devido a natureza teórica das equações, o modelo tem apresentado uma aplicação generalizada para produtos biológicos, apesar de ser usado conjuntamente com uma equação empírica de camada delgada.

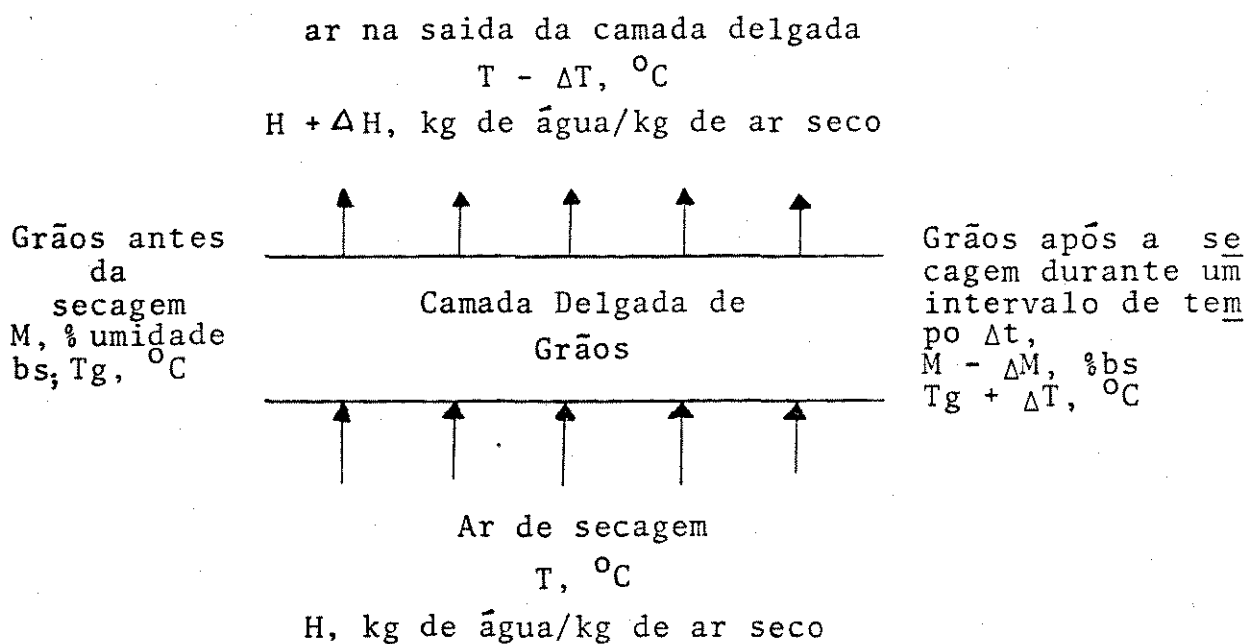
O modelo MSU foi modificado por Vilela (44) e testado com sucesso mediante a comparação das predições com os dados experimentais. Demonstrou-se a viabilidade da secagem solar e a importância do descanso, na melhoria da eficiência da secagem, assim como já haviam provado Rigitano et al. (28).

Srinivasa et al. (35) fizeram uma análise da transferência de calor e massa na convecção do ar, para a secagem de corpos porosos. A secagem era feita em condições de baixa vazão e alto teor de umidade, sendo o modelo sub-dividido para o período de taxa constante de perda de umidade (água superficial) e o período de taxa decrescente. Concluíram que as propriedades de transporte de umidade tem mais influência que as propriedades térmicas, sendo a temperatura e o conteúdo de umidade dependentes da difusão e do teor crítico de umidade, influenciando de maneira significativa as características de transferência de calor e massa.

Thompson et al. (42) desenvolveram um modelo matemático que pode ser usado para simular a secagem de qualquer grão, mas, para aplicá-lo ao café devem ser introduzidas as características particulares deste produto, como veremos adiante.

O modelo considera a massa de grãos de uma camada espessa como constituída de camadas delgadas, de um grão de espessura, colocadas uma em cima da outra. Determinando-se a secagem de uma camada delgada, através de balanços de energia e massa, pode-se estudar a secagem de camadas por meio de um processo iterativo.

A secagem de uma camada delgada pode ser simulada, considerando-se as trocas de temperatura e umidade do grão e do ar, de acordo com o esquema a seguir:



O esquema representa a passagem do ar quente, a uma certa temperatura ($T, ^\circ\text{C}$) e umidade absoluta ($H, \text{ kg de \u00e1gua por kg de ar seco}$), por uma camada delgada de gr\u00e3os a uma umidade ($M, \%$ bs) e a uma temperatura ($T_g, ^\circ\text{C}$) durante um intervalo de tempo Δt . Neste intervalo de tempo certa quantidade de umidade ($\Delta M, \%$ bs) evapora-se dos gr\u00e3os, sendo levada pelo ar que passa a ter uma maior umidade absoluta ($H + \Delta H$). Ao mesmo tempo, o ar diminui sua temperatura ($T - \Delta T, ^\circ\text{C}$) em fun\u00e7\u00e3o do aumento da temperatura do gr\u00e3o, que vai subir para $T_g + \Delta T_g (^ \circ\text{C})$, e ao resfriamento de evapora\u00e7\u00e3o na mudan\u00e7a de fase.

A previs\u00e3o da secagem de uma camada grossa (massa de gr\u00e3os do silo ou barca\u00e7a) \u00e9 feita considerando a secagem da camada delgada, onde as condi\u00e7\u00f5es finais de cada camada s\u00e3o usadas como iniciais da pr\u00f3xima, e assim por diante at\u00e9 completar a simula\u00e7\u00e3o de toda a massa.

Villa et al. (48) adaptaram o modelo de Thompson para simular a secagem de camadas espessas est\u00e1ticas de caf\u00e9. Para esta adapta\u00e7\u00e3o foi preciso colocar os seguintes par\u00e2metros ou propriedades do caf\u00e9 na rotina de Thompson et al. (42): Curvas de secagem em camada delgada, curvas de equil\u00edbrio de umidade, calor latente de vaporiza\u00e7\u00e3o e calor espec\u00edfico.

As equações usadas para representar os parâmetros de secagem do café são em número de quatro:

1 - Equilíbrio de Umidade

A seguinte equação foi desenvolvida por Vilela (44), a partir de dados experimentais, para representar o equilíbrio de umidade do café:

$$M_e = (P_1R + P_2R^2 + P_3R^3) \exp ((P_4 + P_5R + P_6R^2 + P_7R^3 + P_8R^4) (T + P_9))$$

onde:

M_e = Equilíbrio de umidade, decimal

R = Umidade relativa, %, decimal

P_1 = 15272

P_2 = - 32478

P_3 = 33341

P_4 = - 0.029458

P_5 = - 0.0016309

P_6 = - 0.013695

P_7 = 0.132050

P_8 = 0.0

P_9 = 273

2 - Curvas de Secagem em Camada Delgada

A seguinte equação foi obtida por Vilela (44) para representar a secagem de café em camada delgada, sendo que as constantes foram achadas a partir de dados experimentais:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -mq (P_{vs} - P_v)^n (M - M_{eq}) t^{q-1}$$

onde:

M = Teor de umidade do grão, no tempo t , decimal, bs

P_{vs} = Pressão de vapor saturado à temperatura de secagem, kg/m^2 .

P_v = Pressão de vapor do ar de secagem, kg/m^2

M_{eq} = Teor de umidade de equilíbrio, decimal

t = Tempo de secagem, horas
m = 0.00537
n = 0.4614
q = 0.7683

3 - Calor Latente de Vaporização

Baseado nas equações de umidade de equilíbrio, Villa et al. (48) determinou a seguinte equação para representar o calor latente de vaporização da água do café.

$$L = 0.55555 (1075.76 - 1026 T) (1 + (0.9036 e^{-6.032M}))$$

onde:

L = Calor latente de vaporização, kcal/kg
T = Temperatura, °C
M = Teor de umidade do grão, decimal, bs

4 - Calor Específico

A seguinte equação foi usada por Villa et al. (48) para representar o calor específico do café, como função da umidade do produto:

$$C_p = 0.4 + 0.6 M_u$$

onde:

C_p = Calor específico, kcal/kg°C
M_u = Teor de umidade do grão, decimal, bu

3.5.4.3. Validez do Modelo Matemático

Villa et al. (48) confirmaram estas adaptações ao modelo de Thompson et al. (42) comparando resultados experimentais de secagem de café em camadas espessas, obtidos por Vilela (44) com resultados de simulação matemática. Criou-se um banco de dados com as condições iniciais do fruto e com as condições experimentais do ar de secagem, a intervalos de 30 minutos. A Figura nº (4.) apresenta a comparação efetuada, onde se observa

a boa previsão dos resultados experimentais.

Em pesquisa recente Iturra (23) utilizou novamente este modelo adaptando ainda uma sub-rotina que previa a deterioração do café. Seus resultados, entre outros, foram:

1 - O modelo matemático desenvolvido serve para predizer a deterioração do café na base do crescimento fúngico, e pode ser utilizado nas faixas de umidade de 72 até 35%, e temperaturas entre 25°C e 40°C. As extrapolações não são válidas.

2 - Observou-se boa correlação entre modelo matemático e o índice de deterioração experimental.

3 - O modelo desenvolvido foi utilizado junto a adaptação do modelo de Thompson et al. (42) para se determinar as vazões mínimas requeridas na prê-secagem de café em barçaça (a diversos teores de umidade inicial do grão, a diferentes condições de temperatura e umidade do ar de secagem) e diferentes critérios de deterioração. Com este modelo pode-se analisar do ponto de vista econômico o sistema de secagem.

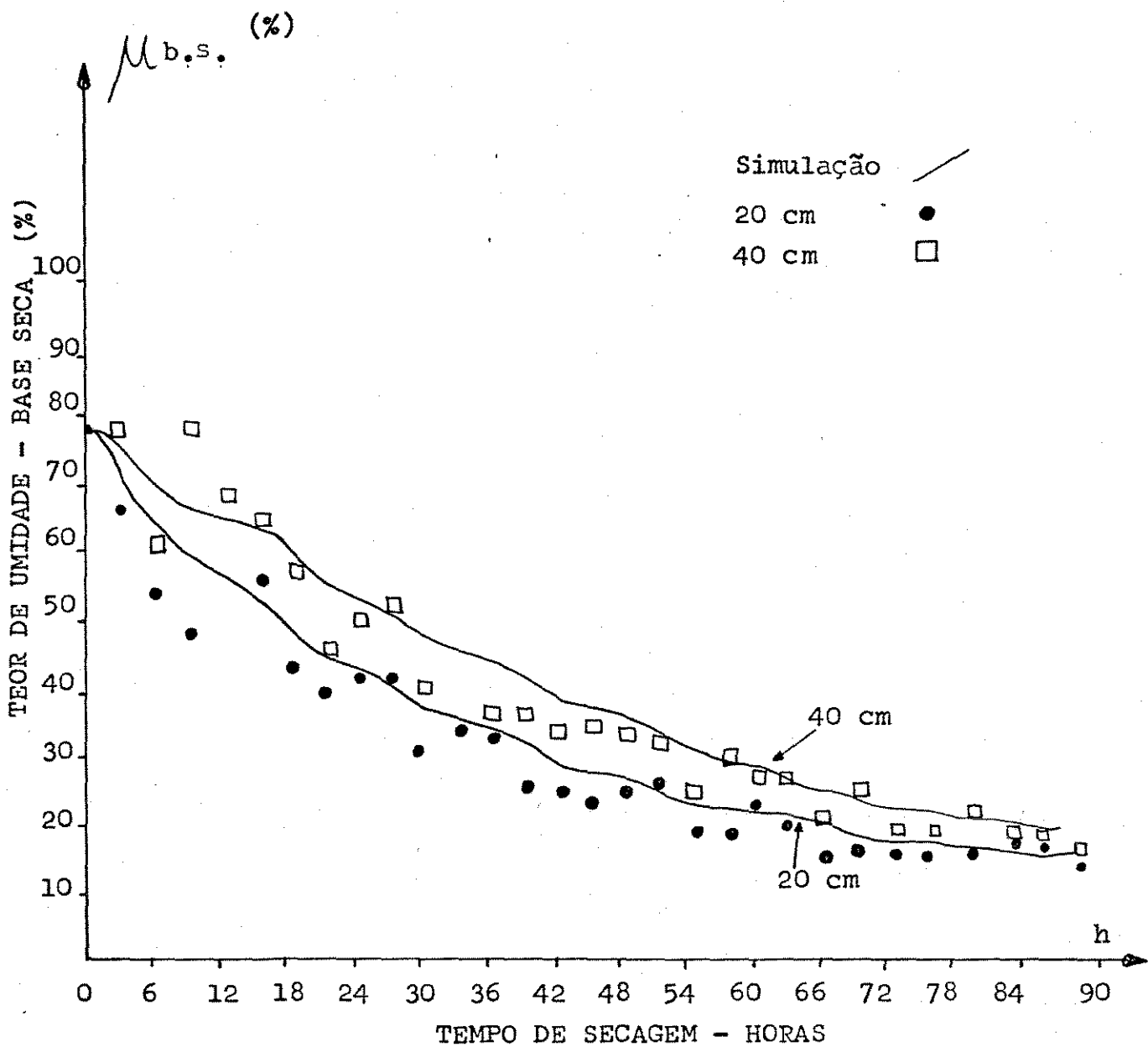


FIG. 4 - Resultados Comparativos de Secagem Experimental de Café e de Simulação Matemática Obtidos por Villa et al. (48).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Matéria Prima

Foram realizados 6 experimentos de secagem em barcaça (21 toneladas de café úmido) no período de junho/julho durante a safra cafeeira de 1978.

Os frutos da espécie *Coffea arábica* e variedade Mundo Novo eram colhidos por derraça no chão, procedentes da Fazenda Santa Maria, situada no quilômetro 118 da Rodovia SP-340.

4.1.2. Equipamentos

- Silo metálico vertical de fundo perfurado, capacidade 65 ton - Marca KEPLER-WEBER Modelo 1905.
- Barcaça de alvenaria com teto de zinco e fundo de cha pa perfurada (aço galvanizado) de 5 x 3 x 0,5 m, com capacidade para 6 ton de café úmido.
- 2 ventiladores centrífugos de 5,6 kw cada, marca Kongskilde, movidos por 2 motores Arno.
- Coletor solar plano de 60 m² (20 m de comprimento x 3 m de largura).
- Transportador pneumático Kongskilde de 1,5 kw.
- 18 resistências elétricas - 2150 Watts/cada Tri-fásicas - 220 Volts.
- Estufa de convecção natural, automática - Marca Fanem
- Computador digital PDP-10.
- Máquina eletrônica programável Texas, Modelo SR-58.

4.1.3. Aparelhos de Medição e Chaves Acionadoras

- Relógio Medidor, Tetrafilar, Tipo T2A - Marca Galileo.
- Potenciômetro Manual, Marca Leeds & Northrup, Modelo 8690-2.
- Registrador Hewlett Packard - Modelo 71558 - 1 Canal.
- Válvula Gaveta Reguladora do fluxo de ar, Faixa 0 - 3,2 m³/S.
- Orifício calibrado de 0,5 m de diâmetro externo.
- Manômetro de coluna em "U".
- Higrotermôgrafo, Marca Tokio/Ota, Modelo 47/11.
- Balança Stanton Semi-Analítica, com capacidade para 1,5 kg.
- Balança Hobart-Dayton com capacidade para 25 kg.
- Termostato com bulbo de mercúrio.
- 2 Chaves Magnéticas Siemens, Modelo 3TB -5017.
- Chave Manual de 200 A/250 V Tri-Fásica.
- 2 Chaves Contadoras de 10 entradas e saída unida.
- 3 Chaves Manuais de 30 A/250 V Tri-Fásicas.

4.1.4. Acessórios

- 4 Caixas com 5 peneiras (0,3 x 0,3 x 0,1 m)
- Duto metálico de ligação do ventilador com a barcaça (2 m de comprimento x 0,5 m de diâmetro)
- Termopares de cobre - Constantan, 20 AWG.
- Cadinhos de alumínio
- Dessecadores
- Garrafas térmicas

4.2. Métodos

4.2.1. Montagem do Sistema (Fig.6)

Após finalizar a construção da barcaça (Fig.5) completou-se a ligação entre o coletor e o ventilador e deste com a barcaça. O coletor solar (33) já utilizado em outras experiências (18, 30, 46, 49, 50) foi ligado ao ventilador centrífugo por meio de um duto metálico isolado termicamente com isopor. Entre o ventilador e o coletor colocou-se uma válvula gaveta

que permitia variar o fluxo de ar succionado desde zero até 180 m³/min. Entre a válvula gaveta e a entrada do coletor instalou-se um orifício previamente calibrado. Assim sendo, com um manômetro em forma de "U" e da curva característica do ventilador, mediu-se com boa precisão a vazão durante o experimento (Fig.6)

Dentro da barcaça foram colocados 12 termopares (Fig.7a) que possibilitaram a leitura das temperaturas de bulbo seco do ar na camada de grãos.

A temperatura do ar no duto de entrada (Fig.7,b) da barcaça foi registrada continuamente num aparelho Hewlett-Packard.

A perda de peso do produto para diferentes alturas de camada, foi medida através de pesagens de peneiras, duas vezes por dia colocadas uma acima da outra dentro de uma caixa de madeira (Fig.8) As peneiras eram retiradas sem movimentar os frutos adjacentes as amostras. Desta forma assegurava-se as mesmas condições do ar (temperatura, umidade e vazão do interior da barcaça).

Ao finalizar a secagem a quantidade de café restante nas peneiras era levada a uma estufa determinando-se o peso seco (por peneira) seguindo o método 44-15A, A.A.C.C., 1975 (1).

As condições ambientais durante os experimentos foram registradas continuamente num higrotermôgrafo.

4.2.2. Dimensionamento da Chapa Perfurada

O fundo de concreto alisado forma junto com a chapa perfurada uma caixa de distribuição de ar (pleno) (Fig.5). A chapa é responsável pela distribuição do ar na barcaça, o que é conseguido através do seu dimensionamento como veremos a seguir:

Segundo Roa e Villa (30) a resistência à passagem de ar pelas chapas perfuradas é dada por:

$$(1) \quad p = 30,36 \times 10^{-6} \left(\frac{Q/A}{E \cdot F} \right)^2$$

onde p = perda de pressão em mm de H₂O

Q = Fluxo de ar, m³/min

A = Área do silo, m²

F = Fração da área dos furos à área total da chapa

E = Porosidade do grão, decimal Tabela Nº 2 (30)

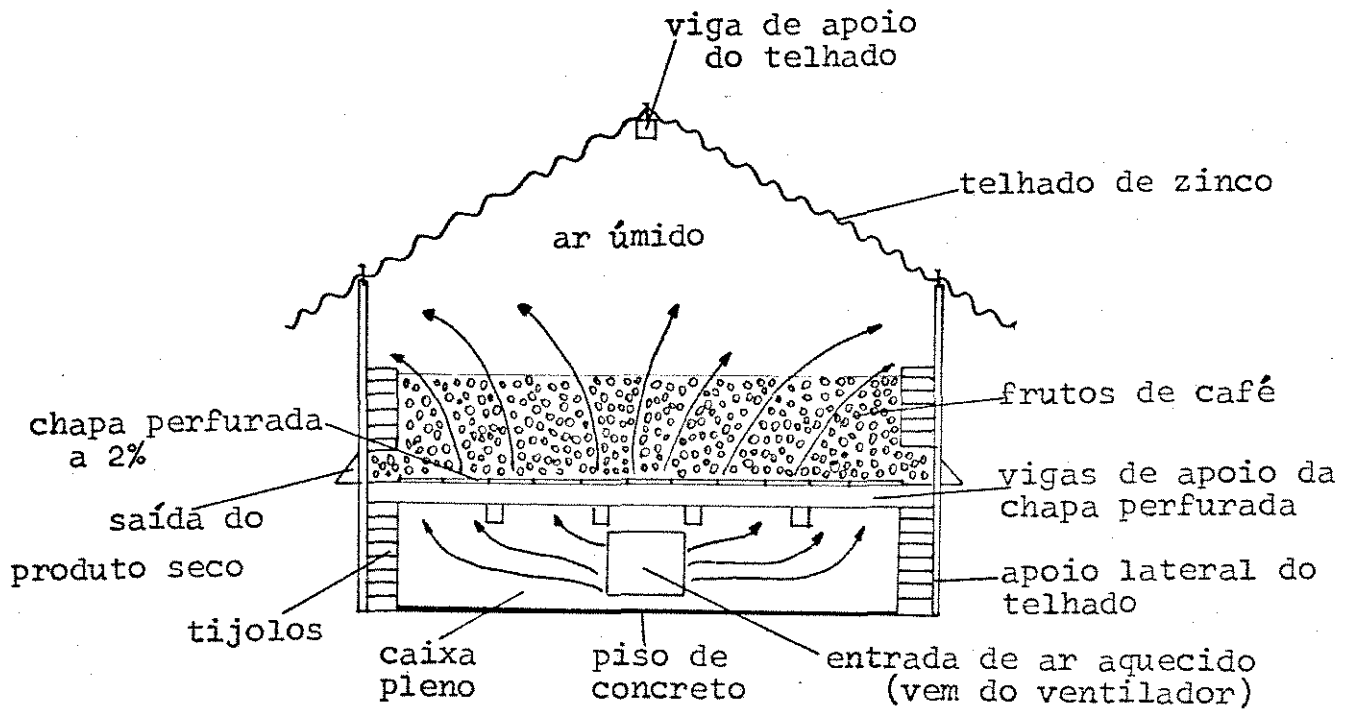


FIG.5 - Corte transversal da barcaça.

sem escala

Barcaça - $\left\{ \begin{array}{l} \text{área } 15 \text{ m}^2 \\ \text{altura } 3\text{m} \\ \text{altura da camada } 0,5\text{m} \\ \text{capacidade} - 5 \text{ toneladas de café úmido} \end{array} \right.$

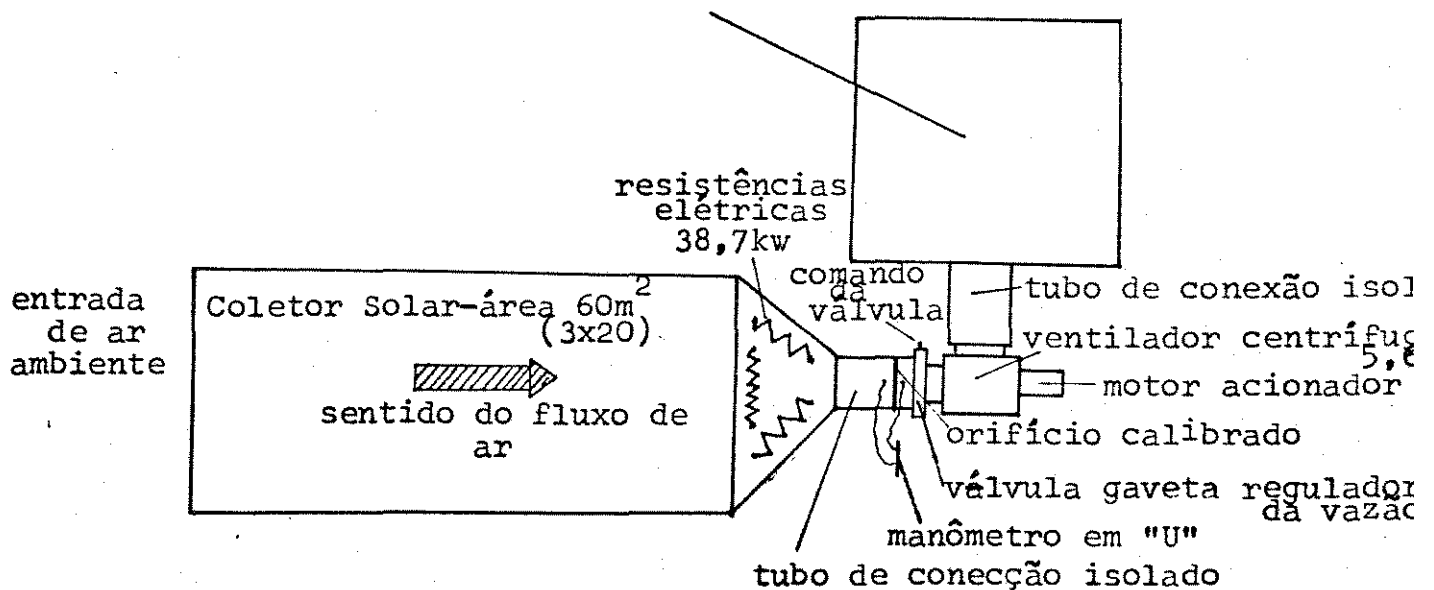


FIG.6 - Esquema de disposição dos elementos

sem escala

medidas em m

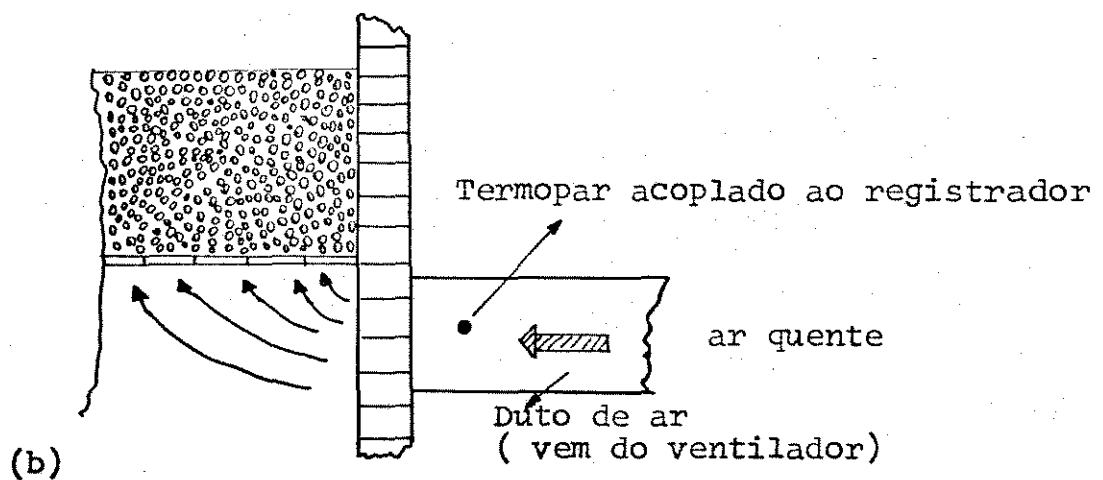
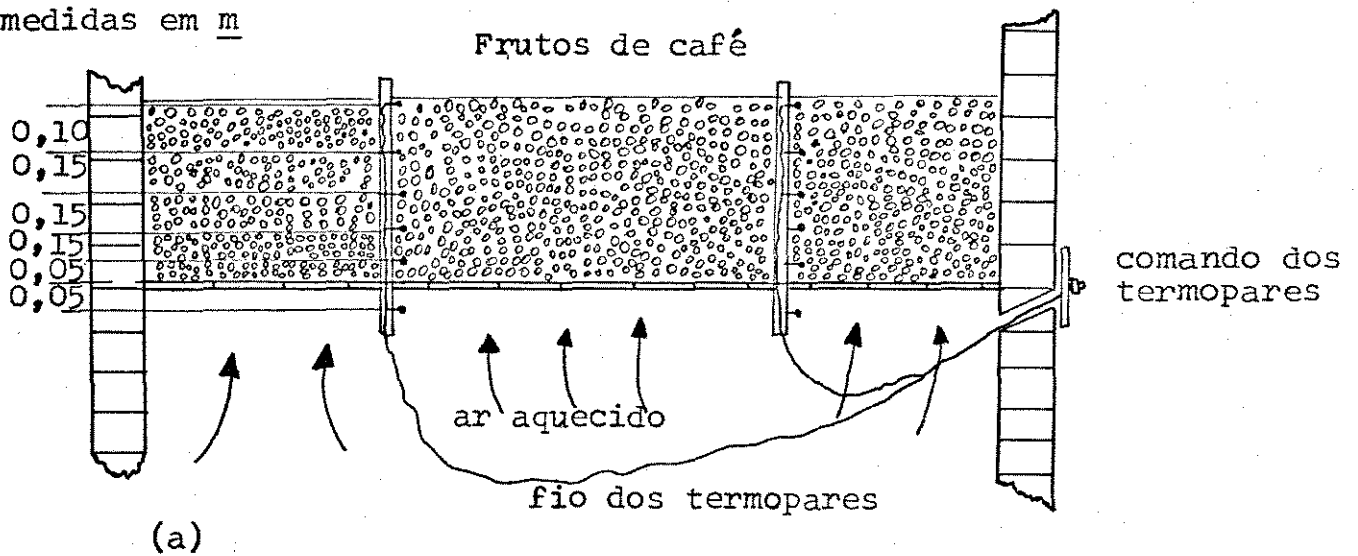


FIG. 7 - Medida de temperatura: a - distribuição dos termopares dentro da barçaça; b - termopar ligado ao registrador.

sem escala

Por outro lado sabemos pela fórmula da potência do ventilador que:

$$(2) \quad p = \frac{Q \cdot P}{k \cdot \eta}$$

onde:

$$\left| \begin{array}{l} p = \text{HP} \\ Q = \text{Vazão, m}^3/\text{min} \\ k = \text{Constante} \\ \eta = \text{Rendimento} \end{array} \right.$$

Isolando p, vem

$$p = \frac{\eta P k}{Q} = \frac{0,6 \times 7,5 \times 4570}{180} = 114,25 \text{ mm de H}_2\text{O}$$

Para termos uma boa distribuição de ar na barcaça é necessário que a chapa seja responsável pela queda de pressão do ventilador. Se ao invés de assim procedermos, tivéssemos uma grande área perfurada da chapa, o grão é que seria responsável pela distribuição de pressão.

O grão é desuniforme e dificilmente vem escolhido da fazenda, de modo que o ar ao passar através da camada do produto, segue por caminhos preferenciais que são os que oferecem menor resistência a corrente de ar. (Veja fig. 9).

Chegou-se, portanto, à conclusão que a perda de pressão na chapa deveria ser de no mínimo 60%. Portanto:

$$\begin{aligned} 0,60 \times p &= 0,60 \times 114,25 \text{ mm H}_2\text{O} \\ p' &= 68,55 \text{ mm H}_2\text{O} \end{aligned}$$

Substituindo em (1) vem:

$$68,55 = 30,36 \times 10^{-6} \left(\frac{180/15}{F \times 0,4} \right)^2$$

Para

$$\left| \begin{array}{l} Q = 180 \text{ m}^3/\text{min} \\ A = 15 \text{ m}^2 \\ E = 0,4 \end{array} \right.$$

$$\text{ou } F = 100 \times \sqrt{\frac{30,36 \times 10^{-6}}{68,55}} \times \frac{180}{15 \times 0,4} = 1,99\%$$

$$F = 2\%$$

Assim, teremos 2%* da área da chapa perfurada.

Com este valor estabelecido, o fluxo de ar independe do tipo de grão e da altura da camada (até 0,5 m) no secador.

4.2.3. Dimensionamento das Resistências Elétricas

Na saída do coletor solar foi instalado um conjunto de resistências elétricas (Fig. 6) que atuaram em condições climáticas desfavoráveis (dias nublados ou chuvosos) e a noite. Estas resistências elétricas foram dimensionadas para um acréscimo de 12°C acima da condição média do ar ambiente (20°C, 70% UR) conforme veremos a seguir:

$$q = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\text{Para : } \left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{1}{0,95} = 1,05 \frac{\text{kg ar}}{\text{m}^3} \\ \dot{m} = 180 \text{ m}^3/\text{min} \times 1,05 \frac{\text{kg ar}}{\text{m}^3} = 189 \frac{\text{kg AR}}{\text{min}} \\ h_1 = 11,30 \text{ kcal/kg ar seco} \\ h_2 = 14,20 \text{ kcal/kg ar seco} \end{array} \right.$$

(pela carta psicrométrica)

Substituindo vem:

$$q = 189 \times 2,90 = 548,10 \text{ kcal/min}$$

* Num silo normal para grãos este valor é de 20% e o produto é responsável pela distribuição do ar.

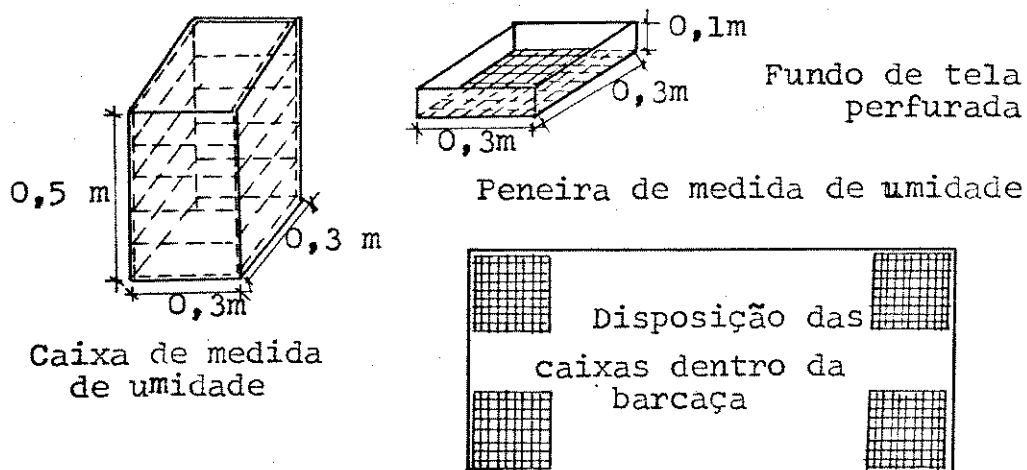


FIG.8 - Elementos de medida de umidade

sem escala

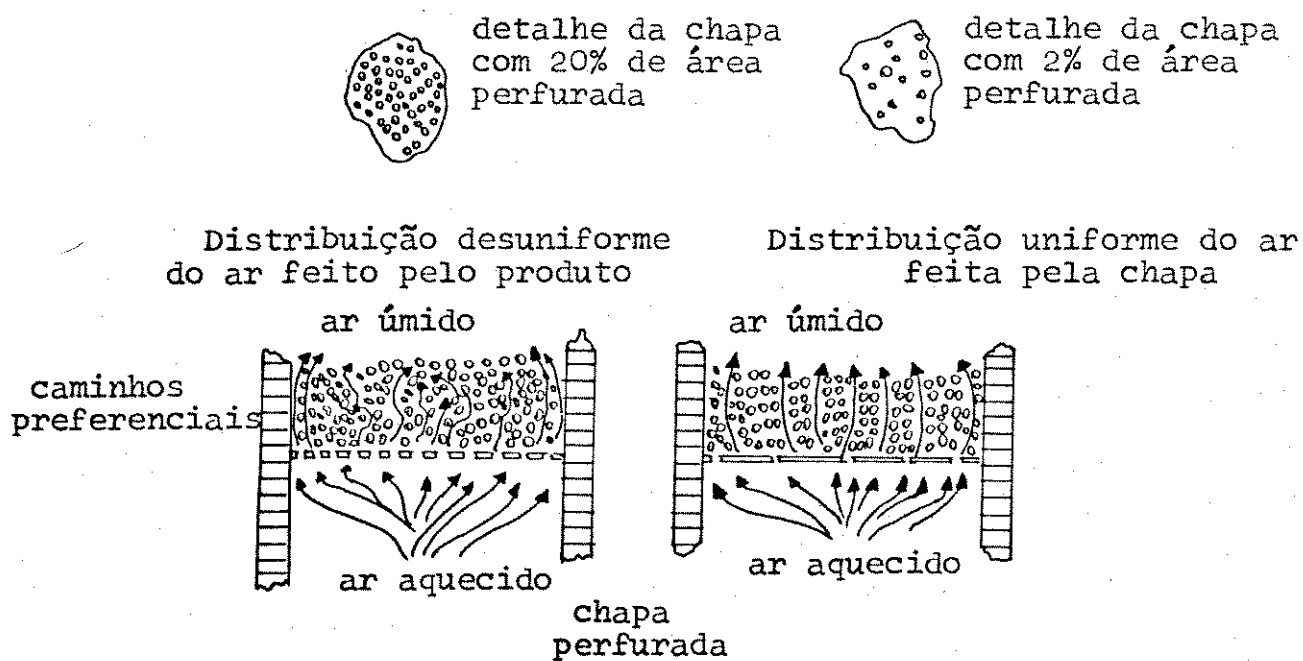


FIG. 9 - Distribuição do ar em função da chapa.

548,10 kcal/min x 60 min/hr = 32.886 kcal/hr

$$\frac{32.886 \text{ kcal/hr}}{860 \text{ kcal/kw.hr}} = 38,24 \text{ kw}$$

Foram então utilizadas 18 resistências de 2.150 watts.

4.2.4. Procedimentos durante as Experiências

Para as seis experiências realizadas a metodologia se guida foi basicamente a seguinte:

1 - O café vinha da Fazenda Santa Maria em sacos de 40 kg, diretamente da roça (colhido por derraça no chão), para o Campus da UNICAMP aonde foram conduzidos os experimentos. A matéria prima era então caracterizada para uma amostra de 300 gr.

2 - Para se carregar manualmente a barçaça com 5 toneladas de café úmido eram necessárias 5 horas homem.

3 - A seguir, eram apanhadas dez amostras de dez gramas de modo aleatório e secas na estufa segundo o método 44 - 15 A, A.A.C.C., 1975 (1). Com isto obtinha-se o peso seco e determinava-se a umidade média inicial do café.

4 - Após a distribuição do produto estar terminada e as peneiras (Fig. 8) estarem cheias, era iniciada a secagem (feita de modo contínuo), anotando-se o peso inicial por peneira. A partir daí, as peneiras eram pesadas duas vezes por dia até o final da secagem.

5 - Durante a secagem eram lidas as temperaturas do ar na massa de café e a vazão utilizada. A temperatura do ar na entrada da barçaça era registrada sem interrupção num aparelho Hewlett-Packard. As condições ambientais (temperatura e umidade relativa ao ar) eram assinalados em um higrotermógrafo.

6 - Ao ser atingido o teor de umidade desejado a barçaça era descarregada pneumaticamente diretamente num silo metálico (de fundo perfurado com 5,8 m de diâmetro), tal operação dispendia 1 hora.

7 - O café ficou armazenado no silo a granel, sendo o produto aerado durante o dia por um ventilador centrífugo de 5,6 kw fornecendo vazão constante de 50 m³/min.

4.3. Análise Sensorial

O café ao final da secagem estava com um teor médio de umidade de 12%, sendo então submetido a análises pelo Laboratório de Análise Sensorial da UNICAMP, e Departamento de Análise do Café (DACAF) de São Paulo, com 9 amostras de 1 kg.

5. RESULTADOS OBTIDOS, ANÁLISE ECONÔMICA E DISCUSSÃO

Foram secas 21 toneladas de café úmido no período de 2/junho/78 até 17/julho/78 durante a safra cafeeira. Os resultados estão registrados nas Tabelas (1 e 2).

Nas Figuras de 1 a 6 do Apêndice C podemos visualizar os resultados por experiência na forma de curvas de secagem (variação de umidade como função de tempo para diferentes alturas).

Nos Apêndices A e B estão tabelados todos os dados experimentais obtidos. Utilizando os dados obtidos foram calculadas as taxas de secagem (Tabela 3), verificando-se que não há período de velocidade constante de perda de umidade.

A qualificação do produto final (bebida, cor, tipo, etc.) está descrita em detalhe por Teixeira et al. (40)

5.1. Comprovação do Modelo Matemático

Foram criados dois bancos de dados com as experiências nº 2 e 3 que constam no Apêndice B .

Na experiência nº 2 foi utilizada energia elétrica complementando a energia solar (após 62 horas de secagem), pois, as condições climáticas se mostraram adversas (alta umidade relativa do ar devido a chuvas). A vazão foi mantida constante em $180 \text{ m}^3/\text{min}$. Foram secas três toneladas de café úmido com altura inicial da camada igual a 0,30 m. A umidade inicial (61% em média) decresceu para um valor médio de 29% após 160 horas de secagem consumindo 2590 kw.h (ventilador e resistências elétricas). As condições médias do ar de secagem, para a temperatura e umidade absoluta foram de 23°C e $0,0113 \text{ kg}$ de água/kg de ar seco respectivamente.

Na experiência nº 3 empregou-se energia elétrica junto com energia solar desde o início. A vazão variou da seguinte forma:

- vazão inicial até 45 h de secagem - $180 \text{ m}^3/\text{min}$
- vazão após 45 h de secagem - $156 \text{ m}^3/\text{min}$
- vazão final após 112 h de secagem - $146 \text{ m}^3/\text{min}$

TABELA Nº 1 - Caracterização da matéria prima para cada secagem (amostra de 300 gr).

EXPERIÊNCIAS (QUANTIDADE INICIAL \pm 3%)	VERDES %	VERDOENGOS %	CEREJAS %	PASSAS %	SECOS %
1a. (3 Ton)	20	20	30	20	10
2a. (3 Ton)	18	13	35	27	7
3a. (5 Ton)	7	7	42	38	6
4a. (5 Ton)	7	7	30	50	6
5a. (2 Ton)	5	5	16	58	16
6a. (3 Ton)	7	5	15	50	23

TOTAL: 21 Ton (café úmido) ou 9,5 Ton (café seco)

OBSERVAÇÃO DOS EXPERIMENTOS:

EXPERIMENTO 1 - Neste experimento utilizou-se somente energia solar até uma umidade média de 37,5%. A secagem foi completada até 12% num silo metálico com aquecimento a óleo do ar em um período de 48 h. O consumo de energia elétrica pelo ventilador da barçaça foi de 540 kwh. Foram eliminados 1400 kg de água.

EXPERIMENTO 2 - Neste experimento utilizou-se energia solar e energia elétrica. A energia elétrica gasta foi de 1630 kwh pelas resistências e 960 kwh pelo ventilador. Foram eliminados 1365 kg de água.

EXPERIMENTO 3 - Neste experimento utilizou-se energia solar e energia elétrica. Foram gastos 1470 kwh pelas resistências e 960 kwh pelo ventilador. Foram eliminados 2272 kg de água.

EXPERIMENTO 4 - Utilizou-se energia solar e energia elétrica. A energia elétrica gasta foi de 700 kwh pelo venti

nados 2317 kg de água.

EXPERIMENTO 5 - Neste experimento utilizou-se energia solar e energia elétrica. A energia elétrica gasta foi de 300 kwh pelo ventilador e 1160 kwh pelas resistências. As reduções de vazão visavam uma diminuição do consumo de energia elétrica. Foram eliminados 847 kg de água.

EXPERIMENTO 6 - Neste experimento utilizou-se energia solar e energia elétrica. O consumo de energia elétrica foi de 528 kwh pelo ventilador e 1200 kwh pelas resistências elétricas. Foram eliminados 1342 kg de água.

TABELA Nº 2 - Resultados experimentais da secagem de café em barçaça*.

EXPERIMENTO NÚMERO	QUANTIDADE INICIAL DE CAFÉ (Ton)	ALTURA INICIAL DA CAMADA (m)	TEOR DE UMIDADE INICIAL MÉDIO		TEOR DE UMIDADE FINAL MÉDIO		FAIXA DE TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM (°C)	UNIDADE ABSOLUTA MÉDIA DO AR DE SECAGEM (g _{vapor} /k _{ar seco})	VAZÃO (m ³ /min)	TEMPO DE SECAGEM NA BARÇAÇA (horas)
			B.U.(%)	B.S.(%)	B.U.(%)	B.S.(%)				
1	3	0,30	66,0	194.	37,5 ¹	60	13-34	8	180	90
2	3	0,30	61,2	157.	28,8 ²	38,4	16-34	11	180	160
3	5	0,50	57,5	135	22,0 ³	31,7	26-42	11	180 ⁴ 156 146	135
4	5	0,50	56,0	139	16,4 ⁵	18,1	16-54	9	180	117
5	2	0,20	54,0	120	20,2 ⁶	25,7	22-54	10	120 ⁷ 100 70	52
6	3	0,30	61,5 ⁸ 45,0	159 82	19,5 ⁹ 18,9	26,3 23,3	31-38	10	180 ¹⁰ 138 126 70	88

NOTAS EXPLICATIVAS:

- 1 - O valor de 37,5% é para a camada média, a camada superior estava com 42,7% e a camada inferior estava com 35,5%.
- 2 - Este valor do teor de umidade é a média de todos os valores (na camada) da última medição, sendo as diferenças para o maior valor e o menor de 3,66% e 6,20% respectivamente.
- 3 - Vale a mesma observação da nota 2. Os desvios foram: 2,2 a menos e 2,8% a mais do valor médio 22,0%.
- 4 - As reduções de vazão foram feitas após 45 horas de secagem (156 m³/min) e a 112 horas de secagem (146 m³/min), segundo as recomendações de Roa e Villa (30) para vazões mínimas sem deterioração industrial.
- 5 - A variação do teor de umidade foi de 2% para as camadas superior e inferior.
- 6 - A camada inferior estava com teor de umidade de 19% e a camada superior com 21% de teor de umidade.
- 7 - A primeira redução deu-se quando o café estava com teor médio de umidade igual a 40%, após 6 horas de secagem. A segunda redução foi feita após 24 horas de secagem quando o teor médio de umidade era 28,5%.
- 8 - A camada inferior estava com um teor médio inicial de umidade igual a 45,0%, enquanto que, a camada superior possuía um teor médio inicial de 61,5%.
- 9 - Ao final da secagem o maior valor do teor de umidade estava na camada superior com 5% a mais que a média e o menor valor estava na camada inferior com 3,2% a menos que a média.
- 10 - As reduções de vazão foram (vale a mesma observação do item 4):
 Após 17 horas de secagem - 138 m³/min
 Após 20 horas de secagem - 126 m³/min
 Após 65 horas de secagem - 70 m³/min

* Como o produto inicial é desuniforme o tempo de secagem variou de acordo com a temperatura utilizada, teor inicial de umidade, teor final de umidade e época da colheita do café (início ou fim de safra).

TABELA Nº 3 - Taxas de secagem das experiências realizadas

1a. EXP.			2a. EXP.			3a. EXP.		
$\Delta\mu_{BS}(\%)$	$\Delta\theta(\text{hr})$	$\Delta\mu_{BS}/\Delta\theta$	$\Delta\mu_{BS}(\%)$	$\Delta\theta(\text{hr})$	$\Delta\mu_{BS}/\Delta\theta$	$\Delta\mu_{BS}(\%)$	$\Delta\theta(\text{hr})$	$\Delta\mu_{BS}/\Delta\theta$
79,7	24,5	3,2	46,8	24,0	2,0	54,2	21,0	2,6
31,7	24,0	1,3	14,7	16,3	0,9	23,2	23,5	1,0
14,3	20,0	0,7	10,2	24,5	0,4	11,5	26,0	0,4
						8,6	24,5	0,3

4a. EXP.			5a. EXP.			6a. EXP.		
$\Delta\mu_{BS}(\%)$	$\Delta\theta(\text{hr})$	$\Delta\mu_{BS}/\Delta\theta$	$\Delta\mu_{BS}(\%)$	$\Delta\theta(\text{hr})$	$\Delta\mu_{BS}/\Delta\theta$	$\Delta\mu_{BS}(\%)$	$\Delta\theta(\text{hr})$	$\Delta\mu_{BS}/\Delta\theta$
76,5	21,0	3,6	69,3	23,0	3,0	95,0	24,75	3,8
21,0	23,0	0,9	10,8	6,0	1,8	19,4	21,5	0,9
11,7	23,5	0,5	11,8	24,0	0,5	12,8	26,7	0,5
7,5	24,5	0,3						

OBS: A taxa de secagem é função dos seguintes fatores:

- teor de umidade do produto
- temperatura de secagem
- espessura da camada
- quantidade de impurezas na massa do produto

Portanto, nas condições experimentais não se conseguiu taxas de secagem constante. Vide item 3.1, sobre a distribuição de água no fruto de café.

Foram secas cinco toneladas de café úmido com teor inicial médio de umidade igual a 57% que foi reduzido para um valor médio de 22% após 135 h de secagem consumindo 2430 kw.h (ventilador e resistências elétricas). A altura inicial da camada foi de 0,50 m e as condições médias do ar de secagem foram de 30°C e 0,0110 kg de água/kg de ar seco para a temperatura e umidade absoluta respectivamente.

Com os bancos de dados na memória do computador passou-se a execução do programa de Thompson et al. (42), utilizado por Iturra (23), e já descritos no item 3.5.4.2. O programa também foi executado para as condições médias das duas experiências apresentando resultados graficados nas Figuras (10,11,12,13)

Foram calculados os erros entre os valores experimentais e os obtidos com o modelo Thompson, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{ERRO} = \frac{\text{valor experimental} - \text{valor calculado}}{\text{valor experimental}} \times 100$$

As diferenças máximas (Erros), na 3a. experiência, foram de 5% para valores calculados, em condição fixa média, e 9% em condições variáveis. Para a 2a. experiência os valores foram de 10% para condição fixa média e 6% para condições variáveis.

5.2. Resultados de Secagem

Considerando os resultados que constam na Tabela 2, calculamos a eficiência térmica, definida como:

$$\text{Eficiência Térmica} = \frac{\text{água evaporada} \times \text{calor latente de vaporização}}{(\text{energia elétrica} + \text{energia solar})}$$

Sendo energia elétrica a consumida pelo ventilador e resistências elétricas, e energia solar a fornecida pelo coletor

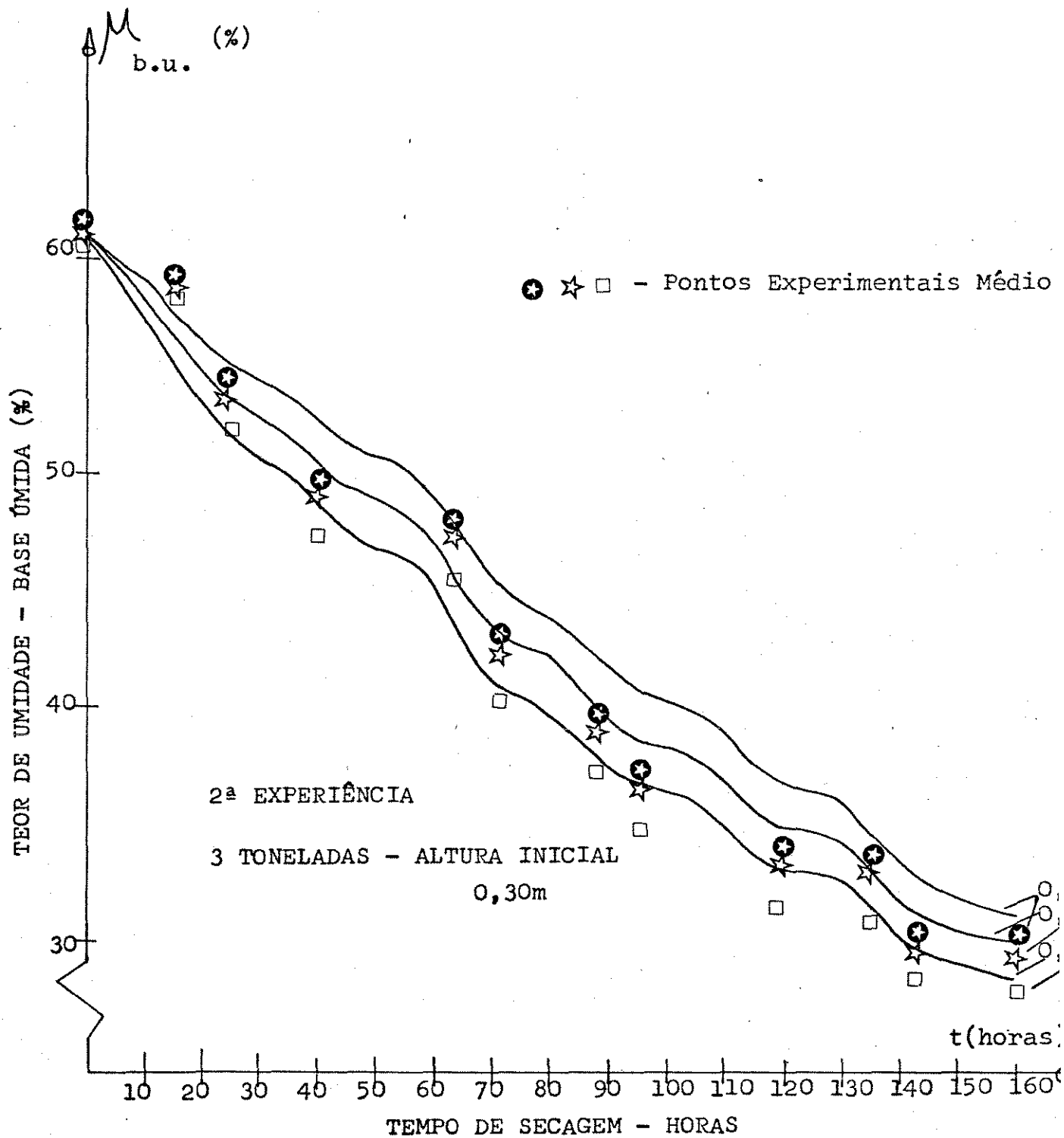


FIG.10 - Curvas Obtidas pelo Modelo Matemático de Thompson Utilizando Condições Variáveis; e Pontos Experimentais.

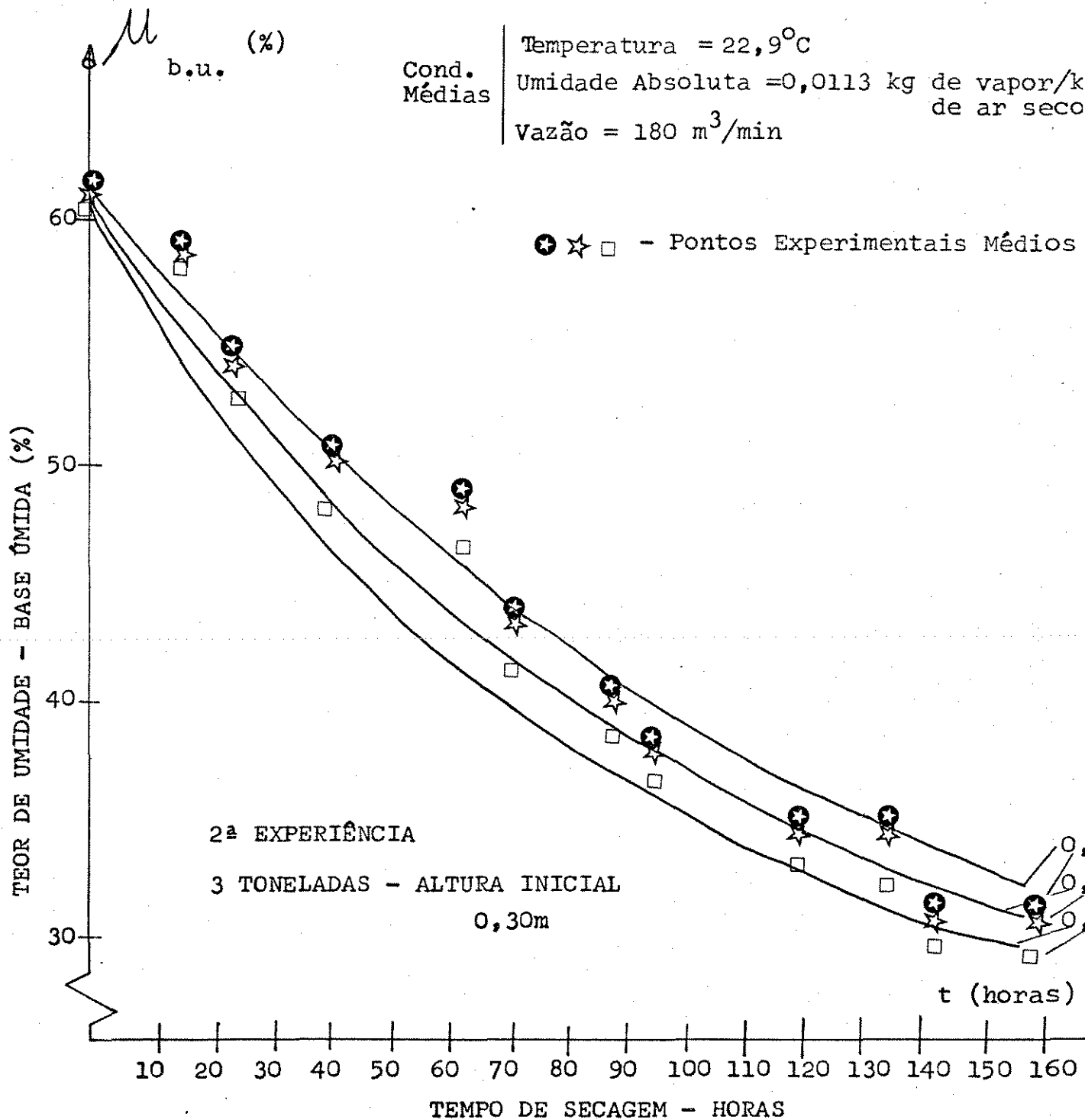


FIG.11 - Curvas Obtidas pelo Modelo Matemático de Thompson
 Utilizando Condições Médias; e Pontos Experimentais.

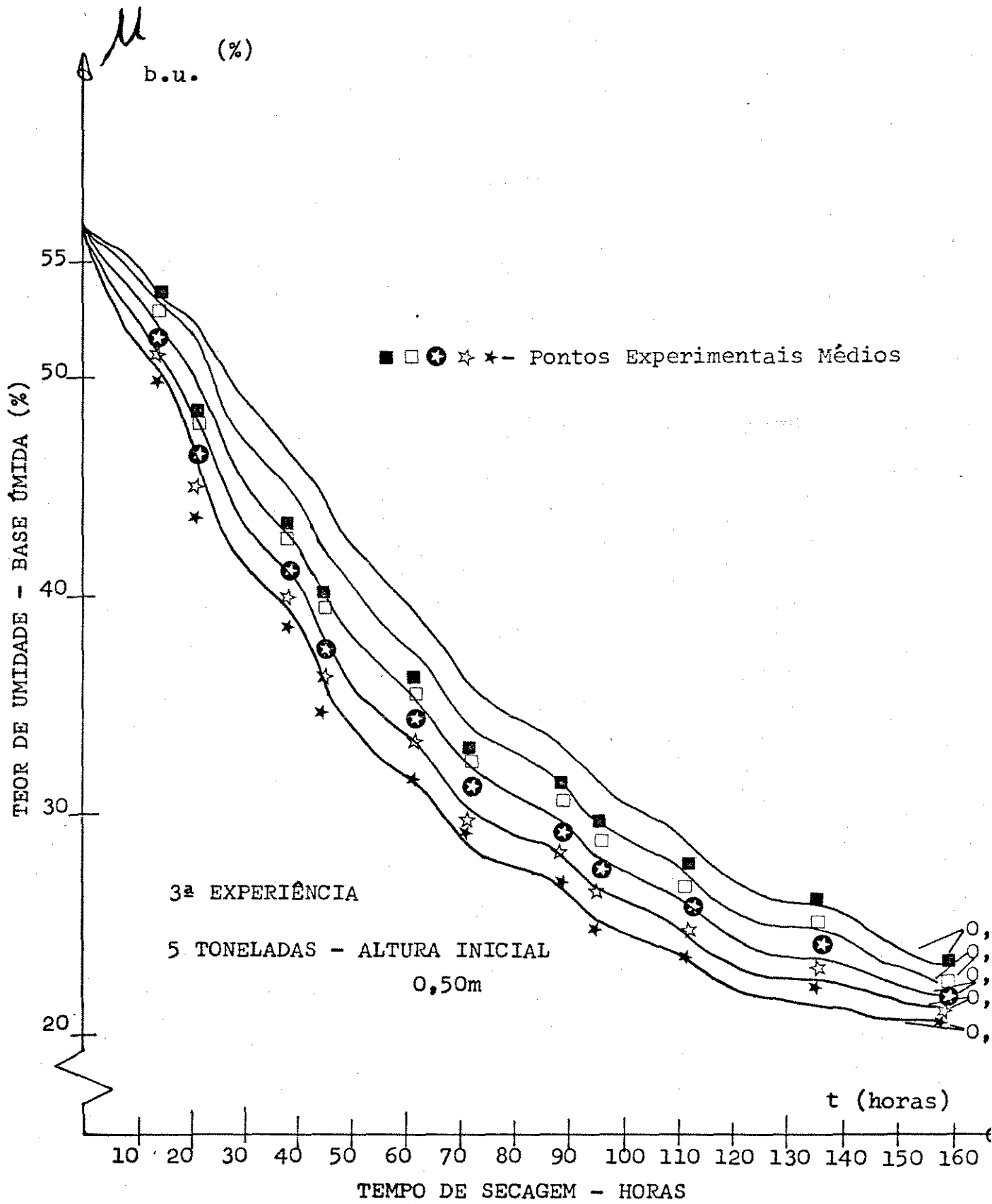


FIG. 12 - Curvas Obtidas pelo Modelo Matemático de Thompson Utilizando Condições Variáveis; e Pontos Experimentais.

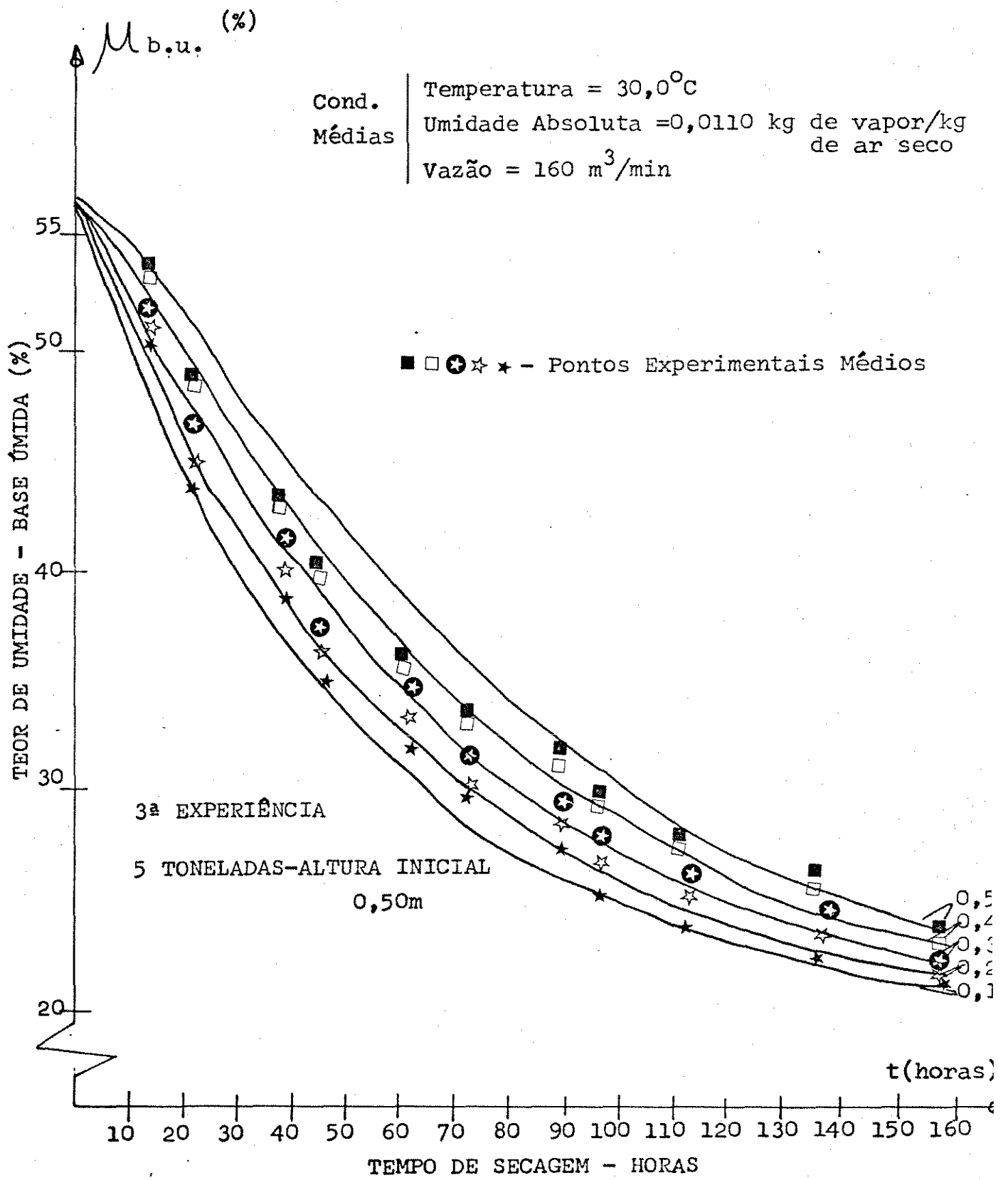


FIG.13 - Curvas Obtidas pelo Modelo Matemático de Thompson Utilizando Condições Médias; e Pontos Experimentais.

solar. Foi encontrado um valor médio de 40% para as experiências que utilizaram energia elétrica e energia solar, com exceção da 1ª experiência que só utilizou energia solar (74% de eficiência).

As médias, em porcentagem da energia dispendida na secagem em relação a soma das energias elétrica e solar (veja Gráficos 1, 2, 3, 4, 5, 6 no Apêndice D e cálculos no Apêndice E) foram:

Energia elétrica (ventilador)	- 27%
Energia elétrica (resistências elétricas)	- 55%
Energia solar (coletor)	- 28%

A energia elétrica dispendida na circulação do ar variou entre 42% (1ª Experiência) e 16% (5ª Experiência - vide cálculos no Apêndice E) ou, se considerarmos que esta energia seja hidrogerada não afeta o consumo de combustíveis fósseis. Representando um item de custo importante (vide 5.4), se for utilizada tiragem induzida por chaminés, o custo operacional seria diminuído, resolvendo também o problema de secagem para áreas que não possuíssem rede elétrica.

A energia elétrica consumida pelas resistências variou entre 62% (4ª e 5ª Experiências) e 47% (2ª e 3ª experiências) - vide cálculos no Apêndice E) sendo o valor médio 55%, o que comprova a obrigatoriedade de uma fonte suplementar de energia para a secagem do café.

A energia solar contribuiu de forma relevante para aumentar a energia do ar de secagem. Seu maior valor foi para a 1ª Experiência (58%), aonde não se utilizaram as resistências elétricas. O menor valor (16%) correspondeu a 4ª Experiência (Apêndice E), que consumiu 62% de energia elétrica para as resistências.

Um secador convencional possui baixa eficiência térmica (30%) pois, se utiliza de um trocador de calor para aquecimento do ar (fogo indireto), condição esta indispensável para um secador de café. No secador desenvolvido foi utilizada a energia do ar e a energia solar, que contribuíram em forma considerável para o aumento da eficiência térmica.

Os secadores solares utilizam baixas temperaturas de secagem, em consequência a eficiência térmica de conversão de energia é aumentada em virtude da diminuição dos níveis altos de

temperatura que são os grandes responsáveis pelas perdas por convecção. Por outro lado, a não existência de níveis altos é um fator importante na qualidade final do produto, em virtude do não ressecamento dos grãos causador de quebrados no beneficiamento (28).

A eficiência do coletor solar pode ser aumentada pois, seu ângulo de inclinação é de 15° (Latitude - 10°), tendo sido otimizado para fornecer maior energia térmica no verão (33). Segundo Hottel (20), o ângulo ótimo de inclinação da superfície de um coletor solar deve ser Latitude mais 15° ou 20° , objetivando captar o máximo de energia térmica no inverno.

De outra forma na secagem em terreiros existe a possibilidade de deterioração da qualidade do produto, ocorrendo muitas vezes pelo longo tempo de exposição, que permite a fermentação do café e o aparecimento de fungos. Esse fenômeno acontece invariavelmente em qualquer instalação quando as condições ambientais são adversas à secagem (40).

Outro recurso utilizado na barçaça que demonstrou ser eficiente foi a chapa com área perfurada de 2%. Esta chapa (dimensionada para este sistema em particular) conseguiu uniformizar um produto bastante heterogêneo como é o café (Tab. 1), tornando possível a utilização do secador com o produto vindo diretamente da lavoura sem pré-processamento.

A secagem uniforme do café úmido, recém colhido, é muito difícil de ser feita em secadores mecânicos, devido a desuniformidade do produto. Tal desuniformidade é ocasionada pela mistura dos tipos de café, pelas sujeiras que normalmente apresenta e pelas polpas soltas, muitas vezes em estado de decomposição. Nessas condições, quando o café forma camadas superiores a 0,04 m de espessura (usada nos terreiros), e é submetido a correntes de ar quente sem as devidas providências (lavagem, pré-secagem, etc.), originam-se desuniformidades no fluxo de ar (Fig. 9), devido às diferentes resistências oferecidas pela massa. A desuniformidade do fluxo é aumentada depois de iniciada a secagem, pelo fato que os frutos diminuem significativamente de volume ao secarem. Assim, a resistência a passagem do ar também diminui, criando-se caminhos preferenciais em torno de massas de produto úmido e polpas, pelas quais o ar não consegue passar (Fig. 9).

As curvas de secagem do Apêndice C, retratam o comportamento do teor de umidade no decorrer do tempo, por camada, dentro da barçaça. Vemos assim, como este processo conseguiu uniformizar o café obtido, pois de diferenças iniciais de 15% no teor de umidade inicial, entre camadas, decresceu para valores da ordem de 3% em média (vide dados da experiência 6).

5.3. Qualificação do Produto Obtido

Após o término da secagem o café foi submetido a análise e classificação no setor de pesquisas da DACAF do IBC de São Paulo e no Laboratório de Análise Sensorial da UNICAMP (40).

Os resultados do ensaio comprovaram a melhor qualidade do café seco em barçaça quando comparado a uma amostra padrão seca no terreiro.

O café seco em barçaça apresentou bebida Dura enquanto que o seco no terreiro apresentou bebida Rio.*

5.4. Análise Econômica**

Para se obter uma tonelada de café beneficiado necessitam-se aproximadamente 4,4 toneladas de café com 65% de umidade inicial, das quais 2,4 toneladas de água devem ser evaporadas. Assim, se o café for seco num secador mecânico à base de óleo combustível (diesel Cr\$ 12,00), com eficiência composta de aquecimento indireto do ar de 60% e eficiência de secagem de 40%, são necessários aproximadamente 900 litros de óleo. Desta forma, ocorre um custo de energia de aproximadamente Cr\$ 10.800,00 por tonelada de café beneficiado, o que repre

* Classificação do café segundo IBC (15)

Estritamente mole = 5

Mole = 4

Apenas mole = 3

Dura = 2

Riada = 1

Rio = 0

** Os cálculos foram feitos considerando-se moeda constante (no
vencimento de 1970)

senta ao redor de 8% de seu valor comercial. Supondo uma produção anual de 2 milhões de toneladas de café beneficiado, há uma necessidade de consumo de 1,8 bilhões de litros de óleo (11 milhões de barris) para secar tal produção, ou seja, Cr\$ 21,60 bilhões por ano. Este cálculo foi feito no suposto de se secar todo o café em secadores mecânicos com aquecimento a óleo (veja nota pág.4).

Os terreiros que são a maneira tradicional de secar café, utilizam grandes áreas para que o produto possa ser espalhado (camadas de 3 cm de espessura), levando em torno de 15 dias, com condições climáticas favoráveis, para finalizar a secagem. Assim, são necessários 61 m^2 de terreiro por tonelada de produto recém colhido e de 242 m^2 por tonelada de café beneficiado (densidade do café úmido igual a 660 kg/m^2). Todo produtor moderno considera esta área exageradamente alta, principalmente para as grandes produções (para secar toda a produção de café do Brasil seriam necessários aproximadamente 8000 hectares de terreiro, supondo que cada terreiro fosse utilizado 6 vezes durante a safra), uma vez que as grandes áreas ocupadas pelos terreiros poderiam ser utilizadas mais eficientemente em outras atividades, tais como benfeitorias, lavouros, pastagens, etc.

5.4.1. Bases de Cálculo

Para a análise econômica do sistema barcaça comparada aos terreiros e secadores mecânicos foram feitas as seguintes suposições:

1. Prê-secagem de 280.000 kg de café úmido desde 65% até 35% em base úmida, que resultarão 70.000 kg de café beneficiado. O balanço de água na secagem pode ser visto no quadro a seguir:

QUADRO Nº 2

BALANÇO DE ÁGUA NA SECAGEM				
Estágio	Peso dos Componentes	Base Úmida	Base Seca	Água Eliminada
Matéria Prima	Massa Total = 280.000 kg Massa de Água = 182.000 kg Massa Seca = 98.000 kg	65%	185%	_____
Pré-Seco	Massa de Água = 52.769 kg	35%	54%	129.231 kg - <u>1,3 kg de água</u> kg de café seco
Seco	Massa de Água = 13.364 kg	12,1%	13,6%	39.405 kg - <u>0,4 kg de água</u> kg de café seco
				Total - 168.636 kg <u>1,7 kg de água</u> kg de café seco

ou seja, em porcentagem, a água perdida em cada fase:

$$\frac{1,3}{1,7} = 76,6\% \text{ pré-secagem}$$

$$\frac{0,4}{1,7} = 23,4\% \text{ secagem}$$

2. Safra de 100.000 pés de café pré-secada em 90 dias,
ou:

$$\frac{280.000 \text{ kg}}{90 \text{ dias}} = 3.100 \text{ kg de café (úmido)/dia}$$

3. Custos de novembro de 1979, moeda constante (vide pag. 48).

4. Comparam-se vidas econômicas (considerando tempo de depreciação linear de 5 e 10 anos.

5. Custos Fixos (Indiretos)

A) Terreiro

- a - Custo unitário Cr\$ 150,00/m².
- b - Área do terreiro - 933 m² para 100.000 pés de café (15)
- c - Vida física média - 30 anos.
- d - Acessórios - 6% do investimento.
- e - Manutenção - 4% anual do investimento.

B) Barcaça de 15 m².

- a - Custo unitário Cr\$ 120.000,00 assim distribuídos:
 - Coletor - Armazenador Solar - Cr\$ 45.000,00 (33)
 - Barcaça -

Chapa Metálica do Fundo - Cr\$ 14.000,00
Alvenaria - Cr\$ 20.000,00
 - Ventilador (5,6 kw) - Cr\$ 25.000,00
 - Resistência Elétrica (12,9 kw) - Cr\$ 10.000,00
 - Outros - Cr\$ 6.000,00
 - Total: Cr\$ 120.000,00
- b - Capacidade - 5 toneladas de café úmido
- c - Vida física média - 10 anos
- d - Manutenção - 4% anual do investimento

C) Secador Pugliese (Ferraz) (37)

- a - Custo fabricação - Cr\$ 405.000,00
- b - Capacidade -3 toneladas de café úmido
- c - Engenharia civil e montagem - 35% do investimento
- d - Manutenção - 4% anual do investimento
- e - Fração dos custos fixos atribuída a pré-secagem - 60% (baseada em tempo de utilização)

6. Estimativa de Mão de Obra

A) Terreiro

3 operários diurnos
 3 meses de safra
 Salário mínimo mensal - Cr\$ 2.800,00
 Cargas sociais - 40%
 Total na safra - Cr\$ 35.280,00

B) Barcaça

Operação - 3 turnos (24 h/dia)
 1/3 homem/turno
 1 homem/dia = 1 salário/mês
 Base salarial: 1,5 salários mínimos
 Cargas sociais: 40%
 Total na safra:

$$((\text{Cr\$ } 2.800,00) \times (1,4) \times (1,5)) \times 3 \frac{\text{meses}}{\text{safra}} =$$

$$= \text{Cr\$ } 17.640,00/\text{safra}$$

C) Secador

Valem as estimativas da barcaça, portanto serão gastos Cr\$ 17.640,00/safra.

7. Estimativa de Combustível

A) Barcaça

3 barcaças
 120 horas de pré-secagem
 5,6 kw - consumo do ventilador
 12,9 kw - consumo da resistência elétrica

24 horas - 20% do tempo total, funcionamento da re
sistência elétrica.

Cr\$ 0,65/kwh - Custo do kwh rural

18 bateladas/safra

Substituindo, vem:

$$3((120 \times 5,6) + (12,9 \times 24)) \times 0,65 \times 18 =$$

$$= \text{Cr\$ } 34.581,00$$

B) Secador

a - Consumo de energia elétrica

3,7 kw - motor elétrico

21 horas - 60% de 36 horas (secagem até 13%)

Cr\$ 0,65/kwh - custo do kwh rural

93 bateladas/safra

Substituindo, vem:

$$3,7 \times 21 \times 0,65 \times 93 = \text{Cr\$ } 4.735,00.$$

b - Consumo de lenha

146.014 kg de água a serem eliminados (65% até
35%)

$585 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ = calor latente de vaporização do café*

30% = rendimento global do sistema

$2.000/\text{kcal}/\text{kg}$ = poder calorífico

Cr\$ $200/\text{m}^3$ = custo da lenha

$600 \text{ kg}/\text{m}^3$ = densidade da lenha

Substituindo, vem:

$$\frac{146.014 \times 585}{0,3 \times 2.000 \times 600} = 237 \text{ m}^3 \text{ de lenha}$$

$$\text{Custo} = 237 \times 200,00 = \text{Cr\$ } 47.400,00$$

* Calculado pela correção de Othmer (48).

5.4.2. Resultados e Discussão

Na Tabela 4 estão os dados que possibilitaram a comparação dos sistemas de pré-secagem de café.

Pode-se notar que o menor investimento é do terreiro (27% do custo do secador) seguido da barcaça cujo investimento é de 66% em relação ao custo do secador.

O maior custo fixo por safra foi da barcaça sendo o menor custo fixo o do terreiro.

O secador possui maior custo variável pois consome força, combustível (lenha) e mão de obra ao passo que a barcaça sô consome mão de obra e força. No terreiro o custo variável é composto somente pela mão de obra.

O custo total sobre saca beneficiada foi maior para o secador mecânico, o que ao lado do maior investimento inicial, o tornam desvantajoso economicamente em relação aos outros métodos.

A barcaça possui como vantagens a grande redução de área (a camada é 17 vezes maior) e tempo dispendido em relação ao terreiro. Sua tecnologia é simples e, não consome combustíveis. O produto é pouco manuseado e atinge melhor qualidade.

Os terreiros apresentam alto risco pois, dependem de condições climáticas favoráveis. O produto é muito manuseado e necessita grandes áreas dispendendo em torno de 8 dias para pré-secar o café (vide 3.5.1).

Os secadores mecânicos dependem dos combustíveis que estão alcançando altos preços nos dias atuais. O risco de quebra do equipamento obriga assistência técnica especializada e estoque de peças para reposição. O café é muito manuseado podendo ser prejudicado pelas altas temperaturas de secagem. Finalmente, a compra de um secador mecânico implica em investimento inicial maior sem trazer vantagens comprovadas de qualidade do produto obtido (36, 37, 38).

TABELA 4 - INVESTIMENTOS E CUSTOS DE PRÉ-SECAGEM DE CAFÉ PARA TRÊS SISTEMAS

EQUIPAMENTOS		BARÇAÇA				TERREIRO					SECADOR		
INVESTIMENTO		360.000,00				148.400,00					546.750,00		
STO FIXO	DEPRECIACÃO LINEAR	5a	72.000,00			5a	29.680,00				5a	109.350,00	
		10a	36.000,00			10a	14.840,00				10a	54.675,00	
		30a	-----			30a	4.667,00				30a	-----	
	SAFRA	MANUT.E OUTROS	4% a.a.	14.400,00			4% a.a.	5.936,00				4% a.a.	21.870,00
TOTAL		5a	86.400,00	10a	50.400,00	5a	35.616,00	10a	20.776,00	30a	10.603,00	131.220,00	76.545,00
												60% - 78.732,00	60% - 45.921,00
CUSTO RIÁVEL	COMBUSTÍVEL		-----				-----					47.400,00	
	M.O.		17.640,00				35.280,00					17.640,00	
	FORÇA		34.581,00				-----					4.735,00	
	TOTAL		52.221,00				35.280,00					69.775,00	
CUSTO TOTAL		5a	138.621,00	10a	102.621,00	70.896,00		56.056,00		45.883,00		148.507,00	115.702,00
/ton café beneficiado		1.980,00		1.466,00		1.013,00		801,00		655,00		2.121,00	1.653,00
Cr\$/Saca CA BENEFICIADA=50 kg		99,00		73,00		51,00		40,00		32,80		106,00	83,00
Do Custo de Secagem Saca = Cr\$ 2.900,00		3,4		2,5		1,8		1,4		1,1		3,7	2,9
OBSERVAÇÕES:		<ul style="list-style-type: none"> - 66% do invest.do secador - área utilizada - a camada é 17 vezes maior que o terreiro - Tecnologia simples - Não consome combustível - Pouco manuseio do produto - Melhor qualidade 				<ul style="list-style-type: none"> - 27% do investimento do secador - Alto risco - Grande Manuseio do Produto - Grandes Áreas Utilizadas - Muito Tempo Dispendido - Pior Qualidade 					<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de Combustíveis - Risco de Quebras Mecânica - Técnico Especializado, Es que de peças - Alto Investimento Inicial - Riscos ao Café (alta temperatura), Grande movimentaçã produto 		

6. CONCLUSÕES

1. Não há período de velocidade constante de perda de umidade do fruto nas condições experimentais utilizadas.

2. O modelo matemático desenvolvido por Thompson et al. (42) e adaptado por Villa et al. (48) simula bem as condições reais (fixas e variáveis) da secagem, acompanhando os valores obtidos experimentalmente, com erros máximos de 10%.

3. É possível secar café em camadas de 0,50 m de espessura, sem movimentação do produto, num secador despojado de maiores requintes com vazões do ar da ordem de $60 \text{ m}^3/\text{min}$ ton de café.

4. A secagem de camadas espessas de café, dezessete vezes mais que num terreiro (0,03 m), propicia grande redução na área utilizada para secagem e no tempo consumido, em relação ao método tradicional (terreiros).

5. A qualidade do produto obtido por este processamento foi melhor que o secado em terreiros.

6. Dispondo -se de energia hidroelétrica, a secagem em barcaça, junto com coletor-armazenador solar, elimina a utilização de quaisquer combustíveis.

7 - O rendimento dos coletores-armazenadores pode ser melhorado se for mudado o ângulo de inclinação.

8 - O custo da barcaça e equipamentos complementares, tornam-na uma alternativa vantajosa na secagem do café, sendo sua melhor aplicabilidade na pré-secagem dos frutos.

9 - A aplicação da barcaça na pré-secagem resultou em custos menores (para novembro de 1979) que os dos secadores mecânicos, além de oferecer maior confiabilidade e segurança na operação.

10. A pré-secagem em barcaça resulta num produto que custa Cr\$ 48,00/saca beneficiada a mais que no terreiro (5 anos de depreciação); e de Cr\$ 33,00/saca beneficiada a mais que no terreiro (10 anos de depreciação).

11. O emprego de secadores mecânicos, em comparação com as barcaças só será justificável se houver diferença palpável de qualidade no produto obtido.

12. Os resultados obtidos permitem dimensionar a barcaça a nível de fazenda ou industrial, e realizar estudos de otimização com base nas condições meteorológicas da região, nos volumes de produto a serem secos, na função do equipamento no lay-out de secagem e segundo critérios estabelecidos de minimização do consumo de energia, maximização da qualidade do café, minimização do tempo de secagem, etc.

Como se observa estas conclusões, assim como os objetivos, podem agrupar-se em três categorias:

- a-Aspectos fundamentais na secagem do café: 1 e 2;
- b-Tecnologia sobre a secagem do café: 3 até 7;
- c-aspectos tecno-econômicos na secagem do café: 8 até 12.

7. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Concentrar esforços na área de investigação de materiais que diminuam o custo fixo da barçaça.

- Melhorar os coletores solares e diminuir as perdas de energia.

- Estudar a secagem por tiragem induzida por chaminês para áreas não servidas por rede elétrica.

- Estudar se há economia de escala na barçaça, por exemplo, é mais vantajoso construir uma barçaça de 45 m² ou 3 de 15 m²?

- Usar outros materiais no telhado da barçaça (isolantes térmicos) que diminuiriam as perdas de energia por condução e convecção.

- Utilizando o programa de Thompson realizar várias opções para otimizar o equipamento, por exemplo, fazendo variar a vazão (mínima) em função da qualidade ou do mínimo consumo de energia.

- Realizar experiências com descanso do café durante a secagem, isto é, alternar intervalos de 16 horas de secagem com 8 horas de descanso, aumentando o tempo de descanso a medida que o produto seca.

8 - AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro concedido.

Ao Grupo de Energia da UNICAMP, na pessoa do Dr. João Meyer pelo auxílio inicial na montagem da experiência.

Ao Instituto Brasileiro do Café (IBC), na pessoa do Dr. Aldir Teixeira pela colaboração dispensada na obtenção do café e qualificação do produto beneficiado.

À Faculdade de Engenharia Agrícola pelas facilidades oferecidas no decorrer dos experimentos.

Ao Prof. Dr. Herbert Wirth pela orientação e colaboração na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gonzalo Roa pela orientação inicial da experiência.

Ao colega Ângelo Banchi pelo auxílio no manejo do terminal do computador.

Ao colega Evódio Vilela pelos esclarecimentos na secagem do café.

Ao colega Sílvio Rossi pela ajuda na condução dos experimentos e pelos dados fornecidos.

À Profa. Dra. Ruth Garrutti e sua equipe do laboratório de Análise Sensorial na qualificação do café.

Aos técnicos Dagoberto Favoreto Jr., Dario Oliveira e Antônio Otair Genésio, que ajudaram na montagem e condução dos experimentos.

À Maria Júlia Rodrigues pelo serviço de datilografia.

À Creusa Nomura pela revisão da bibliografia.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

9. BIBLIOGRAFIA

1. A.A.C.C. Approved methods of the American Association of Cereal Chemistry. St. Paul, 1975. v.2.
2. ABDUL-BAKI, A.A. & ANDERSON, J.D. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In: Kozlowsky, T. Seed Biology. New York, Academic Press, 1972. v.2, p. 283-309.
3. AMORIM, H.V. & AMORIM, V.L. Coffee enzymes and coffee quality. ACS. In: _____ . Enzymes in Food and Beverage Processing. 1977. (Symposium series, 47)
4. _____ ; CRUZ, A.R.; DIAS, R.M.; GUTIERREZ, L.E.; TEIXEIRA, A.A.; MELLO, M. & OLIVEIRA, G.D. Transformações químicas e estruturais durante a deterioração da qualidade do café. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 5 Resumos. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1977. p.15.
5. A PRODUÇÃO de café é estimada pelo IBC em 21,6 milhões de sacas. Gazeta Mercantil v.1: 10, 26 dez. 1979.
6. BACCHI, O. Seca da semente de café ao sol. Bragantia; Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. 14(22): 225-236, 1955.
7. BAKKER-ARKEMA, F.W.; LEREW, L.E.; DE BOER, S.F. & ROTH, M.G. Grain drier simulation. East Lansing, Agricultural Experiment Station, 1974. (Techn. bull., 224). p.80.
8. _____ ; BROOK, R.C. & LEREW, L.E. Advances in cereal science and technology. Logan, 1978. v.2.
9. BARBOSA, L.F.; TEIXEIRA, A.A. & CASTILHO, A. Um novo desmucilinizador do café despulpado. Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1962.

10. BARROS, F.M. & ARRUDA, V.A. Secagem racional de café. Boletim da Superintendência dos Serviços de Café. 29(325): 5-16, 1954.
11. BOYCE, D.S. Grain moisture and temperature changes with position and time during through drying. Journal of Agricultural Engineering Research. 10(4): 333, 1965.
12. _____. Heat and moisture transfer in ventilated grains. Journal of Agricultural Engineering Research. 11(4): 225, 1966.
13. BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W. & HALL, C.W. Drying cereal grains. Westport, AVI, 1974. Cap.7.
14. CAFÉ: o ano da geada. Conjuntura Econômica, 30(2): 88-90, 1976.
15. CULTURA do café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro, IBC, 1974.
16. FOOTE, H.E. A study of the drying of coffee on the terreiro. IBEC Research Institute. (30): 1-14, 1954.
17. FREITAS, M.F. Microbiologia do café: curso de especialização para classificador-provador de café. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1968.
18. Grupo de Energia. The UNICAMP program for solar drying and storing of agricultural products. Campinas, UNICAMP, 1979. 14 p.
19. HEINRICH, W.D. & ABRAHÃO, J. Pragas e doenças do cafeeiro. Boletim Técnico do Instituto Biológico de São Paulo. 1966.
20. HOTTEL, H.C. Solar energy. Chemical Engineering Progress. 71(7): 59, 1975.

21. HUKILL, W.V. Drying of grain. In: Anderson, J.A. & Alcock, A.W., ed. Storage of cereal grain and their products. St. Paul, American Association of Cereal Chemistry, 1954.
22. INFORME Associação Exportadores Brasileiros. Visão. p.124, 24 dez. 1979.
23. ITURRA, A.R.Q. Previsão da deterioração do café durante a pré-secagem em barcaças por convecção forçada com auxílio de coletores solares. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, 1979. 88 p. Tese (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
24. MIYA, E.E.; GARRUTTI, R.S.; CHAIB, M.A.; ANGELUCCI, E.; FIGUEIREDO, I. & SHIROSE, I. Defeitos do café e qualidade da bebida. Coletânea do Instituto Tecnologia de Alimentos. p.417-432, 1973/74.
25. MOREY, R.V.; KEENER, H.M.; THOMPSON, T.L.; WHITE, G.M. & BAKKER-ARKEMA, F.W. The present status of grain drying simulation. Logan, ASAE, 24 p., 1978. (ASAE technical paper, 78-3009)
26. NOBRE, G.W. & OLIVEIRA, J.A. Comportamento dos parâmetros peso, volume e umidade, durante a secagem do café em terreiro pavimentado. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 7., Araxá, 9-7/12/79. - Resumos. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1979. p.381.
27. PHILLIPS, A.L. A solar energy method for reducing coffee drying cost. Journal of Agriculture of University of Puerto Rico. 47(4): 226-235, 1963.
28. RIGITANO, A.; TOSELLO, A.; FERREIRA, O.S.; GARRUTTI, R.S. & JORGE, J.P.N. Influência do parcelamento na secagem do café. Bragantia, 23(24): 299-322, 1964.
29. ROA, G.M. & MACEDO, I.C. Drying of "Carioca" dry beans with solar energy in a stationary bin. St. Joseph, ASAE,

1976. 22 p. (ASAE paper, 76-302)

30. _____ & VILLA, L.C. Secagem e armazenamento de grãos e sementes em silos mediante a utilização de ar ambiental e com auxílio de coletores solares. Campinas, Grupo de Energia - UNICAMP, 1977. 51 p.
31. ROSSI, S.J. & ROA, G.M. Pesquisa sobre secagem e armazenamen de matérias primas alimentícias por meio de energia solar e ar natural. Academia de Ciência do Estado de São Paulo. (No Prelo).
32. São Paulo. Governo do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI). Boletim Técnico da Secretaria de Agricultura, 1962.
33. SANTOS, L.A. Construção e avaliação de um coletor armazenado de energia solar, não convencional, para aquecimento de ar na secagem de produtos agrícolas. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, 1980. 135p. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
34. SIVETZ, M. & FOOTE, H.E. Green coffee processing. In: _____ . Coffee processing technology. Westport, AVI, 1963. Cap.3.
35. SRINIVASA MURTHY, S.; KRISHNAMURTHY, M.V. & RAMACHANDRAN, A. Low intensity convective drying of non-hygroscopic porous materials of high initial moisture content. Chemical Engineering Science. 31: 975-983, 1976.
36. TEIXEIRA, A.A.-Colheita, preparo, armazenamento e classificação do café. Campinas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1979. 38 p.
37. _____ ; NOGUEIRA, V.S.; FALSARELLA, M.L.; BARALDI, D.; SELLSCHOP, J.; NUNES, J.B.P.; LACERDA, L.A.O. & BARCELLOS, L.C.R. Estudo das características técnicas e custos de secagem de secadores mecânicos para café.

In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 7.,
4-7/12/1979. - Resumos. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1979.
p.368.

38. _____; _____ & ARRUDA, H.V. Estudo dos diversos equipamentos para a secagem mecânica do café. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 5., pg. 234 Gurapari, 18-21/10/1977. - Resumos. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1977. p.234.
39. _____. Estudo preliminar sobre a qualidade do café no Estado de São Paulo safra 78/79. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 6., Ribeirão Preto, 24-27/10/1978. - Resumos. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1978. p.316.
40. _____; GARRUTI, R.S.; DORFMAN, E.; ROA, G.M. & VILLA, L.G. Influência de um novo processo de secagem com a utilização de energia solar em barcaças na qualidade do café. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 6., Ribeirão Preto, 24-27/10/1978. - Resumos. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1978. p.330.
41. _____; HASHIZUME, H.; NOBRE, G.W. & CORTEZ, J.G. O efeito da temperatura de secagem na caracterização dos defeitos provenientes de frutos colhidos verdes. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 7., Araxá, 4-7/12/1979. - Resumos. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1979. p.353.
42. THOMPSON, T.L.; PEART, R.M. & FASTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying, a new model. Transactions of the ASAE, p.582-586. 1968.
43. VAN ARSDEL, W.B. Simultaneous heat and mass transfer in a non-isothermal system. American Institute Chemical Engineering Symposium Series, n.16, 1955.
44. VILELA, E.R. Secagem de café com energia solar em terreiro e silo. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos e

Agrícola, 1977. 107 p. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.

45. VILLA, L.G.; RODRIGUES, N.S.; BRAUMBECK, O.; ROA, G.M. & BORGES, J.M. Secagem de cacau e café em barcaças com ar aquecido com energia solar. Revista Brasileira de Armazenamento 2 (2): 4-10, 1977.
46. _____ & ROA, G.M. Secagem e armazenamento da soja industrial e sementes a granel. Campinas, Fundação Cargill, 1979. 62 p.
47. _____; _____ & MACEDO, I.C. Simulação da secagem natural, e com auxílio de coletores solares, de soja em silos. In: Seminário Nacional de Armazenagem, 2., Brasília, CIBRAZEM, 1976. 20 p.
48. _____; _____ & DAHAB, R. Simulação matemática da secagem de café e cacau. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 7., Botucatu, 1978. - Resumos. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1978. 37 p.
49. VILLALOBOS, S.G. Determinação do efeito das variáveis da secagem em silos sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, 1977. 90 p. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
50. _____ & VILLA, L.G. Previsão da perda da qualidade fisiológica das sementes de soja durante a secagem e armazenamento em silos. Revista Brasileira de Armazenamento 3(3): 4-9, 1978.

APÊNDICE A

Condições ambientais e temperaturas do ar de secagem
durante os experimentos

Simbologia:

T.P. - termopares de acordo com fig. 7,a e 7,b.

H - hora local

UR - umidade relativa do ar ambiente, %

T_A - temperatura ambiente, °C

TABELA 1 - 1ª Experiência - 3000 Kg - Temperaturas do Ar na Barcaça (°C), e Condições Ambientais ((°C), (%)) Durante os Experimentos.

DATA	T.P. HORA	1	2	3	4	5	6	UR	T _A
2/6	17:30	16,86	17	17	16,61	16,36	16,11	58	16,6
3/6	8:30	13,10	12,11	12,86	14,11	13,36	13,61	79	11,2
	12:00	26,22	24,76	25,25	39,01	32,54	32,53	48	26,5
	17:00	22,80	24,02	24,02	23,78	23,78	23,28	47	25,0
4/6	9:00	19,33	19,09	19,34	20,82	20,08	20,34	67	20,0
	12:00	24,41	23,78	23,28	25,25	24,75	24,51	52	25,0
	16:30	22,67	23,53	23,28	23,53	23,53	23,28	53	23,0
5/6	10:30	19,55	19,34	19,59	20,58	20,08	20,34	61	19,0
	16:00	26,55	25,25	25,49	29,63	27,44	27,20	51,24	23,0
6/6	10:00	19,20	18,60	18,84	19,09	19,09	19,34	67	17,0

TABELA 2 - 2^a Experiência - 3000 Kg - Temperaturas do Ar na Barcaça (°C), e Condições Ambientais ((°C), (%)) Durante os Experimentos.

DATA	T.P. HORA	1	2	3	4	5	6	7	UR	T _A
6/6	18:30	26.22	26.71	27.44	27.69	26.71	26.71	33.50	69.56	18.0
7/6	9:00	19.59	18.84	19.59	20.58	19.83	20.33	21.56	69.56	19.0
	18:30	23.28	23.28	23.04	23.28	23.28	23.28	25.25	76.68	22.0
8/6	9:00	20.58	20.33	20.82	21.81	21.07	21.32	21.81	78.72	19.5
	18:30	18.84	18.84	18.84	18.84	18.84	18.84	20.08	87.37	17.0
9/6	9:00	20.33	20.20	20.45	21.32	20.82	21.56	21.81	88.39	19.0
	17:30	22.06	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	31.57	82.28	21.0
10/6	10:30	21.07	21.32	21.81	23.28	22.30	22.79	27.20	57.35	17.0
	17:00	21.07	21.56	22.06	22.79	22.79	22.55	22.79	57.35	19.5
11/6	16:30	13.61	13.86	15.61	19.59	18.35	18.35	16.11	53.28	24.0
12/6	9:00	17.60	17.60	18.10	22.30	18.60	18.60	19.09	75.67	17.0
	17:00	24.27	24.51	24.27	24.51	25.00	24.51	33.98	50.22	23.0
13/6	8:30	17.36	17.11	17.85	18.35	18.35	18.35	21.81	81.77	15.0

TABELA 3 - 3ª Experiência - 5000 Kg - Temperaturas do Ar na Barcaça (°C), e Condições Ambientais ((°C), (%)) Durante os Experimentos.

DATA	T. P. HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	UR	T _A
13/6	19:00	20.08	19.59	19.59	19.59	18.84	20.33	19.83	19.59	19.59	19.83	28.66	70.07	19.5
14/6	10:10	20.33	20.08	20.08	19.71	20.45	20.70	20.33	20.33	20.58	19.34	31.33	64.47	21.5
	17:00	30.60	30.36	30.60	30.60	30.84	31.57	32.05	32.54	30.05	28.66	37.82	43.10	26.0
15/6	8:30	18.10	18.35	18.35	17.85	16.36	18.35	18.35	17.85	18.35	17.36	25.98	73.63	17.0
	11:15	24.76	24.76	24.27	24.27	24.76	25.25	25.00	24.76	25.25	24.51	38.06	49.21	26.0
	16:00	30.12	30.12	29.63	30.60	31.57	30.12	31.57	31.81	30.84	29.39	41.15	44.12	28.0
16/6	9:00	20.08	20.33	20.08	20.08	20.08	20.58	20.58	20.33	20.58	18.84	28.17	68.03	19.0
	18:00	22.79	22.06	22.06	22.30	22.30	23.04	23.04	22.79	22.79	23.28	33.02	64.47	21.5
17/6	11:30	26.71	26.47	26.47	26.47	26.71	27.20	26.71	26.22	26.71	25.98	40.68	50.22	27.0
	18:30	23.04	23.04	23.04	23.04	22.79	23.28	23.28	22.79	22.06	23.28	35.18	72.61	22.0
18/6	12:30	28.66	28.66	28.47	28.66	28.66	29.15	28.66	28.66	28.66	28.17	42.34	43.10	29.0
19/6	9:15	20.08	20.08	20.08	20.33	20.20	20.70	28.58	20.58	20.58	19.59	26.47	67.52	23.5

TABELA 4 - 4ª Experiência - 5000 Kg - Temperaturas do Ar na Barcaça (°C), e Condições Ambientais ((°C), (%)) Durante os Experimentos.

DATA	T.P. HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	UR	T _A
23/6	13:30	29.63	28.17	28.66	28.90	29.87	29.63	27.20	27.44	28.42	26.71	43.52	48.19	29.5
24/6	9:00	22.06	21.81	21.81	21.32	21.81	22.30	22.30	22.06	22.06	21.32	31.57	69.55	22.0
	17:00	28.66	28.17	28.17	28.42	29.15	29.63	29.63	29.63	30.36	28.17	38.29	45.64	27.0
25/6	8:30	20.33	20.58	20.58	20.33	15.11	20.82	20.82	20.58	20.82	17.33	28.66	80.75	19.0
	16:30	32.05	32.78	33.02	32.53	33.26	32.53	33.50	33.02	31.81	30.12	39.25	44.12	28.5
26/6	8:30	17.60	17.85	17.85	17.85	12.36	18.10	17.85	17.85	18.10	14.86	25.74	83.81	16.5
	16:00	34.22	34.46	33.50	35.90	36.38	34.94	36.14	36.86	35.42	32.53	43.05	38.01	28.5
27/6	8:30	16.86	16.86	16.86	16.86	11.36	17.36	17.36	17.36	17.36	13.86	25.98	83.81	15.0
	16:30	32.53	33.02	32.78	34.46	35.42	33.98	33.50	33.50	32.78	33.02	40.68	39.54	28.0

TABELA 5 - 5ª Experiência - 2000 Kg - Temperaturas do Ar na Barcaça, ($^{\circ}\text{C}$), e Condições Ambientais ($^{\circ}\text{C}$), (%)), Durante os Experimentos.

DATA	T.P. HORA	1	2	3	4	5	6	7	UR	T _A
7/7	11:50	25.25	22.06	24.51	25.25	23.28	22.79	37.34	51.24	26.0
	17:30	26.22	25.25	26.22	26.22	25.74	24.76	40.68	60.40	25.0
8/7	10:00	24.27	23.78	24.27	24.51	23.78	23.28	41.15	62.44	23.0
	16:00	26.96	26.71	27.20	27.69	27.20	26.22	46.35	47.17	25.0
9/7	16:00	27.44	27.20	27.20	28.66	29.15	29.15	43.52	43.10	28.5

TABELA 6 - 6^a Experiência - 3000 Kg - Temperaturas do Ar na Barcaça (°C), e Condições Ambientais ((°C), (%)), Durante os Experimentos.

DATA	T.P. HORA	1	2	3	4	5	6	7	UR	T _A
13/7	18:00	22.79	21.07	21.07	22.55	22.06	21.07	34.22	63.45	22.0
14/7	10:45	20.58	18.84	19.59	20.82	19.83	19.34	30.84	64.47	21.5
	14:00	27.93	26.71	26.96	28.17	27.20	27.44	42.81	43.10	28.5
	18:00	23.04	22.55	22.55	22.79	22.79	23.04	37.58	53.28	23.0
15/7	15:00	19.83	19.83	19.83	20.33	20.08	19.83	34.46	79.74	20.0
16/7	10:00	20.33	20.58	20.58	21.00	21.07	20.58	33.74	74.65	20.0
	17:15	22.30	22.79	22.79	22.80	22.79	22.79	33.98	68.03	22.2
17/7	8:15	15.61	15.61	15.61	16.00	15.86	15.86	31.57	92.97	14.5

APÊNDICE B

Decréscimo do teor de umidade durante os experimentos

Simbologia:

- PEN. - Peneiras segundo fig. 9
- A,B,C,D - Caixas segundo fig. 9
- B.S. - Teor de umidade médio em base seca, %

TABELA 1 - I= Experiencia - 3000 Kg - Decrêscimo do Teor de Umidade (B.U.,B.S.) em (%), Durante a Experiência.

DATA	HORA	PEN.	A	B	C	D	B.S.
2/6	17:00	1	66.60	67.13	65.01	66.25	191.
		2	67.10	67.87	68.98	62.37	
		3	67.49	67.70	64.47	66.08	
3/6	8:30	1	61.07	62.14	59.13	59.21	148.
		2	62.77	64.51	61.91	60.56	
		3	65.22	66.41	62.72	63.87	
	12:30	1	58.73	59.76	56.54	56.81	134.
		2	60.39	62.52	59.95	58.29	
		3	63.70	65.66	61.77	62.57	
	16:30	1	54.00	55.58	51.98	52.25	112.
		2	56.01	58.54	55.68	54.02	
		3	60.03	57.63	57.66	58.65	
4/6	8:30	1	50.55	50.97	47.08	48.18	94.
		2	51.83	54.10	50.69	47.64	
		3	55.32	57.03	51.81	53.31	
	11:30	1	49.33	49.59	45.58	46.61	88.
		2	50.84	52.40	49.52	47.34	
		3	54.02	55.80	50.49	52.10	
	16:30	1	46.53	47.37	43.17	44.24	80.
		2	48.09	49.88	46.68	44.72	
		3	51.33	48.39	47.78	49.33	
5/6	9:30	1	44.55	44.95	40.90	42.04	73.
		2	45.90	47.39	44.06	42.00	
		3	48.45	49.52	44.42	46.21	
	13:30	1	42.22	42.67	38.43	39.24	66.
		2	43.53	44.81	41.57	39.19	
		3	46.22	47.06	41.92	43.47	
6/6	9:00	1	40.97	41.16	37.02	37.74	60.
		2	41.96	43.24	39.92	37.58	

TABELA 2 - 2ª Experiência - 3000 Kg - Decréscimo do Teor de Umidade (B.U.,B.S.) EM (%), Durante a Experiência.

DATA	HORA	A	B	C	D	B.S.
6/6	18:00	60.62	64.12	58.13	61.91	157
		61.33	64.31	59.55	61.59	
		60.21	62.48	59.10	60.60	
7/6	9:00	59.51	61.16	55.25	58.25	142
		58.76	61.40	57.45	57.97	
		58.55	61.15	56.52	58.62	
	18:00	53.13	56.75	46.80	53.69	117
		54.79	57.39	49.74	53.80	
		54.67	57.59	52.19	54.45	
8/6	9:30	47.93	51.87	43.96	48.57	100
		50.36	53.50	47.25	49.50	
		50.73	52.80	47.98	49.49	
9/6	8:45	45.84	50.40	42.42	47.29	93
		48.23	51.97	45.66	47.52	
		48.96	51.36	45.93	48.11	
	17:00	41.10	45.24	36.63	41.65	76
		43.69	46.52	40.26	42.06	
		43.75	46.95	40.99	43.14	
10/6	9:30	37.84	42.42	33.50	38.84	66
		40.56	43.31	37.14	39.06	
		40.73	43.36	37.60	39.71	
	17:30	35.45	39.71	30.82	36.39	59
		38.27	40.64	34.63	36.35	
		38.15	40.88	34.85	37.11	
11/6	17:00	32.88	36.73	27.64	33.15	48.4
		35.15	37.70	31.40	33.39	
		34.90	37.73	31.84	34.05	
12/6	8:30	32.88	36.73	27.64	33.51	47.1
		35.15	37.49	31.40	33.39	
		34.69	37.73	31.84	34.05	
	16:30	29.36	33.44	23.85	29.85	41.2
		31.71	33.76	27.83	29.41	
		31.30	33.99	28.29	30.17	
13/6	9:00	28.10	31.40	22.60	28.80	38.4
		30.47	31.85	26.66	28.14	
		29.59	32.46	26.76	28.60	

TABELA 4 - 4ª Experiência - 5000 Kg - Decréscimo do Teor de Umidade (B.U.,B.S.) em (%), durante a Experiência.

DATA	HORA	PEN.	A	B	C	D	B.S.	DATA	PEN.	A	B	C	D	B.S.
23/6	12:30	1	60.72	56.80	58.26	56.45	139.	26/6 8:00	1	22.21	21.40	23.12	22.55	
		2	58.34	57.54	57.42	57.24			2	24.35	22.88	22.64	24.80	
		3	60.53	57.36	57.91	56.92			3	26.36	24.20	25.96	25.21	34.1
		4	60.08	58.05	58.44	57.82			4	27.55	27.09	27.66	27.38	
		5	59.06	57.31	60.44	58.35			5	29.80	27.81	28.67	29.38	
24/6	9:30	1	38.64	37.02	38.21	38.39	70.	26/6 16:00	1	18.69	18.33	20.11	19.38	
		2	39.95	38.74	38.28	39.76			2	21.22	19.40	19.22	21.51	
		3	42.63	39.80	41.19	40.83			3	22.91	21.01	22.62	21.96	28.4
		4	44.23	42.84	43.03	42.57			4	23.75	23.99	24.63	24.26	
		5	48.22	44.11	44.41	45.32			5	26.60	24.67	25.19	25.95	
	16:30	1	32.79	31.22	32.95	32.23	56.	27/6 8:30	1	16.98	16.70	18.52	17.86	
		2	34.72	33.00	32.60	34.63			2	19.09	17.54	17.40	19.75	
		3	37.35	34.74	35.88	35.51			3	21.06	19.02	20.84	19.93	25.3
		4	38.87	37.69	37.96	37.66			4	21.40	21.77	22.28	21.73	
		5	41.40	38.85	39.33	39.59			5	23.93	21.84	22.87	23.56	
25/6	8:30	1	28.93	27.90	29.48	28.90	46.8	27/6 16:30	1	14.09	14.31	16.18	15.29	
		2	30.84	29.47	29.13	31.07			2	16.51	14.92	14.84	16.96	
		3	33.10	30.73	32.30	31.41			3	17.77	15.99	17.67	17.16	20.7
		4	34.33	33.64	34.05	33.75			4	18.24	18.81	19.59	19.03	
		5	36.42	34.62	35.39	35.66			5	21.06	18.78	20.40	20.42	
	16:45	1	24.59	23.42	25.36	24.44	38.5	28/6 9:00	1	13.34	13.96	15.84	14.96	
		2	26.47	25.03	24.76	27.10			2	15.84	14.58	14.18	16.64	
		3	29.01	26.67	28.03	27.48			3	17.08	15.68	17.34	16.84	18.1
		4	30.52	29.95	30.08	30.02			4	17.58	18.50	19.28	18.72	
		5	32.52	30.70	31.38	31.86			5	20.76	19.10	20.40	20.72	

TABELA 5 - 5^a Experiência - 2000 Kg - Decréscimo do Teor de Umidade (B.U., B.S.) em (%), Durante a Experiência.

DATA	HORA	PEN.	A	B	C	B.S.
7/7	11:00	1	56.16	54.87	53.25	120.
		2	55.27	55.25	52.63	
	17:00	1	43.15	41.47	39.70	75.
		2	46.33	44.95	40.99	
8/7	10:00	1	33.03	31.27	30.18	47.9
		2	34.59	34.15	30.96	
	16:00	1	27.14	25.38	24.20	36.7
		2	29.28	29.22	25.61	
9/7	16:00	1	21.02	19.02	18.37	25.7
		2	22.47	22.35	19.36	

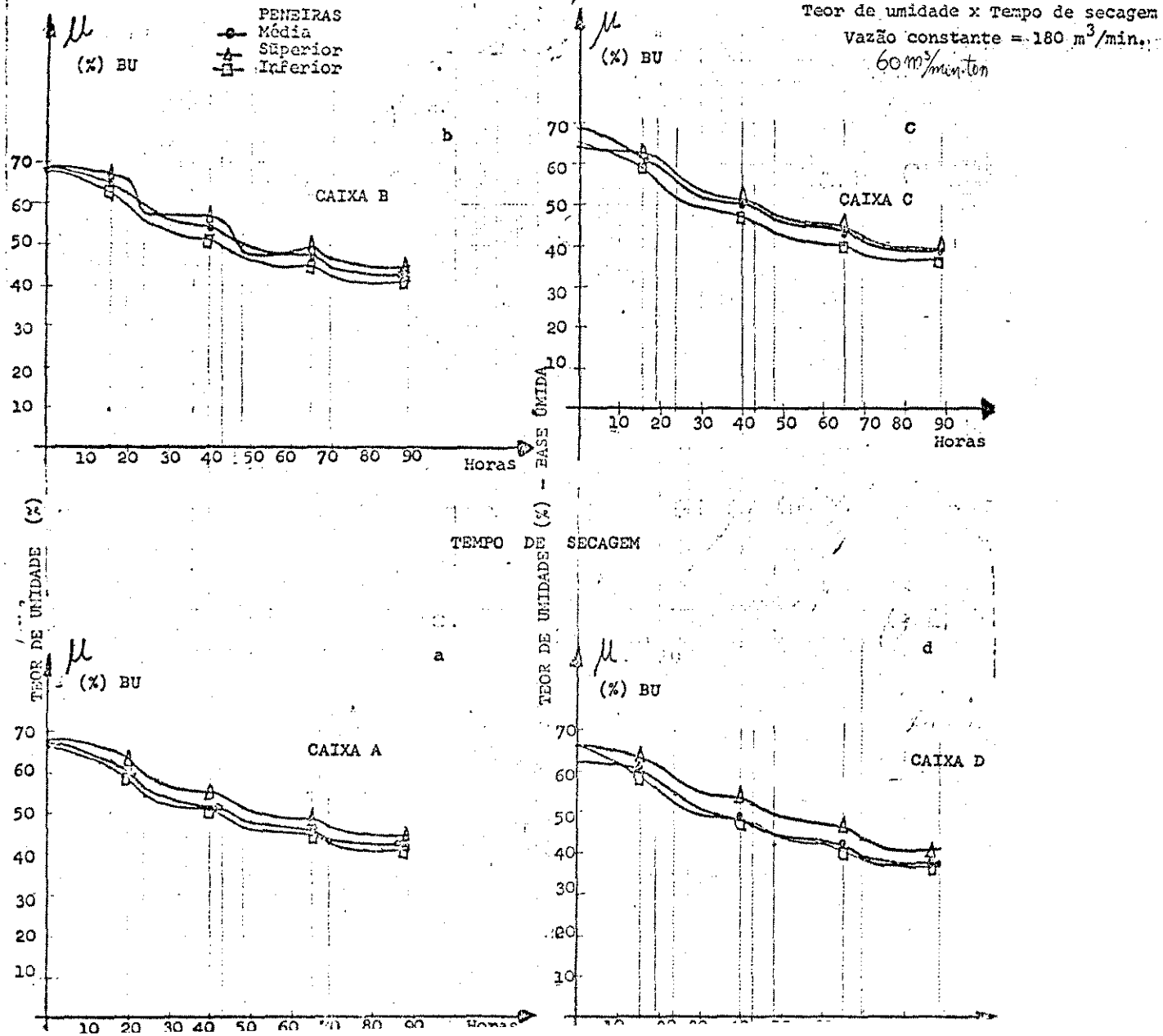
TABELA 6 - 6ª Experiência - 3000 Kg - Decréscimo do Teor de Umidade (B.U., B.S.) em (%), Durante a Experiência.

DATA	HORA	PEN.	A	B	C	D	B.
13/7	17:00	1	62.09	60.23	59.86	62.53	160 82.
		2	62.96	62.43	59.28	61.38	
		3	48.07	43.98	42.76	45.29	
14/7	9:30	1	48.58	47.13	45.15	50.74	114. 77.
		2	56.21	53.97	49.72	52.93	
		3	47.43	42.79	40.49	43.72	
	14:15	1	40.71	38.62	37.39	40.92	78. 58
		2	47.02	45.05	39.84	42.91	
		3	41.77	35.51	32.87	36.59	
	17:45	1	36.68	35.22	33.18	36.85	65. 50.
		2	42.55	40.80	35.10	38.81	
		3	38.45	32.28	29.12	33.36	
15/7	15:15	1	29.22	27.34	25.70	29.19	45. 37.
		2	34.31	32.63	27.15	30.80	
		3	32.49	26.10	22.51	27.40	
16/7	9:40	1	26.42	25.11	22.83	26.20	38. 32.
		2	30.61	29.10	23.51	27.47	
		3	29.86	23.55	19.67	25.08	
	17:30	1	23.08	21.32	19.71	22.96	32. 21.
		2	27.28	26.12	20.68	24.39	
		3	27.26	20.81	16.90	22.36	
17/7	8:30	1	19.75	17.27	16.34	19.41	26. 23.
		2	23.32	22.20	16.99	20.72	
		3	24.46	18.14	13.62	19.44	

APÊNDICE C

- Curvas de secagem dos experimentos
- Tempo de pré-secagem até 35%

FIGURA 1 - 1ª Experiência - CURVAS DE SECAGEM DE CAFÉ - 3000 Kg - Energia Solar



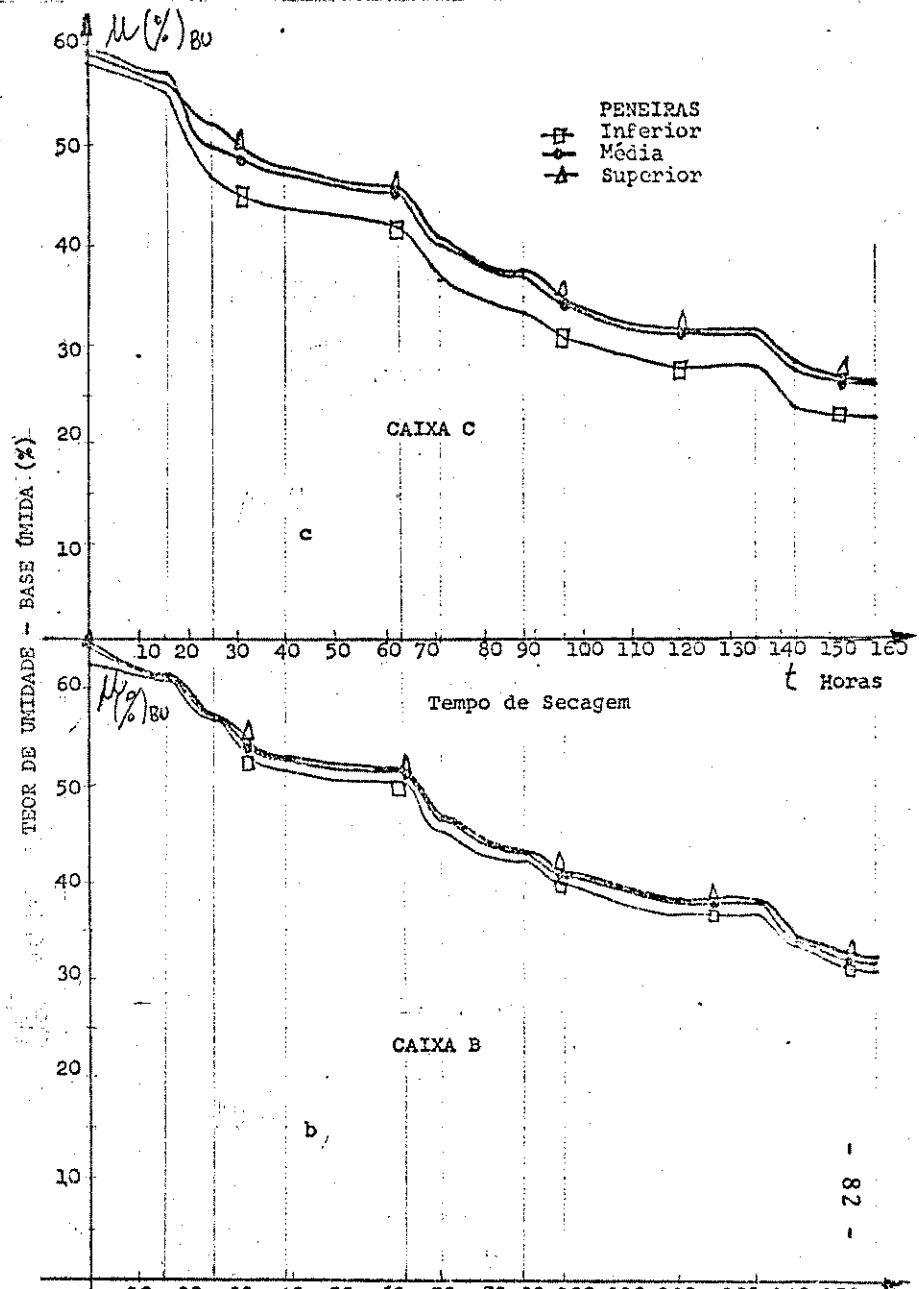
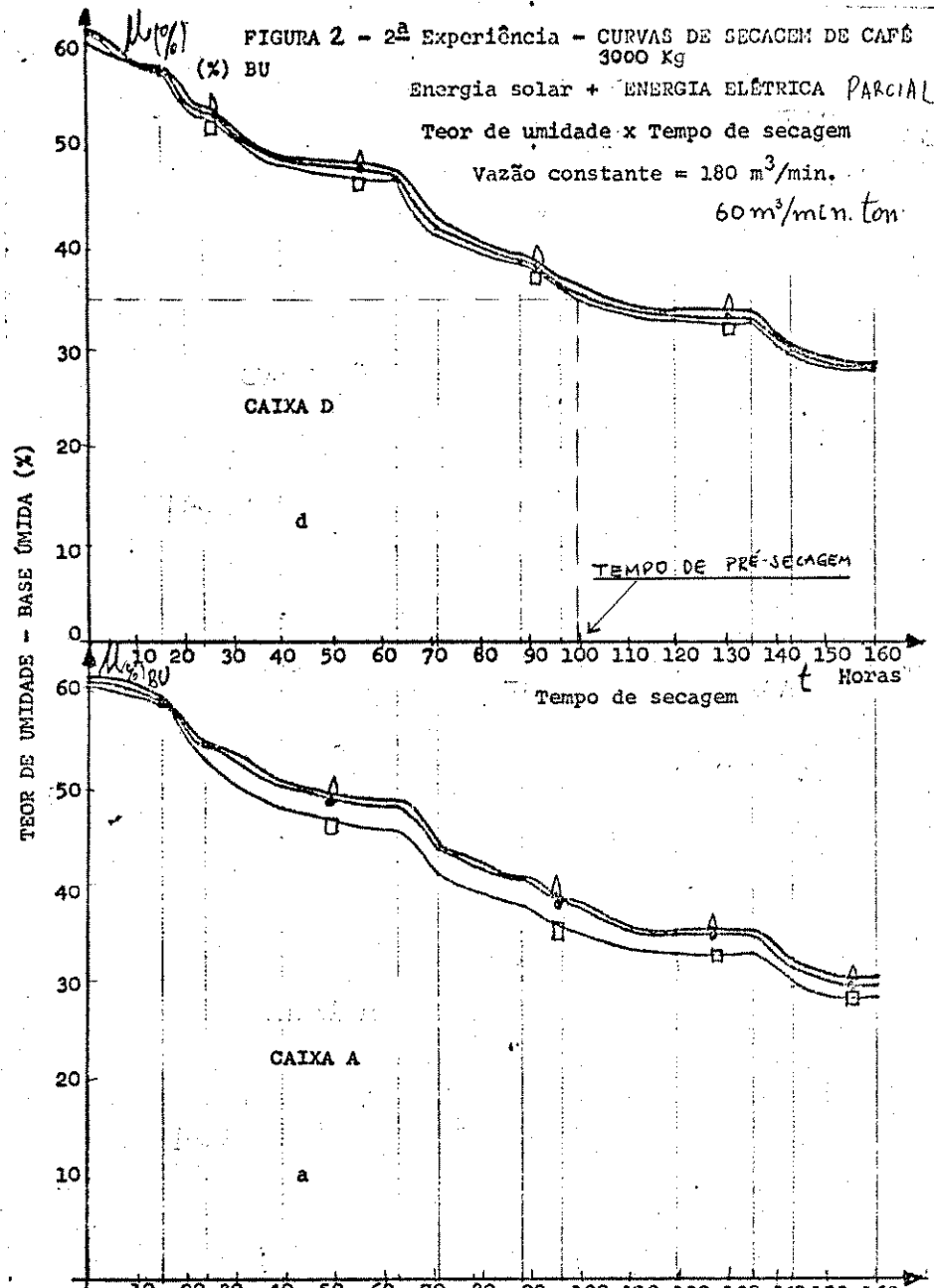
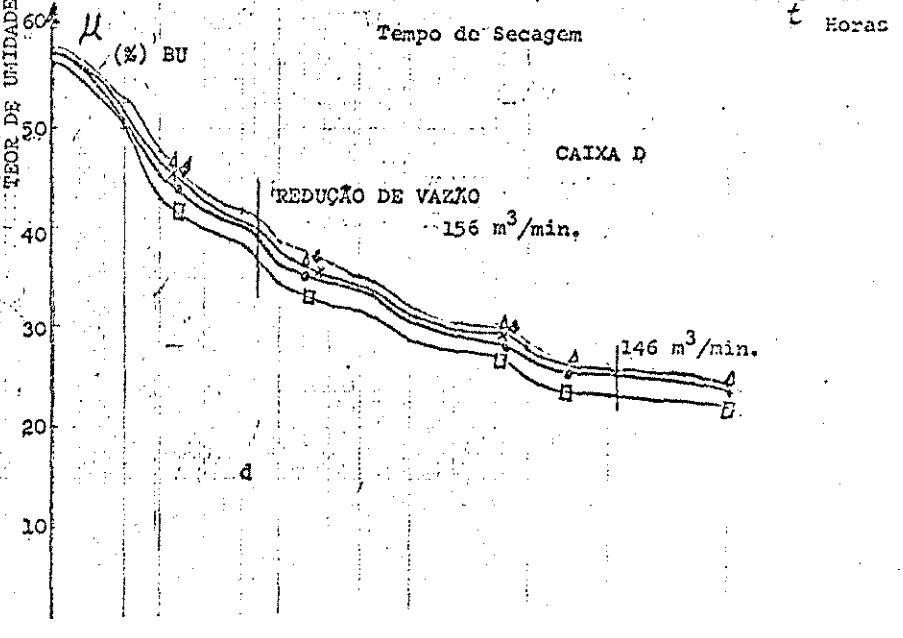
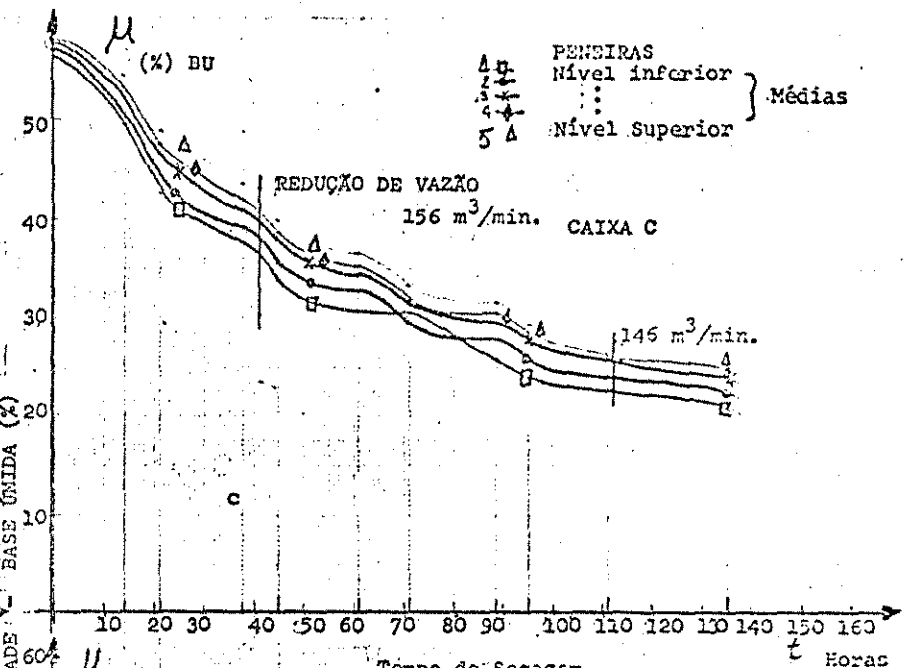
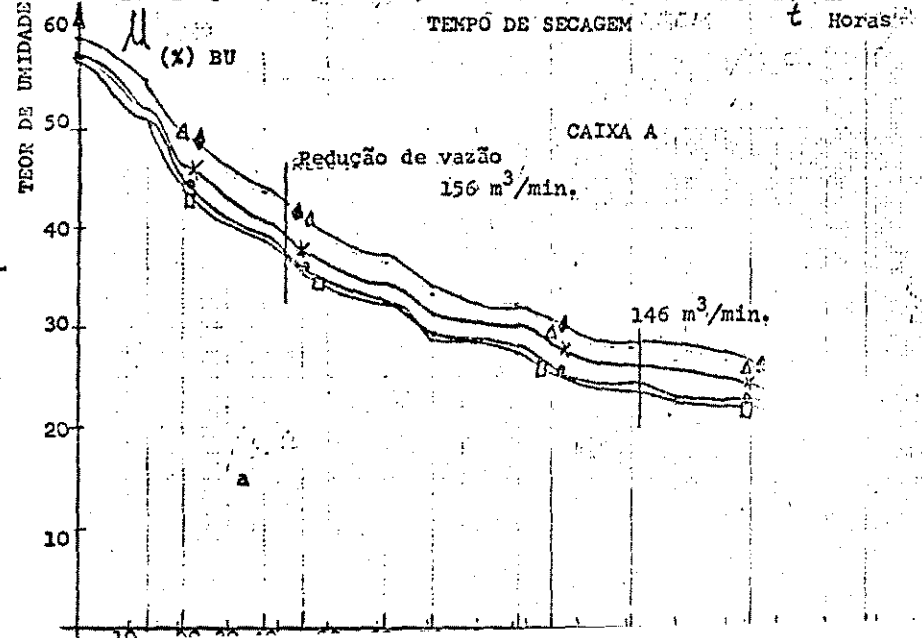
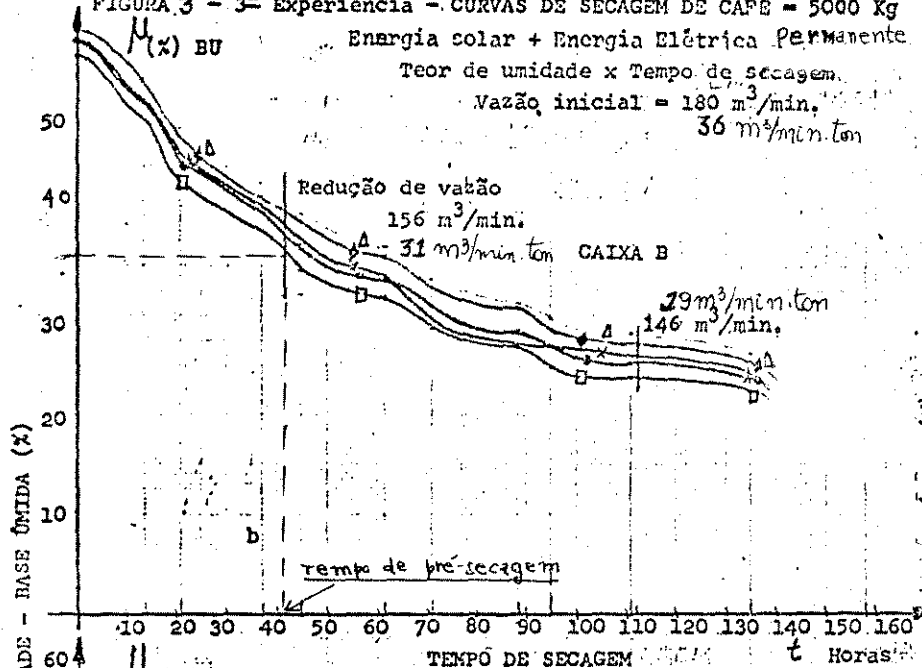


FIGURA 3 - 3ª Experiência - CURVAS DE SECAGEM DE CAFÉ = 5000 Kg

Energia solar + Energia Elétrica Permanente
 Teor de umidade x Tempo de secagem
 Vazão inicial = 180 m³/min.
 36 m³/min.ton



Δ μ PENSIRAS
 □ μ Nível inferior
 ○ μ :
 × μ :
 + μ :
 5 Δ Nível Superior } Médias

FIGURA 4 - 4ª Experiência - CURVAS DE SECAGEM DE CAFÉ - 5000 Kg

Teor de umidade x Tempo de secagem

Vazão constante = 180 m³/min. 36 m³/min. ton
 - Energia solar + Energia elétrica permanente

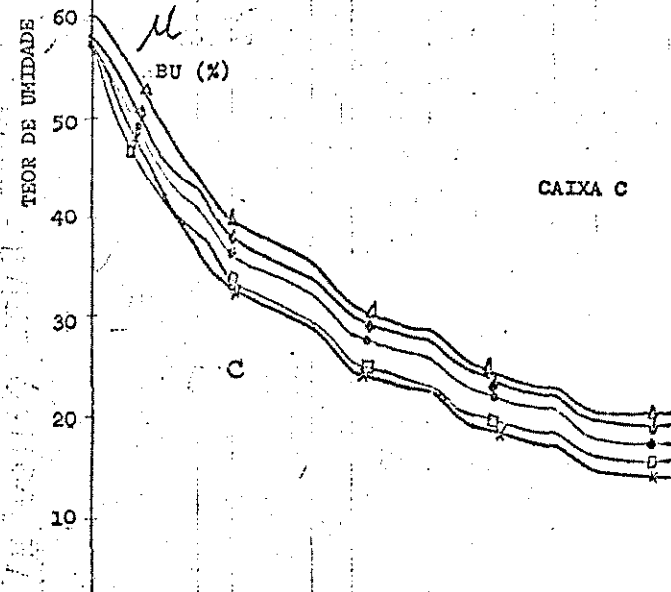
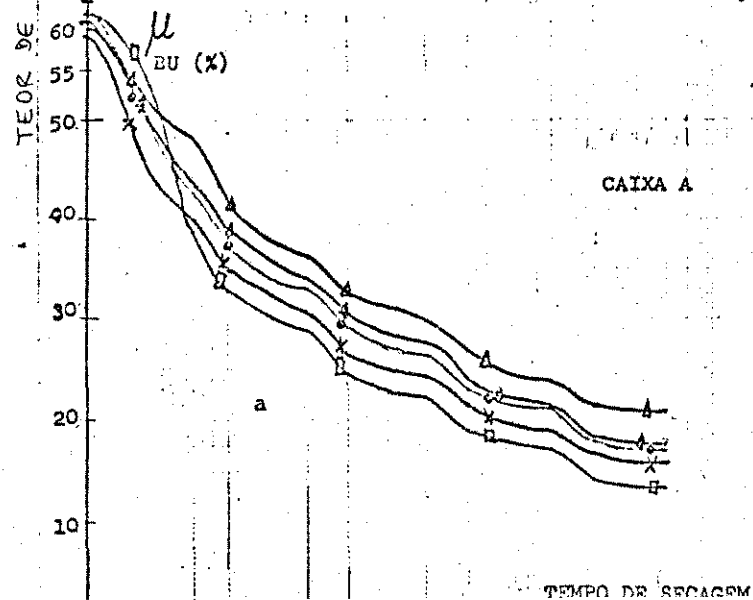
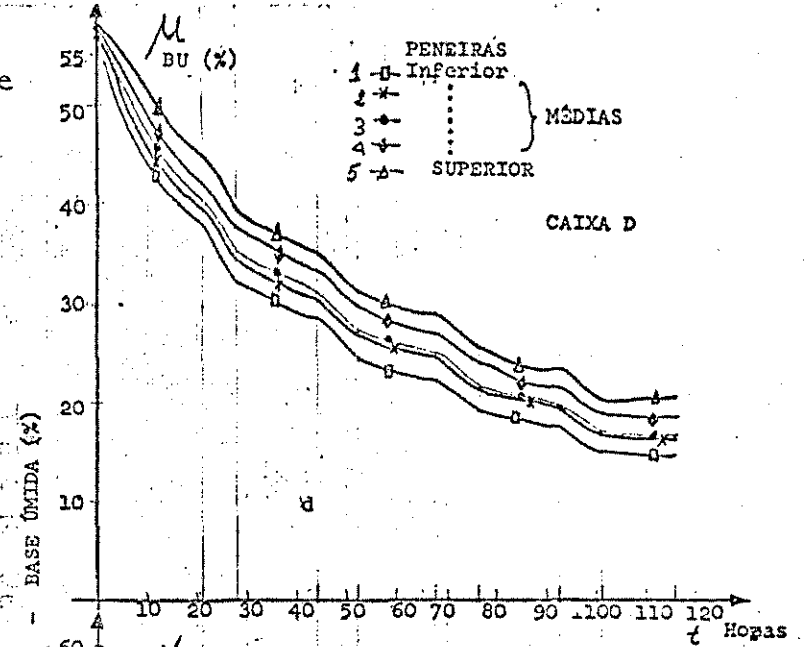
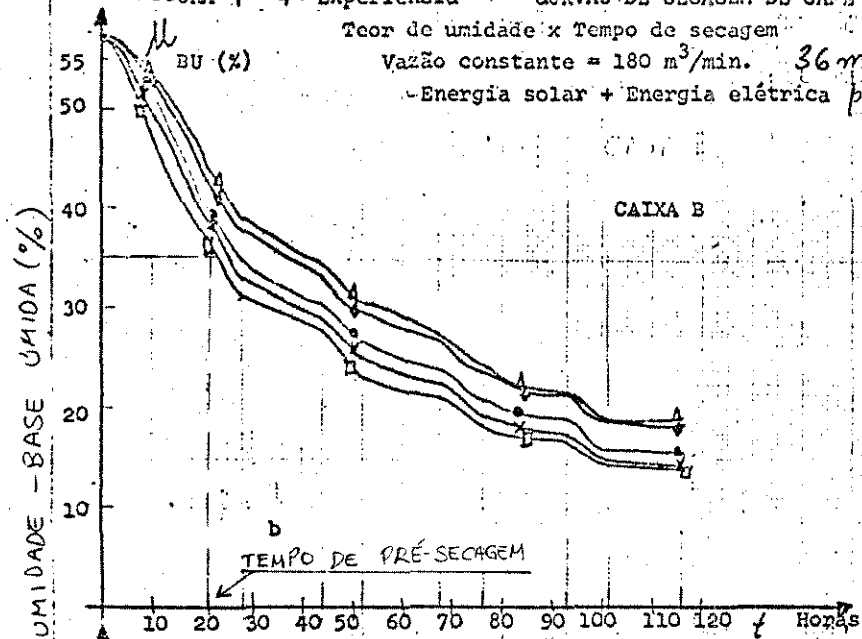


FIGURA 5 - Curvas de secagem de café

5ª Experiência - 2000 Kg

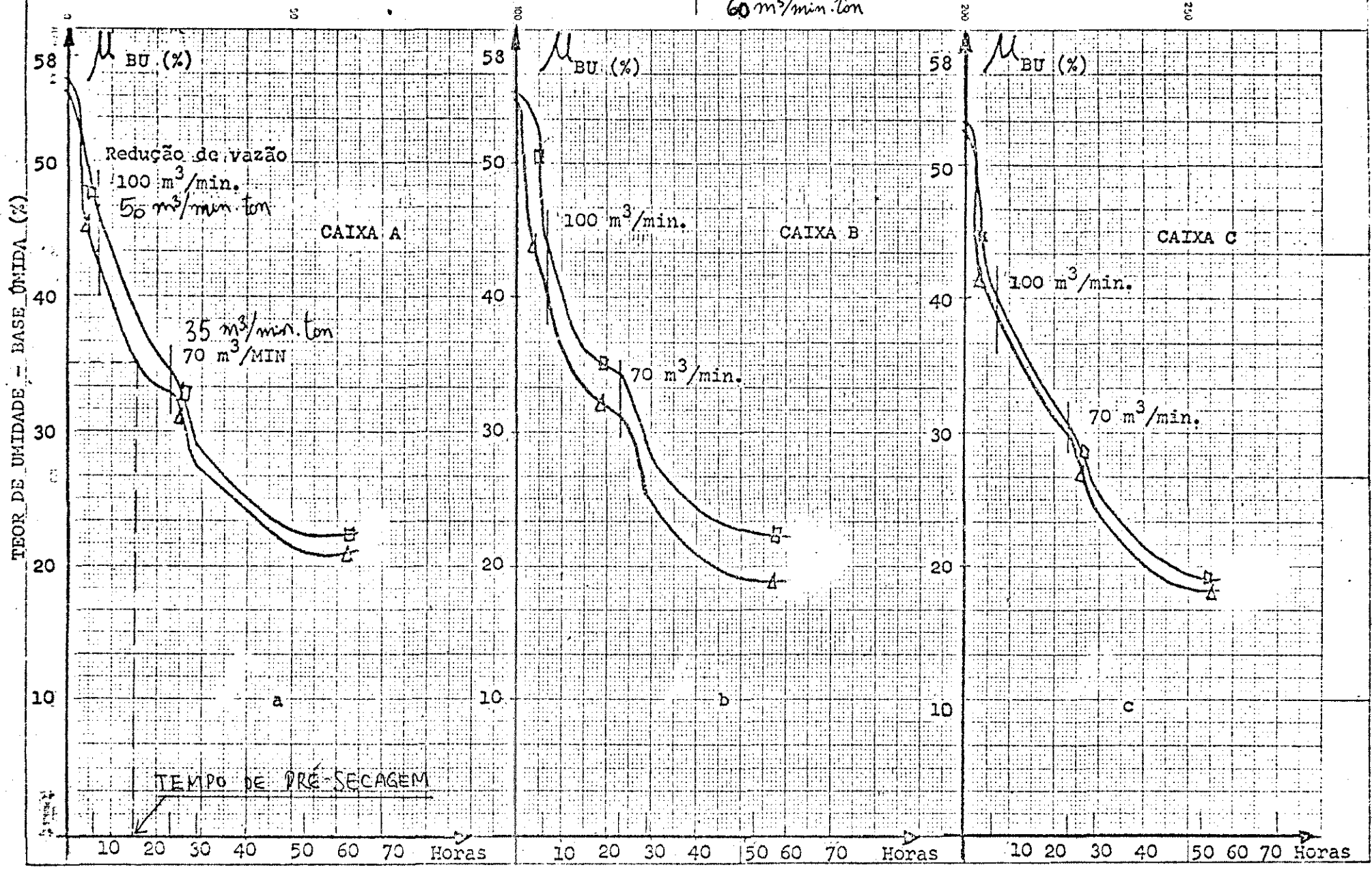
Energia solar + energia elétrica permanente

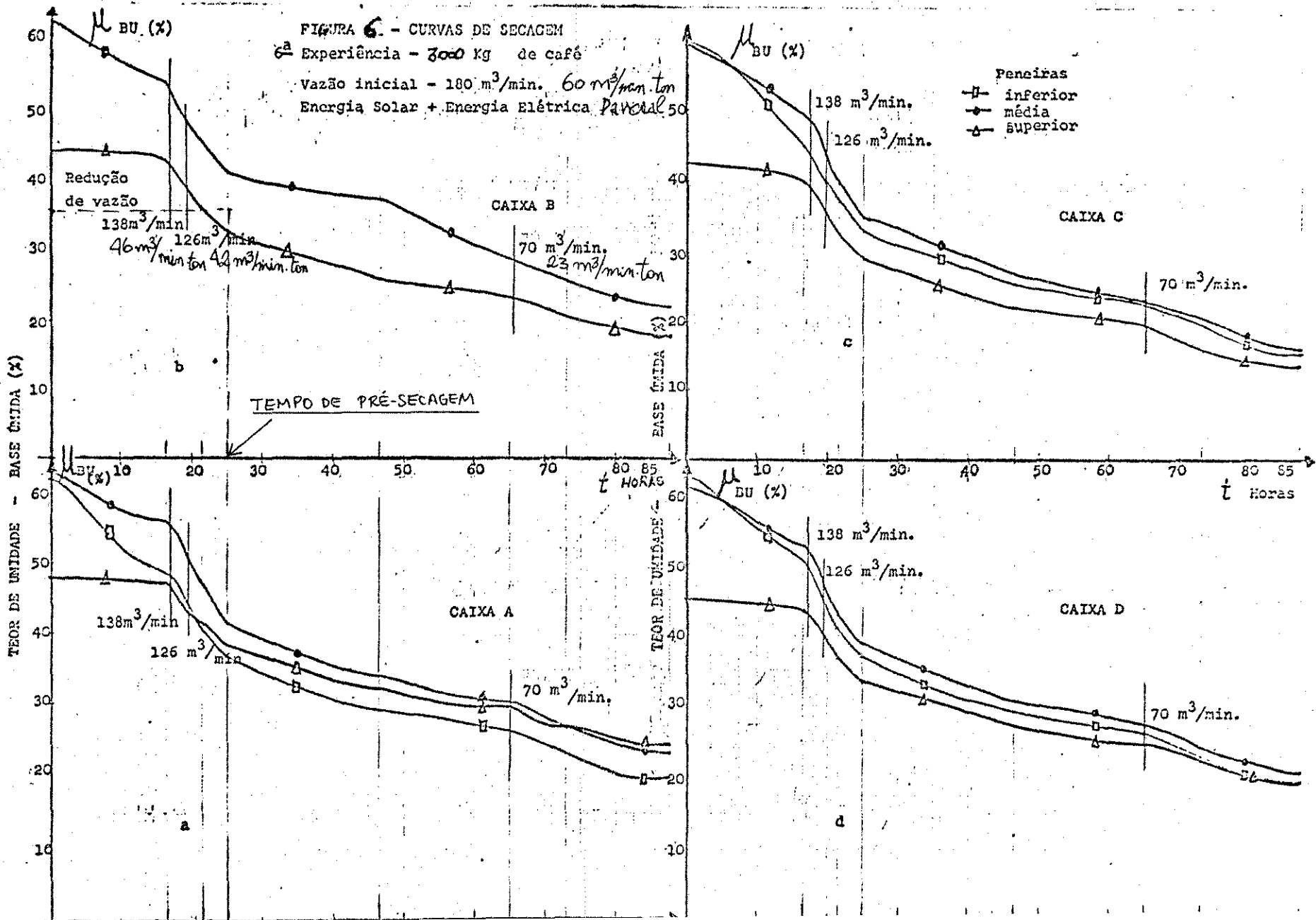
Peneiras

▲ Inferior

■ Superior

Vazão inicial = 120 m³/min.
60 m³/min.ton





APÊNDICE D

- Gráficos das temperaturas utilizadas na secagem
 - Acréscimos devidos a energia solar, energia elétrica, ar ambiente
-

FIGURA 1 - 1ª Experiência - Temperaturas utilizadas na secagem de café

Vazão constante = 180 m³/min.

- T_A ● Ar ambiente
- T_{BS} * Entrada da barçaça
- UR + Umidade relativa do ar

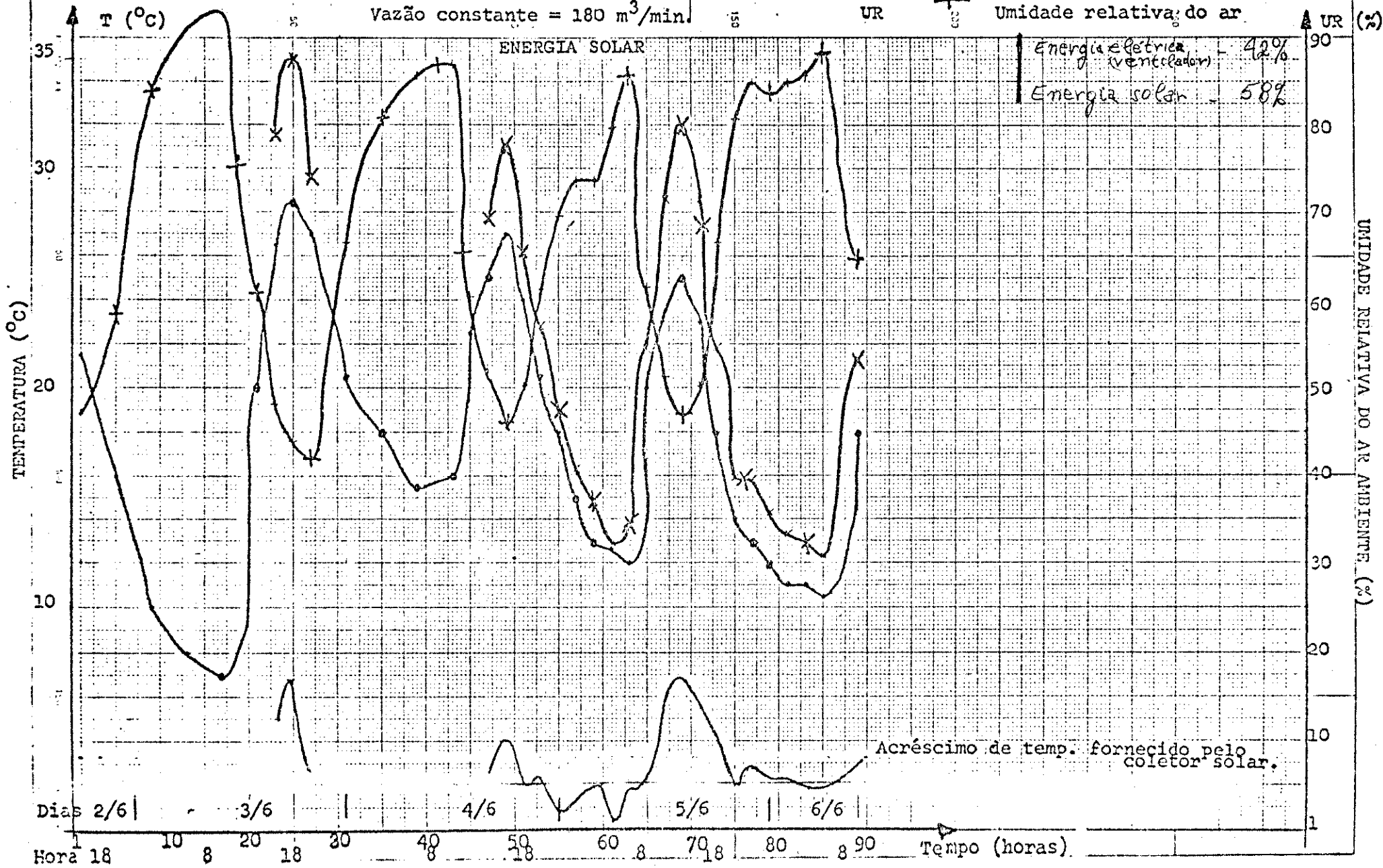


FIGURA 2 - 2ª Experiência - Temperaturas utilizadas na secagem de café
 Vazão constante = 180 m³/min.
 60 m³/min.ton
 Energia Solar + Energia elétrica

UR + Umidade relativa do ar
 T_{BS} * Entrada da barçaça
 T_A • Ar ambiente

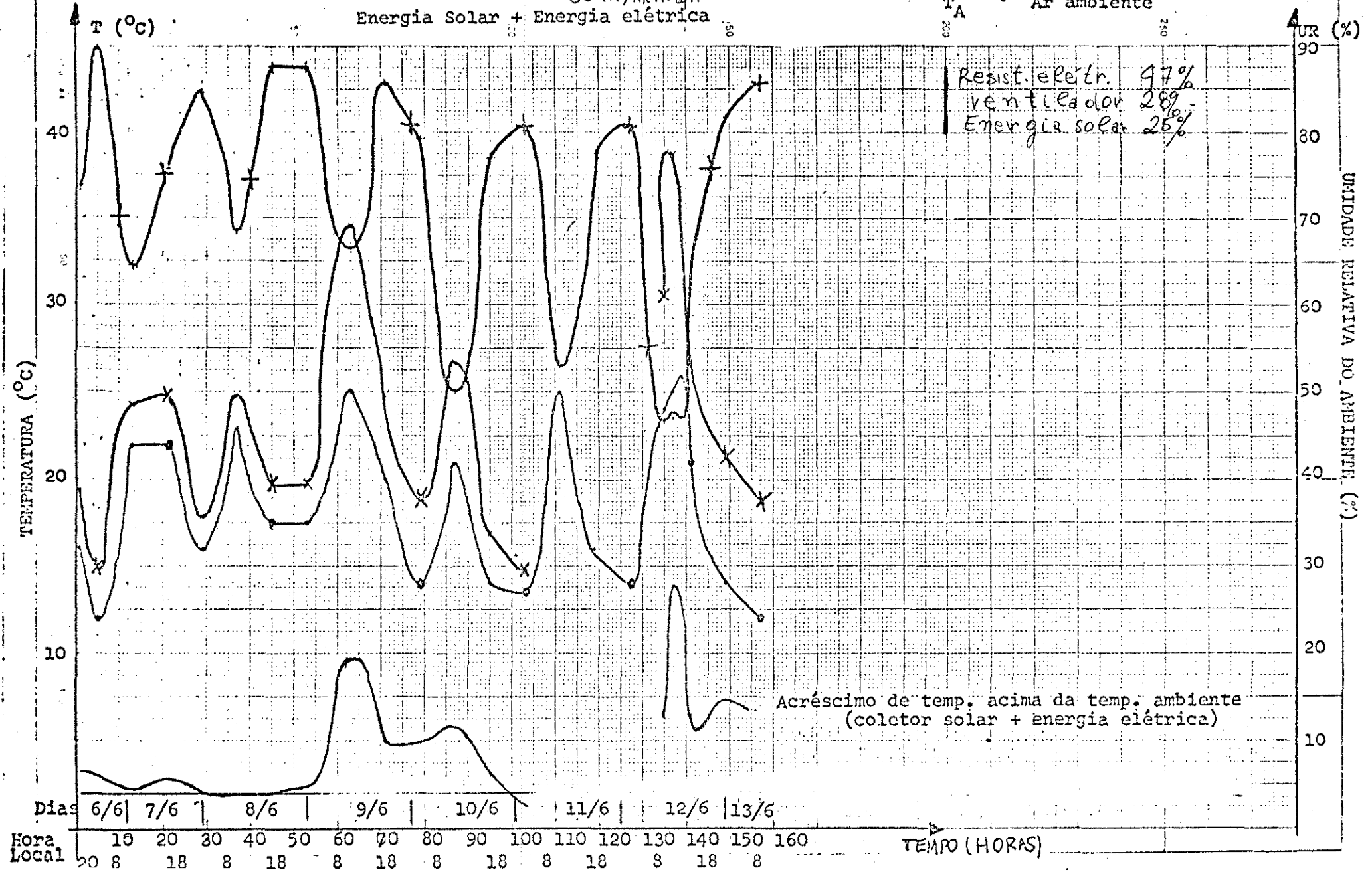


FIGURA 3 - 3ª Experiência - Temperatura utilizada na secagem do café

Energia solar + en. elétrica permanente Vazão inicial - 180 m³/min.
36 m³/min.ton

UR + Umidade relativa
T_{BS} x Entrada da barçaça
T_A o Ar ambiente

Resist. elétricas 47%
Ventilador 26%
Coletor 27%

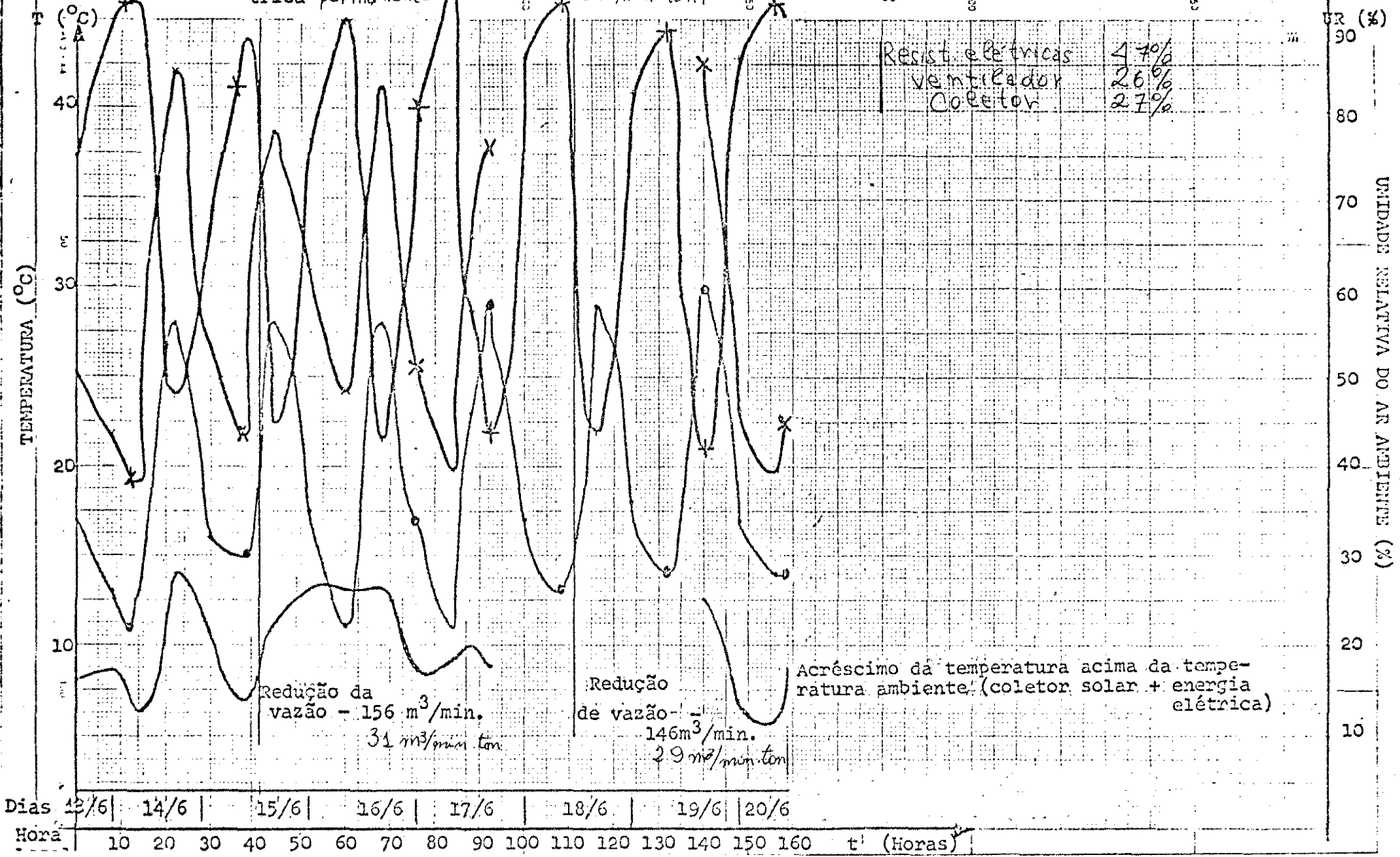


FIGURA 4 - 4ª Experiência - Temperaturas utilizadas na
ENERGIA ELÉTRICA PERMANENTE secagem de café

Vazão constante = $180 \text{ m}^3/\text{min.}$ $36 \text{ m}^3/\text{min. ton}$
Energia elétrica + energia solar

- T_A ○ Temperatura ambiente
- T_{BS} * Entrada da barçaça
- UR + Umidade relativa

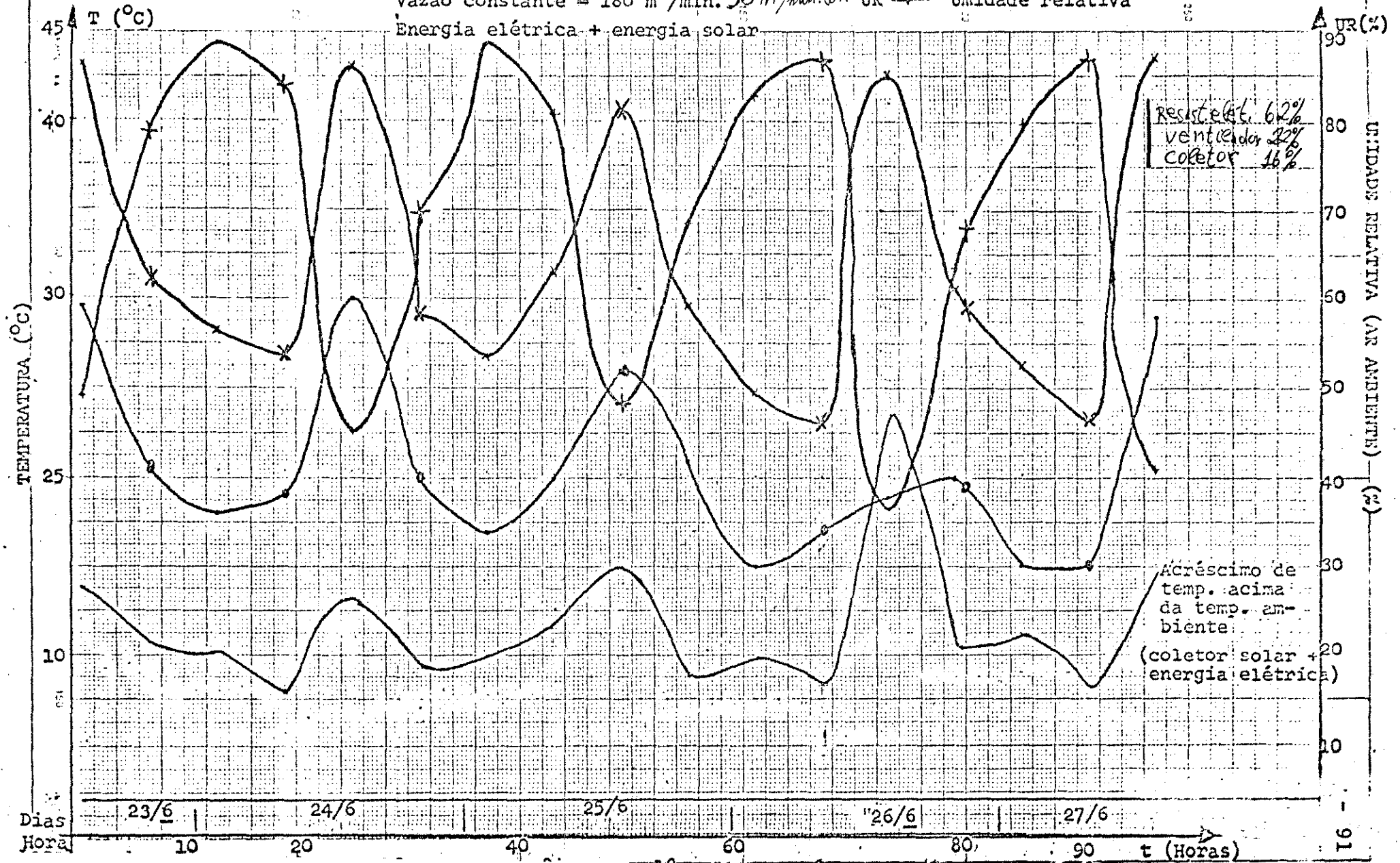


FIGURA 5 - Experiência 5 - Temperaturas utilizadas na secagem de café

T_A - Temperatura ambiente

T_{BS} - Entrada da barçaça

Vazão inicial = $120 \text{ m}^3/\text{min}$.

UR - Umidade relativa

Energia solar + Energia elétrica permanente

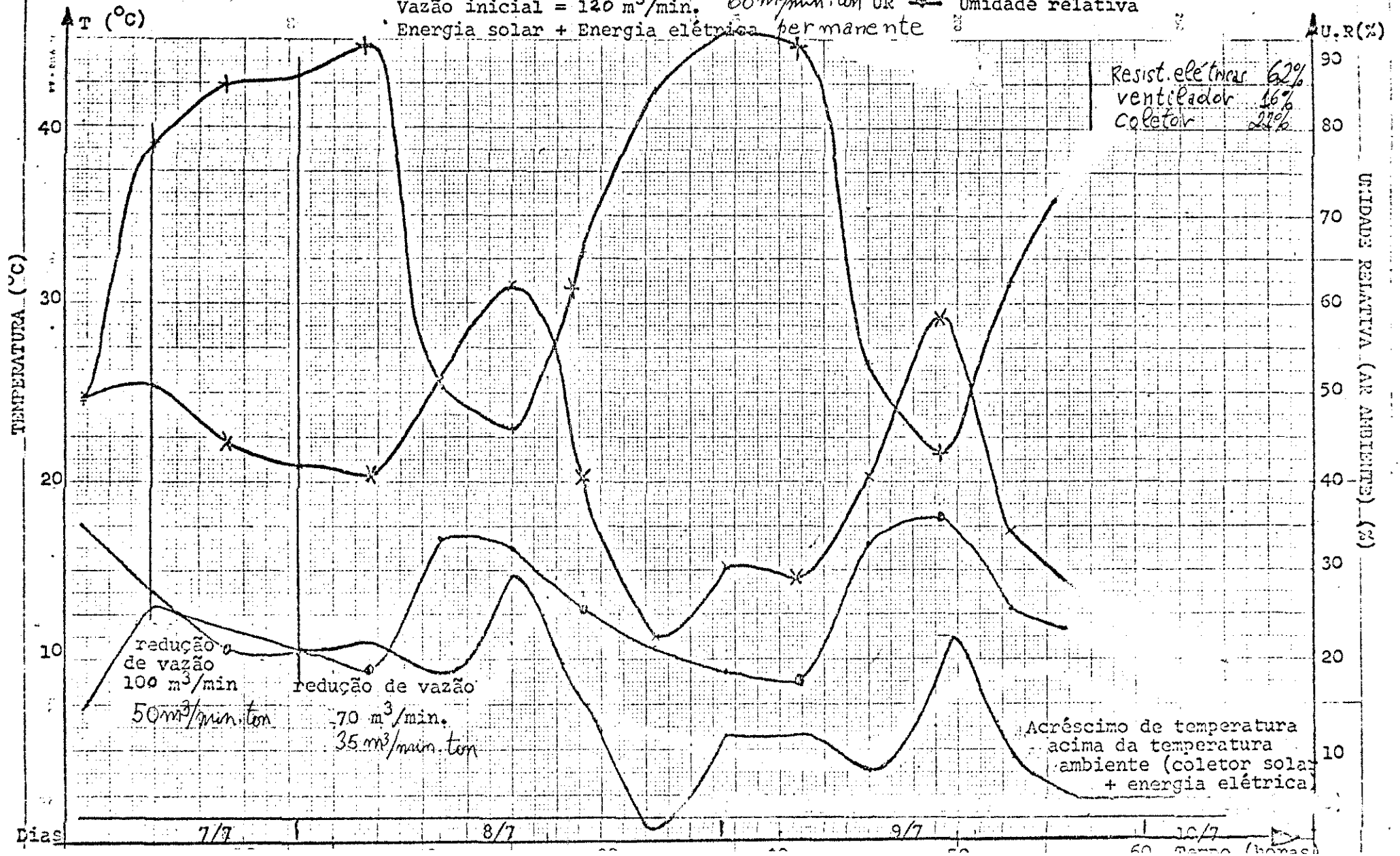
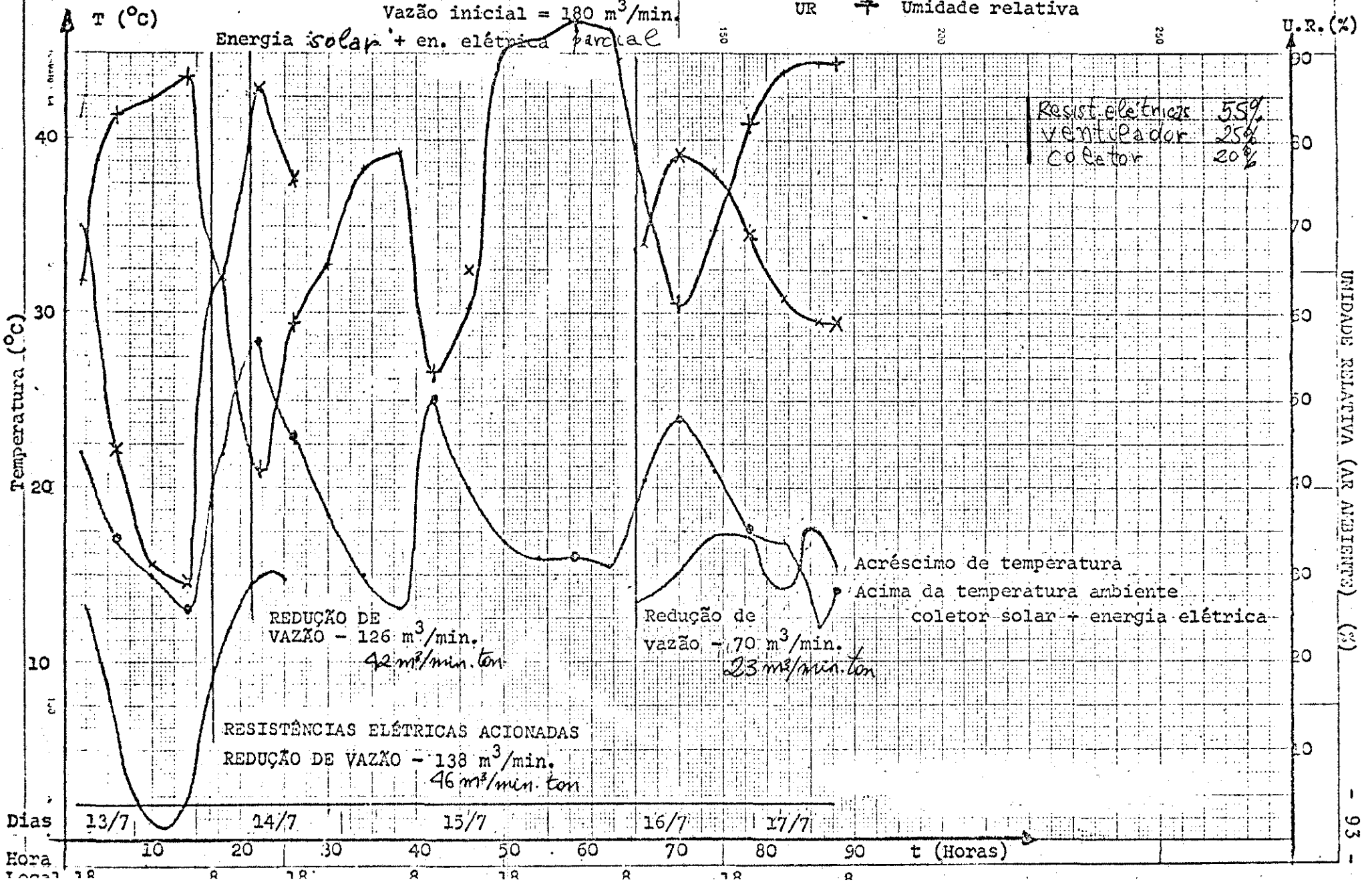


FIGURA 6 - 6ª experiência - Temperaturas utilizadas na secagem de café

T_A ○ Temperatura ambiente
 T_{BS} * Entrada da barçaça
 UR † Umidade relativa

Vazão inicial = $180 \text{ m}^3/\text{min}$.

Energia solar + en. elétrica parcial



UNIDADE RELATIVA (AR AMBIENTE) (%)

APÊNDICE E

Cálculo da eficiência energética incluindo energia mecânica.

$$\text{Eficiência} = \epsilon = \frac{\text{água evaporada} \times \text{calor latente de vaporização}}{(\text{energia elétrica} + \text{energia solar})} \quad (\text{item 5})$$

Bases de cálculo

calor latente de vaporização - 585 kcal/kg (vide pg.53)
funcionamento do coletor solar - 8 a 10 horas/dia (33)
aumento médio de temperatura - 5,8°C para 180 m³/min.
aumento médio de energia - 18,5 kw
consumo do ventilador - 6 kw.h (medido)
1 kw.h - 864 kcal

- 1ª Experiência

dados	3000 kg	coletor.....740 kw.h (58%)
	180 m ³ /min	ventilador... <u>540</u> kw.h (42%)
	90 horas	1280 kw.h

água evaporada - 1400 kg

$$\epsilon_1 = \frac{1400 \times 585}{1280 \times 864} = 0,74 \text{ ou } \underline{\underline{74\%}}$$

- 2ª Experiência

dados	3000 kg	coletor.....888 kw.h (25%)
	180 m ³ /min	resistências elétricas..1630 kw.h (47%)
	160 horas	ventilador..... <u>960</u> kw.h (28%)
		3478 kw.h

água evaporada - 1365 kg

$$\epsilon_2 = \frac{1365 \times 585}{3478 \times 864} = 0,27 \text{ ou } \underline{\underline{27\%}}$$

- 3ª Experiência

dados	5000 kg	coletor..... 814 kw.h (27%)
	180 m ³ /min	resistências elétricas..1470 kw.h (47%)
	156 m ³ /min	ventilador..... <u>810</u> kw.h (26%)
	146 m ³ /min	3094 kw.h
	135 horas	

água evaporada - 2272 kg

$$\epsilon_3 = \frac{2272 \times 585}{3094 \times 864} = 0,47 \text{ ou } \underline{\underline{47\%}}$$

- 4ª Experiência

dados	5000 kg	coletor.....	518 kw.h (16%)
	180 m ³ /min	resistências elétricas..	2000 kw.h (62%)
	117 horas	ventilador.....	<u>700</u> kw.h (22%)
			3218 kw.h

água evaporada - 2317 kg

$$\epsilon_4 = \frac{2317 \times 585}{3218 \times 864} = 0,49 \text{ ou } \underline{\underline{49\%}}$$

- 5ª Experiência

dados	2000 kg	coletor.....	407 kw.h (22%)
	120 m ³ /min	resistências elétricas..	1160 kw.h (62%)
	100 m ³ /min	ventilador.....	<u>300</u> kw.h (16%)
	70 m ³ /min		1867 kw.h
	52 horas		

água evaporada - 847 kg

$$\epsilon_5 = \frac{847 \times 585}{1867 \times 864} = 0,31 \text{ ou } \underline{\underline{31\%}}$$

- 6ª Experiência

dados	3000 kg	coletor.....	444 kw.h (20%)
	180 m ³ /min	resistências elétricas..	1200 kw.h (55%)
	138 m ³ /min	ventilador.....	<u>528</u> kw.h (25%)
	126 m ³ /min		2172 kw.h
	70 m ³ /min		
	88 horas		

água evaporada - 1342 kg

$$\epsilon_6 = \frac{1342 \times 585}{2172 \times 864} = 0,42 \text{ ou } \underline{\underline{42\%}}$$

As médias por equipamento foram:

coletor.....	28%
resistências elétricas..	55%
ventilador.....	27%

A eficiência média foi : 46%