

SECADORES DE PIMENTA DO REINO

UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

40/79

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

SECADORES PARA PIMENTA DO REINO  
UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

Orientador: Prof. Dr. ISAIAS DE CARVALHO MACEDO

Co-orientador:- Prof. Dr. JOAQUIM SEVERINO DE PAIVA NETTO

RICARDO NICOLAU NASSAR KOURY

Trabalho apresentado à Comissão de Pós-  
Graduação da Faculdade de Engenharia de  
Campinas, como parte dos requisitos pa-  
ra a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Mecânica.

CAMPINAS

1979

Aos meus pais,  
Nicolau e Nayle.

## AGRADECIMENTOS

Aos Professores Doutores *Isaias de Carvalho Macedo* e *Joaquim Severino de Paiva Netto*, orientadores desta tese.

Ao Professor Doutor *Kamal Abdel Radi Ismail*, Comissão de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Mecânica.

Ao Professor Doutor *Luiz Gabriel Villa*, pelo incentivo e auxílio no desenvolvimento desta tese.

Ao *Angelo Bianchi*, pela sua colaboração no trabalho de computação.

Aos amigos que incentivaram e auxiliaram durante todo o desenvolvimento da tese.

## SUMÁRIO

Foi realizado um estudo da secagem da pimenta do reino com o ar aquecido através de coletores solares.

O coletor solar e a câmara de secagem foram projetados de maneira a obter um bom desempenho e aceitação comercial na secagem da pimenta do reino.

### ABSTRACT

It was studied the drying of pepper (*piper nigrum*) with hot air supplied by a solar collector.

The solar collector and the drying chamber as well as the air flow were dimensioned to servie a good commercial drying of the pepper.

## Í N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Industrialização .....	1
1.2. Produção de Pimenta Branca .....	3
1.3. Produção de Pimenta Preta .....	3
2. OBJETIVO .....	4
3. METODOLOGIA .....	4
a) Curva de Umidade de Equilíbrio .....	5
b) Curvas de Secagem em Camada Delgada .....	7
c) Calor Latente de Vaporização .....	8
d) Calor Específico .....	8
4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....	10
4.1. Curvas de umidade de equilíbrio .....	10
4.2. Curvas de secagem em camadas delgadas .....	12
4.3. Curva de perda de carga para a pimenta do reino ...	12
4.4. Curva de eficiência dos módulos coletores .....	17
4.5. Simulação da secagem .....	17
5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS .....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

## 1. INTRODUÇÃO

A pimenta do reino foi introduzida no Brasil pelos portugueses na época do Brasil colônia.

A planta tem grande porte, folhas largas, produzindo cachos de frutos com muita polpa, sementes pequenas e poucos cachos por pé; possui uma boa resistência às pragas e doenças, tendo em vista que algumas pimenteiras vegetam por mais de 16 anos [1].

Em 1933, a pimenta do reino foi introduzida em Tomé-Açu, no Estado do Pará - a "Piper-Nigrum L" , trazida pelos japoneses em estação , vindas de Singapura.

A pimenta do reino é uma cultura muito exigente e sua produção está intimamente ligada com os tratos culturais [2]. A produção oscila entre dois a seis quilos de pimenta por árvore, levando-se em consideração o tutor (estação) de dois metros e vinte de altura.

A colheita da pimenta do reino na região amazônica, tem início no mes de agosto quando é procedida a primeira "cata" dos cachos maduros, prolongando-se esta colheita até o mes de outubro ou novembro conforme a incidência das chuvas. Muita chuva acarreta uma colheita prolongada e maior de água - pouca chuva, safra curta e percentagem menor de água. Nesta região a precipitação pluvial ainge 2,8 m por ano e a umidade relativa média fica acima de 85%.

Na Tabela (1), mostramos os dados sobre a produção de pimenta do reino no Estado do Pará nos anos 1976/77; os principais produtores, e a produção total.

### 1.1. Industrialização

A pimenta do reino quando colhida verde, perde 90% de água, produzindo uma pimenta chôcha depois de seca. Hoje já há companhias que estão explorando a pimenta ainda verde, salgando-as e exportando-as para consumo de mesa.

A pimenta quando colhida madura é debulhada e selecionada através de peneiras, sendo as mais maduras usadas para fazer a pimenta branca, que é em geral mais aceita obtendo um melhor preço no mercado.



PRODUTORES	PRODUÇÃO 1976	PRODUÇÃO 1977
TOMÉ-AÇÚ	6952 ton	9830,2 ton
NOVA TIMBOTEUA	2550 ton	3000 ton
IGARAPÉ-AÇÚ	1855,8 ton	2900,6 ton
CURUÇÁ	2531 ton	2480 ton
SÃO FRANCISCO DO PARÁ	2240 ton	1530 ton
OUTROS	12183,3 ton	14825,4 ton
TOTAL	28312,1 ton	34566,2 ton

Tabela 1 - Dados sobre a produção de pimenta do reino no Estado do Pará nos anos 1976/77, principais produtores e a produção total.

### 1.2. Produção da Pimenta Branca

A pimenta madura é colocada em sacos plásticos tecidos e posta em tanques de água para maceração por 10 ou 12 dias. Retirada da água é passada por despoldadores e lavada, em seguida é levada ao sol em lonas de plástico, até a sua completa secagem.

O peso da pimenta branca se reduz a 25% depois de ventilada e o teor de umidade é 15%.

### 1.3. Produção da Pimenta Preta

Depois de debulhada é colocado em tanques de cimento cobertos por lonas plásticas durante 30 horas aproximadamente, para sofrer um cosinhamento natural alcançando uma temperatura média de 70°C embaixo da lona, com a finalidade de melhor apresentação, isto é, de cor mais uniforme, e de reduzir o tempo de secagem ao sol. Em seguida é espalhada em tanques de cimento ou plásticos, em camadas pouco espessas e mexidas com rodo por mais ou menos 3 dias, produzindo 36% em peso de pimenta seca após a ventilação, o seu teor de umidade final é de 15%.

Para secagem mecânica são utilizados na região tres tipos de secadores comerciais, principalmente: Torres, D'Andréa e Ferraz.

O secador Torres tem capacidade de pimenta verde de 5 a 6 toneladas. O tempo necessário para secagem é de 12 horas a uma temperatura que varia de 160°C a 80°C.

Este processo dispensa ventilação e é utilizado por grandes produtores em decorrência do alto custo do secador.

É usado como fonte de calor a madeira, o que apesar de dar um bom aspecto, altera o sabor da pimenta para pior.

O secador D'Andréa tem capacidade de pimenta verde de 4,3 toneladas, sua temperatura inicial é de 160°C por seis horas ; 140°C por duas horas e 100°C por mais duas horas. Quando é retirada a pimenta é posta ao sol por 14 ou 15 horas.

Este secador em decorrência de trabalhar com elevadores, tritura muito a pimenta, razão pela qual ela é retirada com 10 horas e colocada ao sol, para atingir o ponto desejado. Neste caso a pimenta tem que sofrer ventilação.

O secador Ferráz tem o mesmo processo do anterior, com a mesma capacidade e inconvenientes, visto ser a fonte de calor a madeira.

Na opinião dos produtores consultados, seria considerado ideal para a secagem de pimenta do reino utilizar como fonte de calor a eletricidade ou o "calor solar", por não influiem no sabor da pimenta, mantendo inalterado o índice de consticidade.

## 2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é verificar as possibilidades de utilização de energia solar como insumo para a secagem de pimenta no Pará em escala compatível com a dos secadores instalados na região atualmente, levando em consideração fatores básicos como:

- a) A qualidade final do produto.
- b) O tempo gasto para secagem.
- c) O volume do produto a secar.
- d) As condições locais médias (temperatura, umidade relativa, insolação).

## 3. METODOLOGIA

A linha geral do trabalho consiste em simular inicialmente o processo de secagem da pimenta em secadores tipo barcaça [4] e avaliar, para estas geometrias, a possibilidade do uso de energia solar.

A seleção deste tipo de secador foi feita por analogia com as secagens de café e cacau realizadas com êxito pelo grupo de Energia da UNICAMP: o alto teor de umidade inicial da pimenta (assim como do café e cacau) não permite a secagem com coletores solares diretamente em silos secadores de camadas espessas, como se pode fazer com a maioria dos grãos (soja, milho, feijão, etc.) [6]. Barcaças de 5 toneladas são adaptadas em escala às necessidades da produção de pimenta, e muitas experiências com café foram realizadas pelo grupo de energia nesta escala. Não seria prático realizar experimentos em escala diretamente em Campinas, mas a confiança

adquirida depois de alguns anos com o uso de modelos de simulação [3] permite-nos trabalhar com segurança no projeto de um sistema que poderá ser eventualmente testado na região.

Como dados básicos para a simulação (além das condições de meteorologia locais) foi necessário medir em laboratório diversos parâmetros do produto, não existentes na literatura, e que serão úteis inclusive para o projeto de secadores convencionais.

Foi necessário desenvolver um coletor de ar de baixo custo e que pudesse, com eficiência aceitável, atingir níveis de temperatura mais altos que os dos coletores usados, por exemplo, para soja. Neste projeto, o essencial foi manter o coletor simples bastante para que fosse possível seu uso na fazenda (sem vidros ou peças de transporte difícil).

Algumas propriedades ou parâmetros do produto que o caracterizam em relação à secagem, são necessários, portanto, para a simulação.

Como não foi encontrada nenhuma informação sobre estes parâmetros nas fontes consultadas, tornou-se parte do trabalho a realização de experimentos para a obtenção dos mesmos. Os principais foram:

#### a) Curvas de Umidade de Equilíbrio

O equilíbrio ocorre quando a pressão de vapor d'água na superfície do grão e no ar são iguais. Sendo assim, cada produto a uma determinada temperatura e teor de umidade apresenta uma pressão de vapor característica, que determina se o produto perde ou ganha água quando colocado em determinado ambiente.

O método utilizado para a determinação do teor de umidade de equilíbrio da pimenta do reino foi o método estático [7,8], que consiste no seguinte: os grãos devem ser suspensos em uma peneira de arame em vários depósitos onde a umidade do ar é controlada através de soluções saturadas de sais; estes depósitos devem ser colocados em câmaras que possibilitem o controle da temperatura. Na Tabela (2) é indicado o valor da umidade relativa do ar acima das soluções, a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA °C	SiCl	MgCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	Mg(NO <sub>3</sub> ) 6H <sub>2</sub> O	NaCl	(NH <sub>4</sub> )SO <sub>4</sub>	KNO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
10	13,3	34,2	57,8	75,4	81,8	95,5	97,9
32,2	11,9	32,6	51,9	75,6	80,0	90,0	96,5
48,9	11,5	31,6	47,3	74,8	79,1	85,3	95,8
68,9	11,1	30,3	42,2	73,2	78,0	78,0	95,8

Tabela 2 - Umidade relativa (%) acima de diferentes soluções saturadas de sais.

Para determinação dos parâmetros foi utilizada a equação desenvolvida na UNICAMP [5,6], completamente empírica, de aplicação geral e que tem apresentado valores muito precisos, tendo a seguinte forma:

$$M_{eq} = (p_1.RH + p_2.RH^2 + p_3.RH^3) \cdot \text{EXP}[(g_0 + g_1.RH + g_2.RH^2 + g_3.RH^3 + g_4.RH^4) \cdot (T + g_5)] \quad (1)$$

onde:

$M_{eq}$  - teor de umidade de equilíbrio, base seca.

RH - teor de umidade relativa, decimal.

T - temperatura, °C.

$p_1, p_2, p_3, g_0, g_1 \dots$  - constantes do produto.

#### b) Curvas de Secagem em Camada Delgada

Estas curvas dão a informação relativa ao modo como se processa a secagem, servindo como base para as equações de secagem de camadas grossas [12]. Na verdade, elas substituem as informações que seriam dadas pela equação de difusão para a transferência de massa do grão para fora, que não é utilizada por não ser prática a determinação dos coeficientes de difusão no meio capilar-poro so que é o grão. Juntamente com as umidades de equilíbrio, são estes os dados básicos para o estudo da secagem em camadas grossas (secadores de batelada).

O método utilizado para obter as curvas de camada delgada para a pimenta do reino foi o seguinte: coloca-se em uma peneira de arame, uma camada do produto que tenha um grão de altura, onde o ar com temperatura e umidade controladas passa através dos grãos. A pesagem dos grãos é feita a certos intervalos de tempo até que o grão atinja equilíbrio ou até que sua umidade esteja perto deste valor.

O modelo matemático utilizado para a análise dos dados experimentais, foi o seguinte:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = - M \cdot g (M - M_{eq}) (P_{v,s} - P_v)^n \cdot t^{q-1} \quad [1,2] \quad (2)$$

onde:

- M - teor de umidade, base seca, decimal.
- M<sub>eq</sub> - teor de umidade de equilíbrio, base seca, decimal.
- P<sub>y,s</sub> - pressão de vapor de saturação do ar, Kg/m<sup>2</sup>.
- P<sub>v</sub> - pressão de vapor da água, Kg/m<sup>2</sup>
- t - tempo de secagem, horas
- m, n, q - parâmetros do produto.

#### c) Calor Latente de Vaporização

Para determinar o calor latente de vaporização, neste caso, é utilizada a equação desenvolvida por Alam e Shove (1972) [5], que tem a seguinte forma:

$$L = 0,55555 (1075,76 - 1,026 T) (1 + 0,21624 e^{-6,233 M}) \quad (3)$$

onde:

- L - calor latente de vaporização do produto, Kcal/Kg
- T - temperatura, °C
- M - teor de umidade, base úmida, decimal.

#### d) Calor Específico

O calor específico de um material biológico pode ser determinado experimentalmente, por meio de um calorímetro através de um processo denominado método das misturas.

Neste caso a equação utilizada para determinar o calor específico da pimenta é a equação desenvolvida por Alam e Shove (1972), escrita da seguinte forma:

$$C_p = 0,39123 + 0,4605 M \quad (4)$$

onde:

$C_p$  - calor específico do produto.

$M$  - teor de umidade, base úmida, decimal.

3.1. Para a especificação do ventilador a ser utilizado no sistema deve-se saber a resistência encontrada pelo fluxo de ar através dos grãos de pimenta [9]. Assim foi determinada a perda de carga através de uma camada do produto em um sistema que utiliza um ventilador insuflando o ar em um pequeno silo, pelo seguinte processo: deve-se encher completamente o silo com grãos de pimenta, medir a área de fluxo de ar no silo e as posições onde se localizam as tomadas de pressão estática. Em seguida deve-se variar a entrada de ar no ventilador para obter além dos valores máximo e mínimo, alguns valores intermediários de velocidade na saída do silo, e para cada um dos pontos escolhidos deve-se medir a pressão estática em cada um dos locais pré-determinados e calcular a perda de pressão correspondente a uma camada de grãos no silo ( $\Delta P/H$ ) em função da vazão de ar pela área de fluxo ( $Q/A$ ).

Desta maneira foi obtida a curva experimental de perda de carga para a pimenta do reino.

3.2. Para conhecer a eficiência dos coletores solares desenvolvidos para o aquecimento do ar [11], foi utilizado um banco de testes (Fig. 1) que consiste em um ventilador que aspira o ar da atmosfera para o duto, passando em seguida por uma válvula que regula a entrada de ar no sistema. A vazão pode ser medida através de um venturi instalado após a válvula. Existe um conjunto de resistências elétricas que pode ser instalado logo após a válvula reguladora de vazão, para o pré-aquecimento do ar. Este banco foi instalado pelo Grupo de Energia Solar e encontra-se em uso normal.



3.3. Simulação da secagem: o modelo matemático utilizado para a simulação da secagem é apresentado por Thompson et al. (1968) [13,14], de secagem em camadas grossas baseado no balanço de calor e massa. O modelo considera a camada grossa como sendo uma série de camadas delgadas empilhadas uma sobre a outra. Balanço de calor e massa são aplicados para uma camada delgada de grãos e as condições resultantes do estado do ar são as condições de entrada para a próxima camada.

Embora algumas simplificações são assumidas o modelo se constitui em uma ótima previsão do desenvolvimento da secagem em camadas grossas.

As equações utilizadas para o balanço de calor e massa são as equações de secagem em camadas delgadas, umidade de equilíbrio, calor específico e calor latente.

Além das equações, foram fornecidos ao programa os dados de: tempo total de secagem; intervalo de tempo para cada impressão de dados na secagem; condições do ar de entrada; formato da barcaça e suas dimensões; altura total da camada; altura de cada sub-camada; valores das condições meteorológicas locais; temperatura e umidade inicial do grão.

Com o processamento da simulação da secagem através deste modelo, foram obtidos os valores de temperatura, umidade e umidade de equilíbrio, nas diversas sub-camadas para os intervalos de tempo desejados, até a secagem do produto, isto é, até o tempo total de secagem para que o produto obtenha a umidade desejada.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

##### 4.1. Curvas de umidade de equilíbrio

Os valores experimentais da umidade de equilíbrio da pimenta do reino encontrados, são apresentados na Tabela (3).

Sendo estes dados fornecidos à rotina Kinet, juntamente com a equação [1], os seguintes valores para os parâmetros da equação foram obtidos:

UMIDADE RELATIVA (%)	TEMPERATURAS (°C)	
	30	37
35	42,19	27,04
44	45,03	31,87
57	46,99	33,27
65	48,97	36,02
75	53,22	42,39
97	70,23	59,63

Tabela 3 - Umidade de equilíbrio da pimenta do reino, base úmida (%).

TEMPERATURA (°C)	RH (%)	$(P_{vs} - P_v)$ (kg/m <sup>2</sup> )
40	31,25	517,12
48	21,00	899,10

Tabela 4 - Dados experimentais empregados no cálculo da razão de umidade.

$$\begin{aligned} p_1 &= 89,5287 & q_2 &= -0,215595 \\ p_2 &= 2,47307 & q_3 &= 0,235238 \\ p_3 &= -82,2454 & q_3 &= 0,235238 \\ q_0 &= -0,0486463 & q_4 &= -0,0650839 \\ q_1 &= 0,0662695 & & \end{aligned}$$

As curvas de umidade de equilíbrio obtidas através dos valores experimentais são apresentadas na Fig. (2). Foi observado um erro máximo de 3,2% entre os valores experimentais e os calculados pela equação (1).

#### 4.2. Curvas de secagem em camadas delgadas

Na Fig. (3), encontram-se as curvas experimentais de secagem em camada delgada, para duas temperaturas. Na Tabela (4), encontram-se os valores obtidos no experimento, que são os valores empregados para o cálculo da vazão de umidade.

Quando esses valores foram aplicados ao modelo representado pela equação (2), os parâmetros  $m$ ,  $n$ ,  $q$ , puderam ser determinados, através de uma regressão linear com que formaram a seguinte equação:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = e^{[-0,01254(P_{vs} - P_v)^{0,36122} \cdot t^{0,61233}]} \quad (2.1)$$

#### 4.3. Curva de perda de carga para a pimenta do reino

Na Tabela (5) encontram-se os valores obtidos no experimento para determinar a perda de carga para a pimenta do reino. A partir destes valores foi possível determinar a curva [4], que se encontra na Figura (4).

VELOCIDADE DO AR (ft/min)	$\Delta P/H$ (pol.H <sub>2</sub> O)
287,77	2,37
276,63	2,14
256,21	1,81
228,36	1,35
191,23	1,02
Log (velocidade)	Log ( $\Delta P/H$ )
2,46	0,375
2,44	0,331
2,41	0,257
2,36	0,132
2,28	0,007

Tabela 5 - Valores experimentais de perda de carga para a pimenta do reino.

\*T<sub>AMB</sub> = 28°C - ÁREA COLETOR 9,9 m<sup>2</sup>

RADIAÇÃO INCIDENTE (w/m <sup>2</sup> )	VAZÃO (CFM)	TEMP. ENTRADA (°C)	TEMP. SAIDA (°C)
653,097	140 - ( $\dot{m}_1$ )	33,2	49,7
636,615	160 - ( $\dot{m}_2$ )	33,2	49,3
654,867	180 - ( $\dot{m}_3$ )	33,1	48,6
664,823	200 - ( $\dot{m}_4$ )	33,0	48,5
690,376	220 - ( $\dot{m}_5$ )	33,0	48,6
601,217	140	36,0	51,6
632,522	160	36,6	51,9
653,872	180	37,0	51,9
676,991	200	37,6	52,3
661,394	220	37,4	51,4
715,487	140	41,3	55,5
721,570	160	42,5	56,0
722,235	180	43,3	56,1
712,721	200	43,4	56,3
713,938	220	44,0	55,8
716,482	140	47,7	58,8
718,916	160	48,8	58,4
716,593	180	49,4	58,7
716,925	200	49,7	58,9
720,465	220	49,8	59,7
731,305	140	53,6	62,2
726,770	160	51,7	60,5
726,881	180	52,5	60,9
732,301	200	52,8	61,2
730,752	220	52,8	61,4

Tabela 6 - Valores experimentais obtidos para determinação das curvas de eficiência do módulo coletor solar número 1.

\*T<sub>AMB</sub> = 24°C - ÁREA COLETOR 9 m<sup>2</sup>

RADIAÇÃO INCIDENTE (w/m <sup>2</sup> )	VAZÃO (CFM)	TEMP. ENTRADA (°C)	TEMP. SAIDA (°C)
856,858	140 - ( $\dot{m}_1$ )	25,1	56,4
855,310	160 - ( $\dot{m}_2$ )	25,5	54,7
854,093	180 - ( $\dot{m}_3$ )	25,3	54,0
854,314	200 - ( $\dot{m}_4$ )	25,4	56,7
853,761	220 - ( $\dot{m}_5$ )	5,4	58,8
853,540	140	34,1	58,5
854,425	160	33,4	57,9
854,204	180	35,2	59,7
854,867	200	35,5	59,7
853,097	220	34,8	59,2
849,780	140	39,4	63,5
849,115	160	41,1	63,6
849,115	180	41,3	62,9
847,124	200	41,1	62,3
847,345	220	40,1	61,2
850,553	140	45,5	66,8
850,332	160	44,6	64,3
849,226	180	44,0	62,4
849,115	200	42,2	61,5
849,004	220	41,4	61,5
848,230	140	47,6	69,2
845,907	160	48,2	68,0
844,801	180	48,1	66,2
845,465	200	48,2	64,5
843,695	220	48,2	64,1
838,053	140	51,7	70,7
832,301	160	50,4	68,8
850,442	180	50,5	67,1
841,925	200	49,5	65,5
843,031	220	48,5	64,5

Tabela 7 - Valores experimentais obtidos para determinação das curvas de eficiência do módulo coletor solar número 2.

BARCAÇA \ VAZÃO	800	1200
	[Kg/h/m <sup>2</sup> ]	[Kg/h/m <sup>2</sup> ]
5 x 4 x 0,3 [m]	43	36
5 x 3 x 0,4 [m]	52	43

Tabela 8 - Tempo necessário para secagem da pimenta do reino em diferentes condições [HORAS].

#### 4.4. Curva de eficiência dos módulos coletores

Os valores obtidos na determinação da eficiência dos coletores solares, para diversas vazões e temperaturas de entrada no coletor, estão nas Tabelas (6) e (7), respectivamente para os módulos 1 (Figura 5.a) e 2 (Figura 5.b). As curvas de eficiência dos módulos 1 e 2 estão respectivamente nas Figuras 10 e 11.

#### 4.5. Simulação da secagem

Quando o modelo foi "alimentado" com as equações [1], [2], [3] e [4], e com um banco de dados que irá fornecer a ele, informações sobre as condições de secagem, obtidas através dos experimentos já anteriormente mencionados e das condições meteorológicas no estado do Pará (Belém) [10], pode ser feita a simulação da secagem variando o tamanho da barcaça e a vazão do do ar. Para simulação foram consideradas duas barcaças, assim, variando a vazão de ar, encontrou-se as melhores condições de secagem.

Os valores obtidos na simulação da secagem para as reações de ar consideradas ideais neste caso, nas duas barcaças podem ser encontrados nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

O tempo necessário para a secagem total, isto é, até que a última camada de pimenta do reino tenha 15% de umidade, nas diversas condições, são apresentadas na Tabela (8).

Deve-se observar (Figura 6, 7, 8 e 9) que o ideal é que a secagem se procedesse uniformemente em todas as camadas, isto é, que todas obtivessem a umidade desejada ao mesmo tempo, o que significaria uma redução do tempo de secagem e custo da operação.

### 5. CONCLUSÕES e COMENTÁRIOS

A secagem da pimenta do reino com o auxílio de coletores solares mostrou ser uma excelente alternativa, e se encaixa perfeitamente às condições e exigências formuladas pelos produtores na região do Pará.

Os testes realizados com os coletores solares mostraram que o seu desempenho é muito bom, tendo a grande vantagem de não possuírem partes rígidas, o que facilita o seu transporte.



A continuação do trabalho que deverá ser feita em Nova Timboteua (Pará), é a realização da secagem utilizando o sistema aqui desenvolvido e sua comparação com os métodos convencionais de secagem, para utilização em escala compatível com a produção da pimenta, de sua secagem utilizando coletores solares.

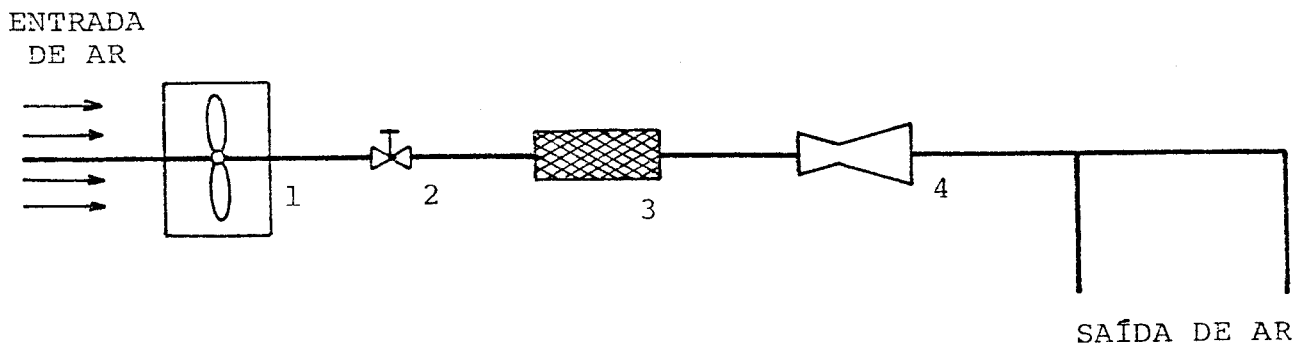


FIGURA 1 - BANCO DE TESTES

- 1 - ventilador
- 2 - válvula reguladora de vazão
- 3 - caixa de resistências
- 4 - venturi

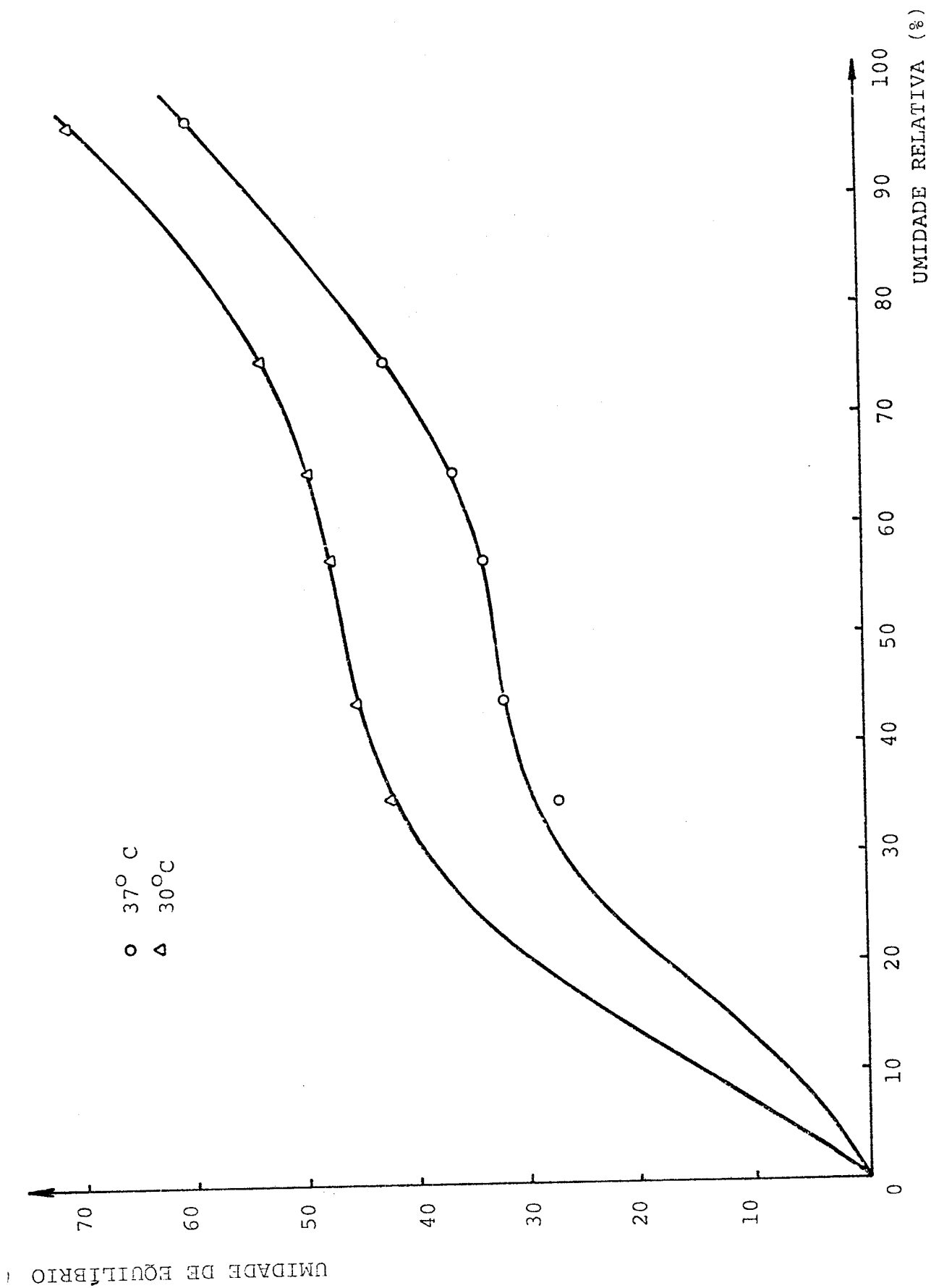
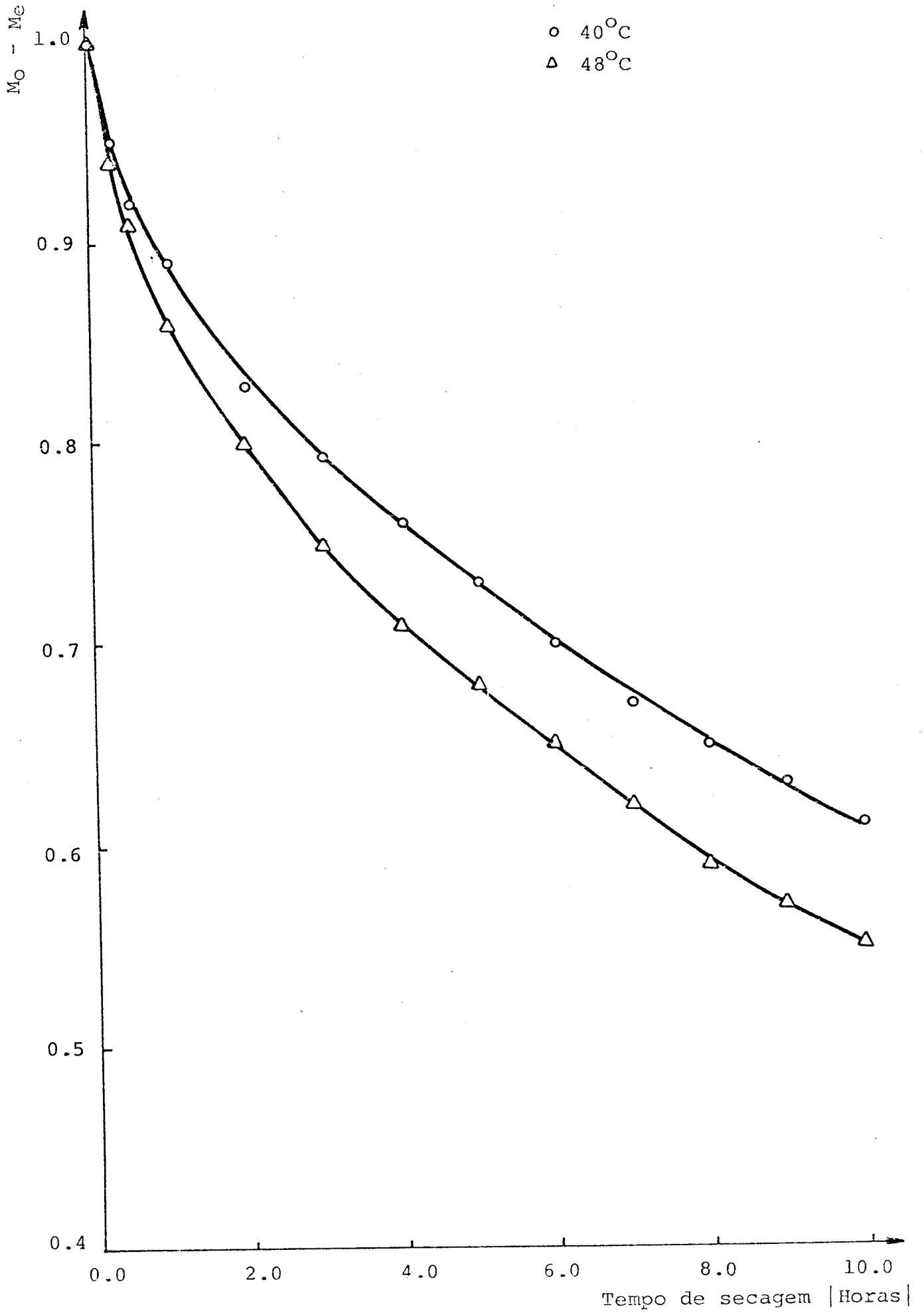


FIGURA 2 - CURVAS DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO PARA PIMENTA DO REINO



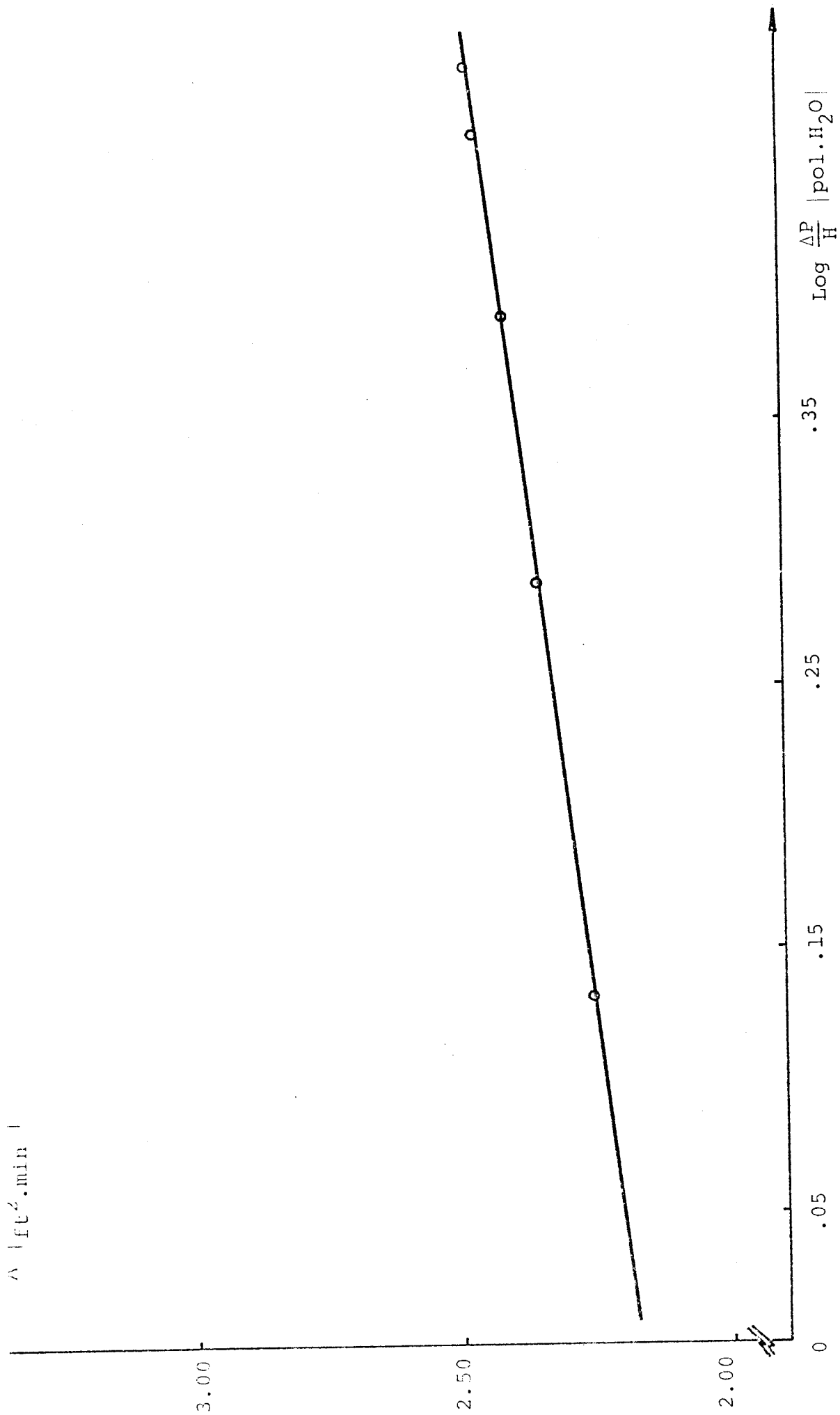


FIGURA 4 - CURVA DE PERDA DE CARGA PARA PIMENTA DO REINO (64%)

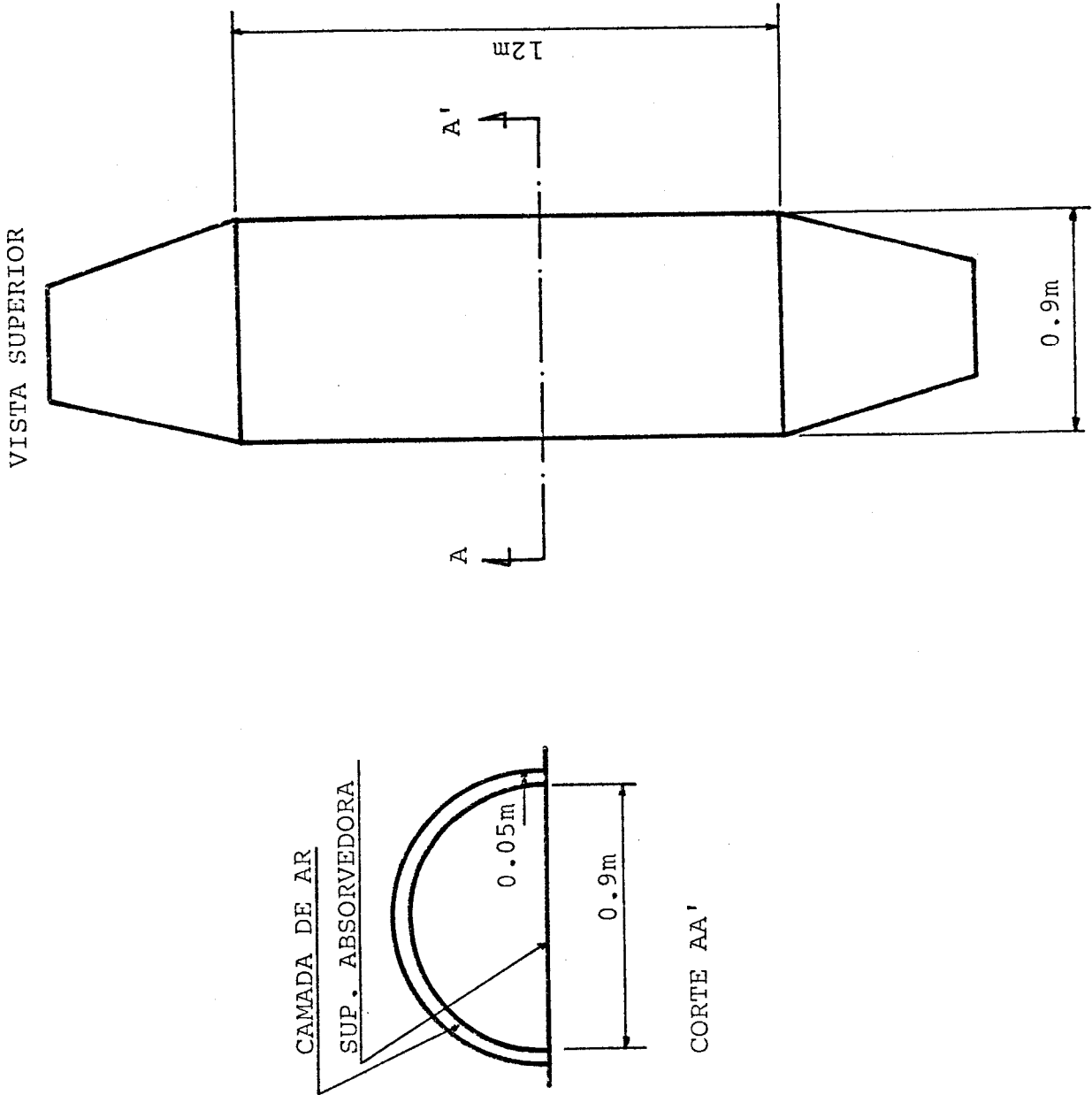


FIGURA 5a - DETALHES DO MÓDULO COLETOR Nº 1

VISTA SUPERIOR

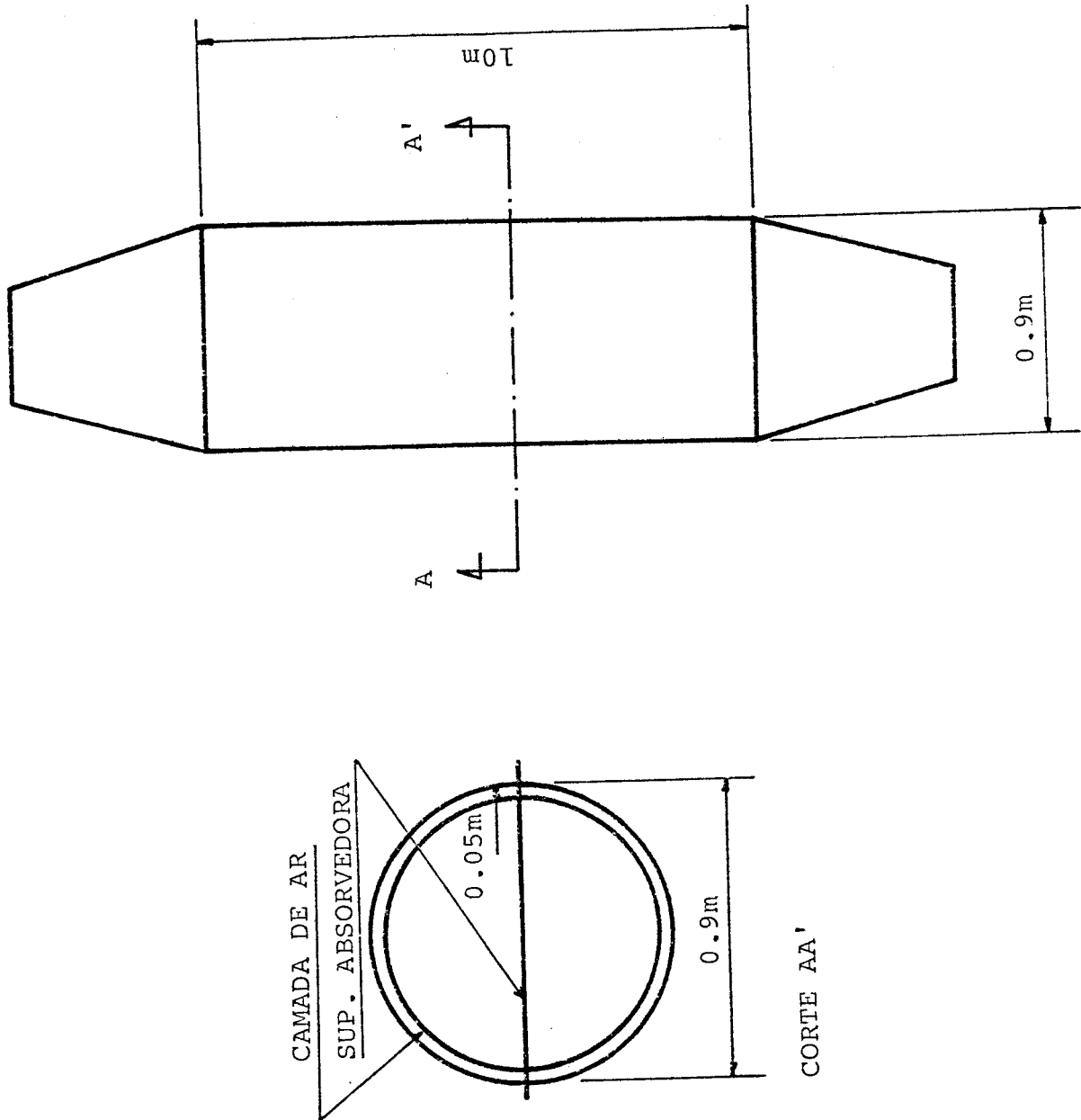


FIGURA 5.b - DETALHES DO MÓDULO COLETOR Nº 2

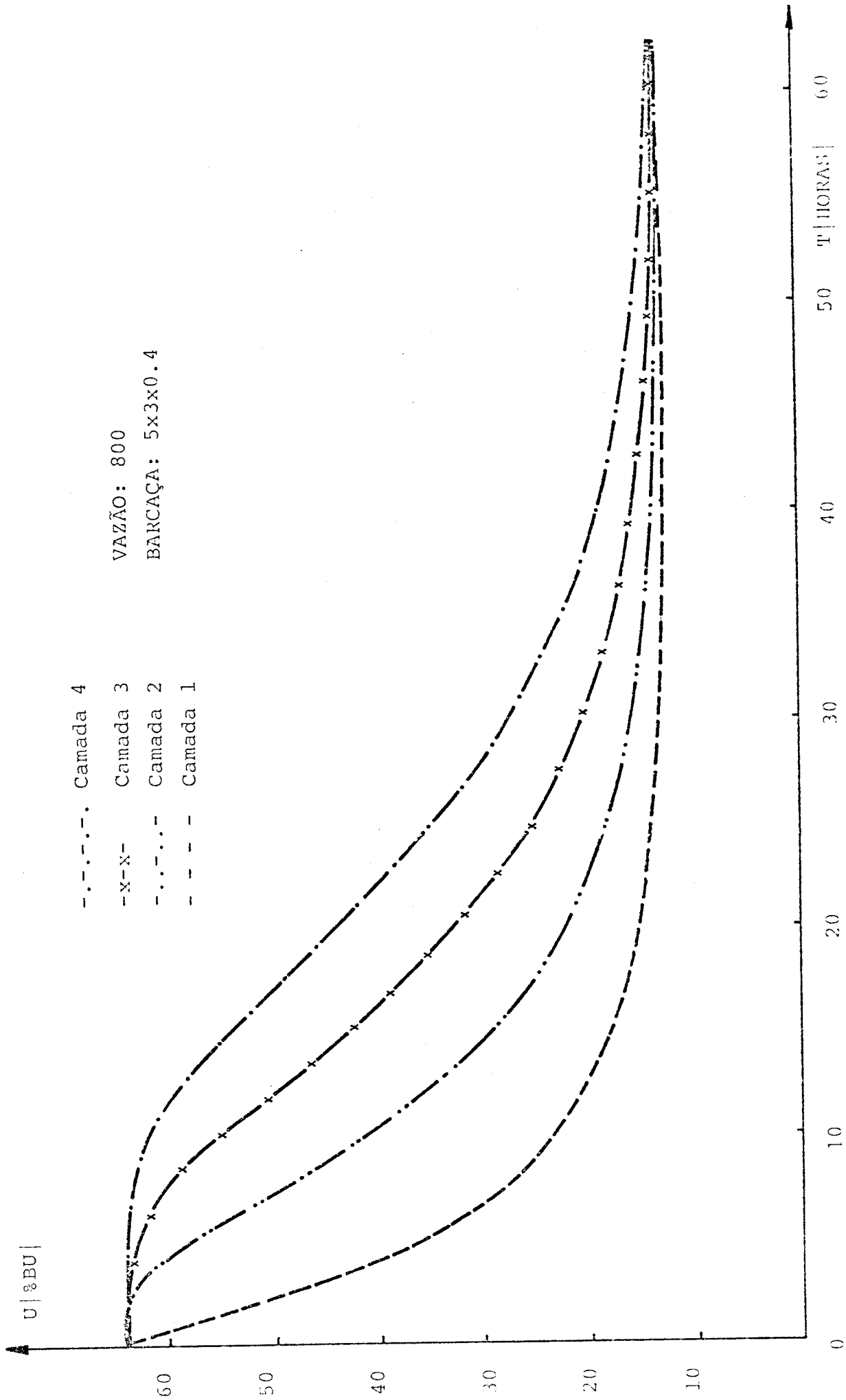


FIGURA 6 - CURVA DE SECAGEM.



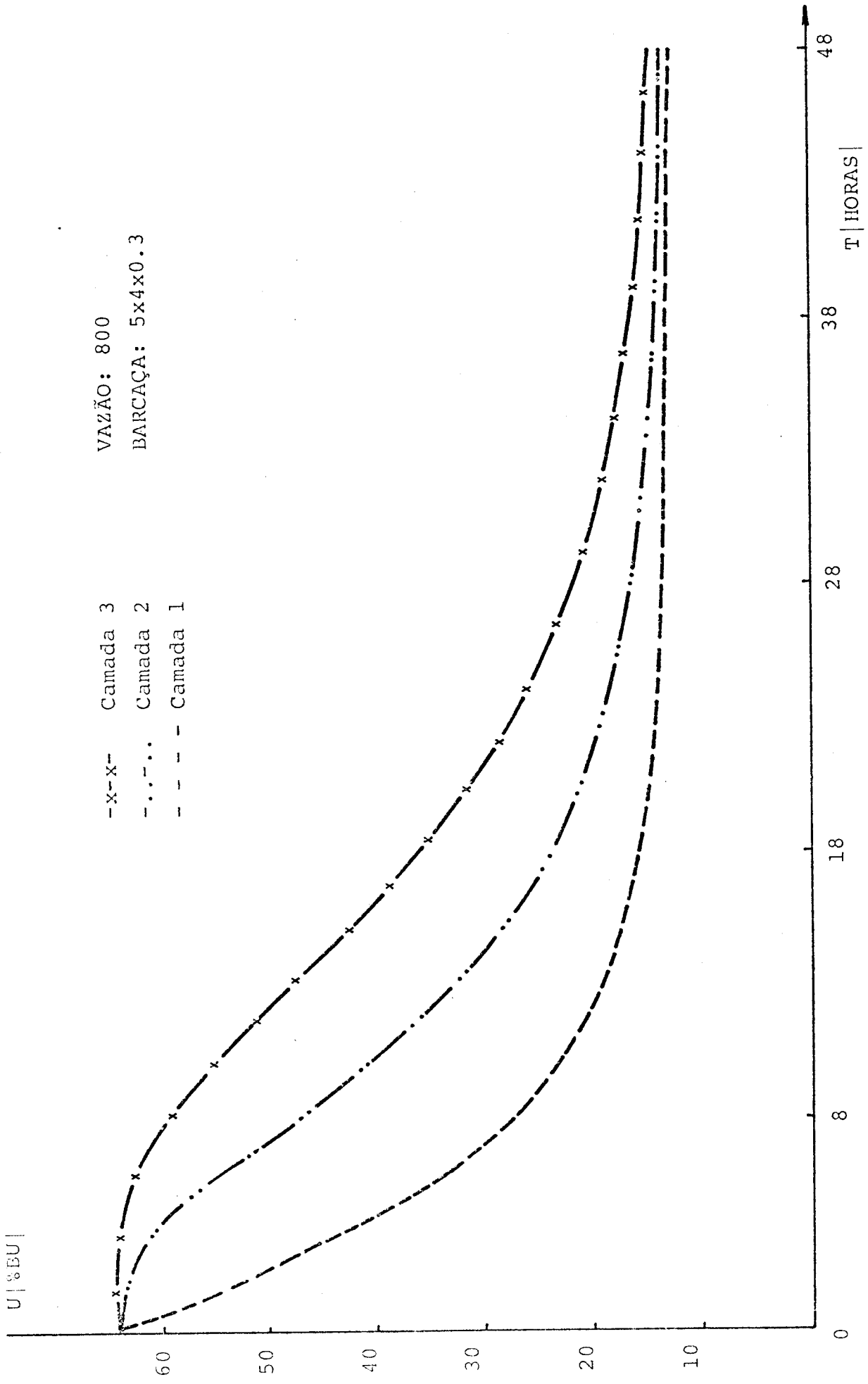


FIGURA 7 - CURVA DE SECAGEM.

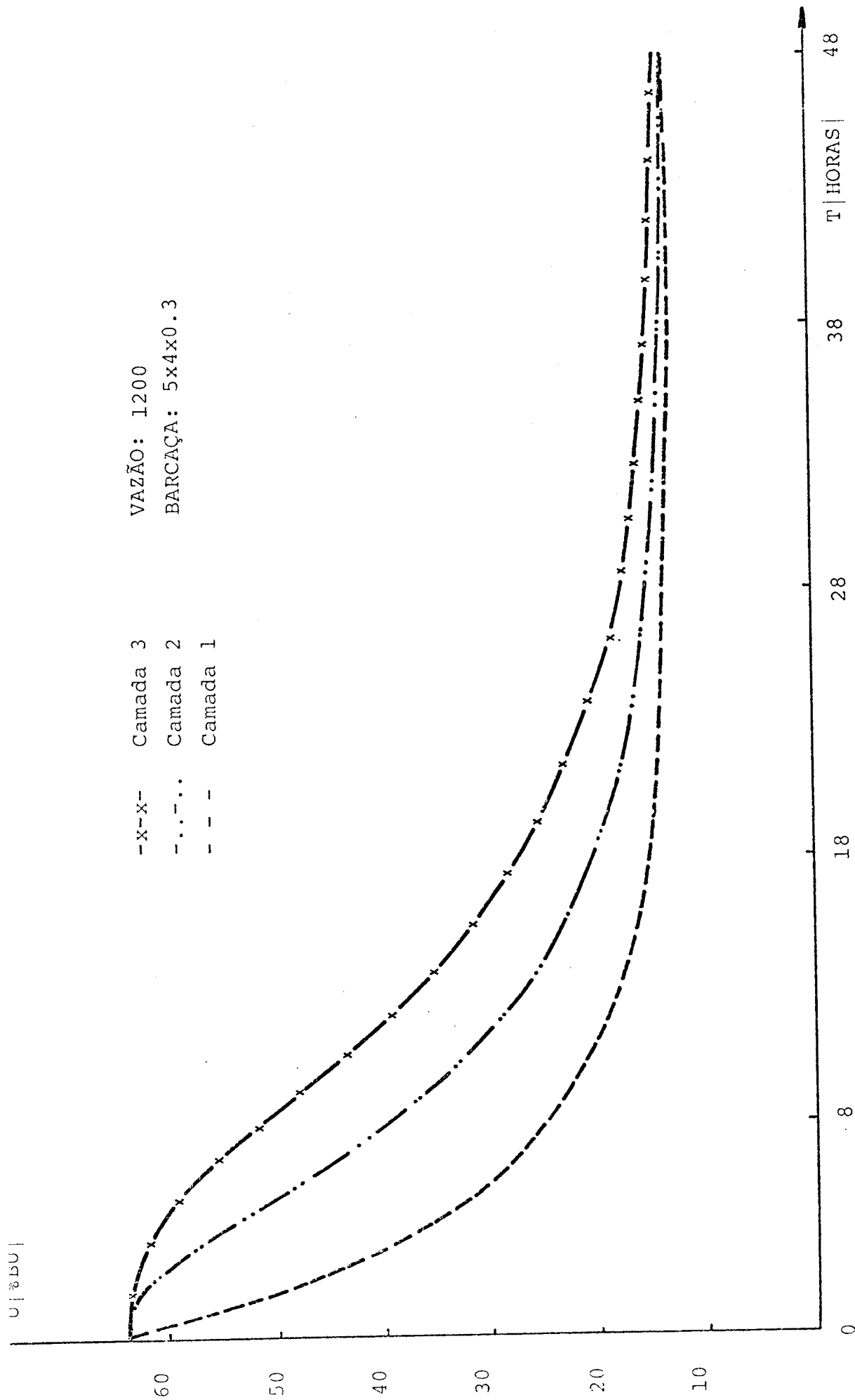


FIGURA 8 - CURVA DE SECAGEM.

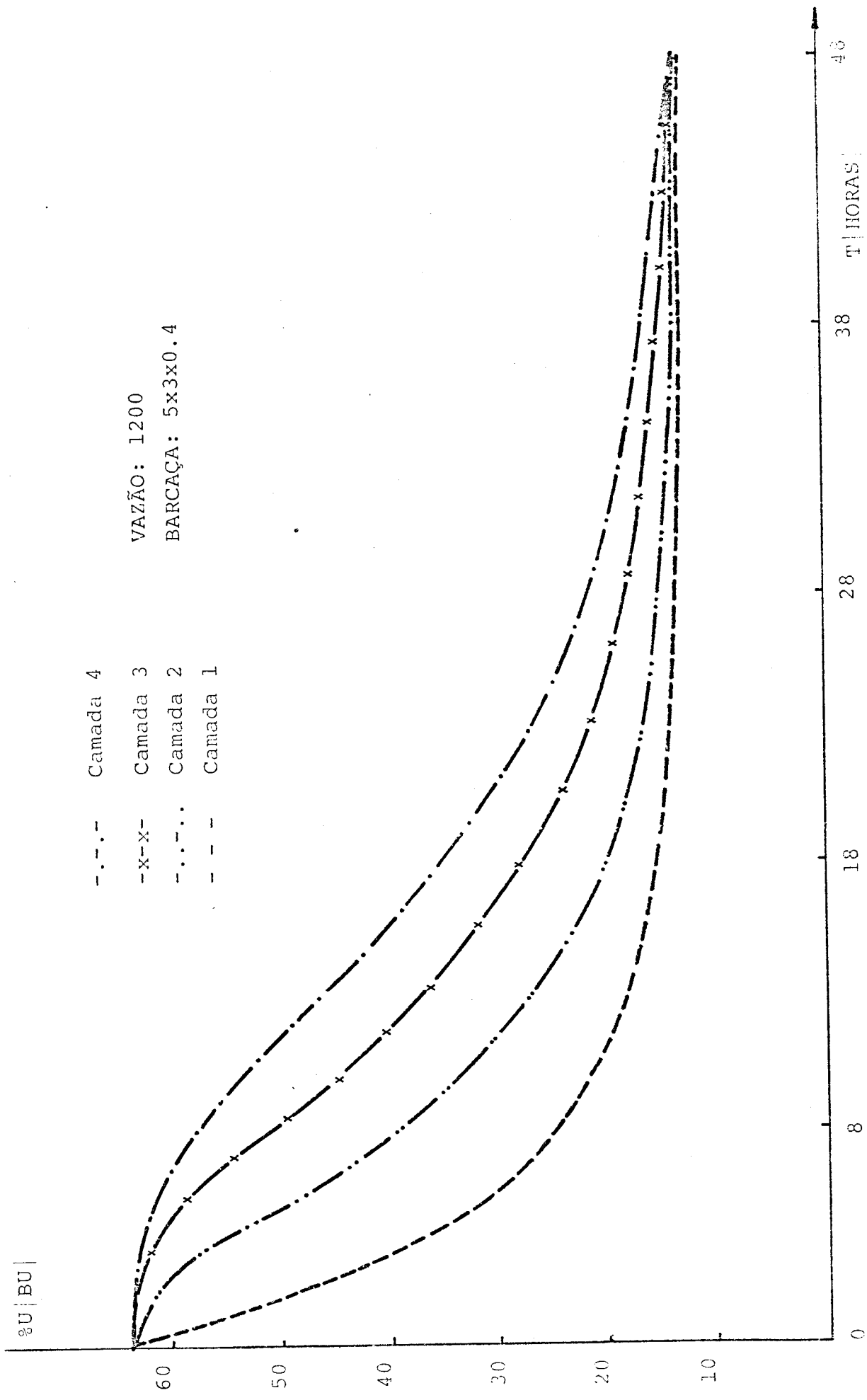


FIGURA 9 - CURVA DE SECAGEM.

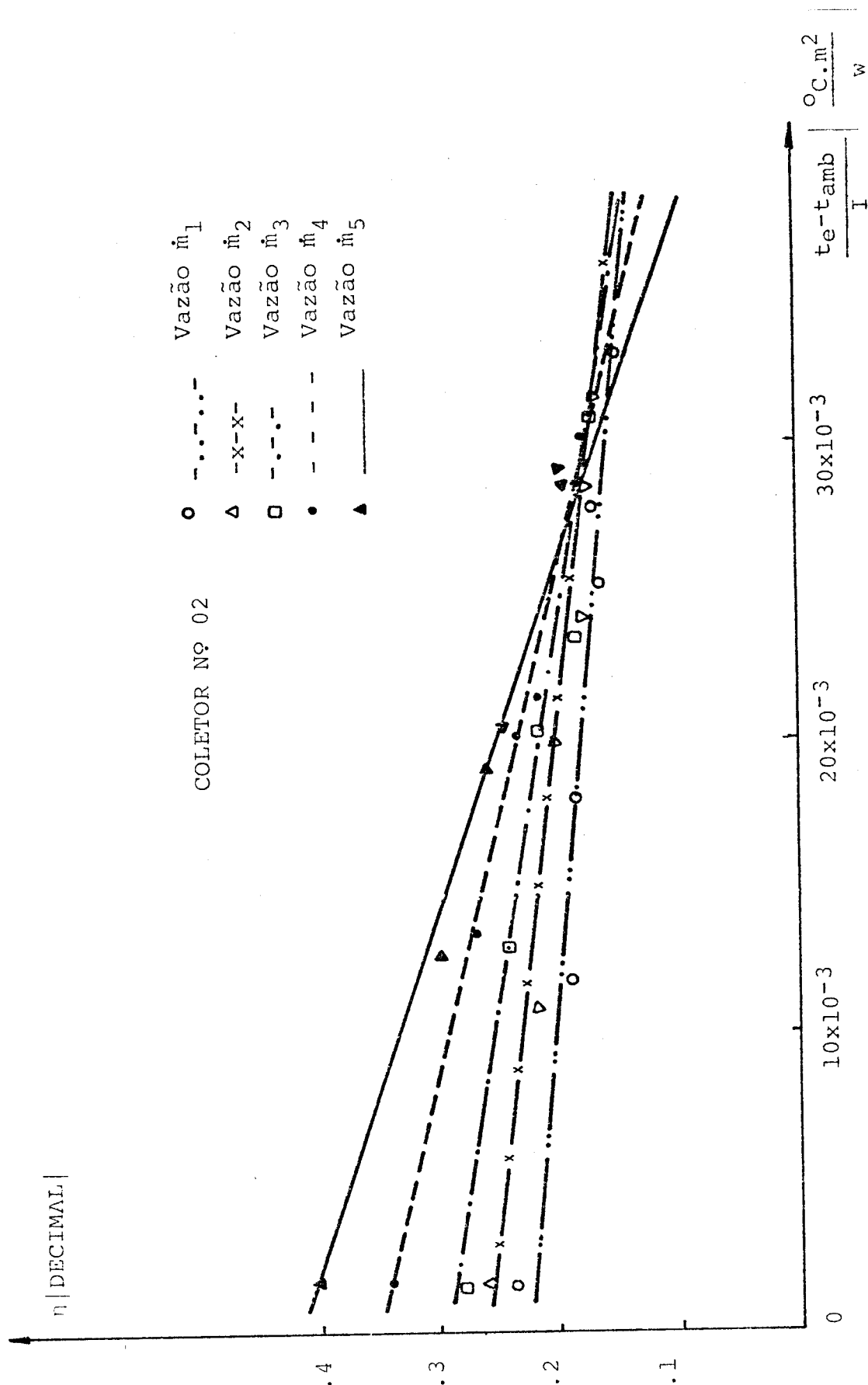


FIGURA 11 - EFICIÊNCIA DO COLETOR Nº 2.

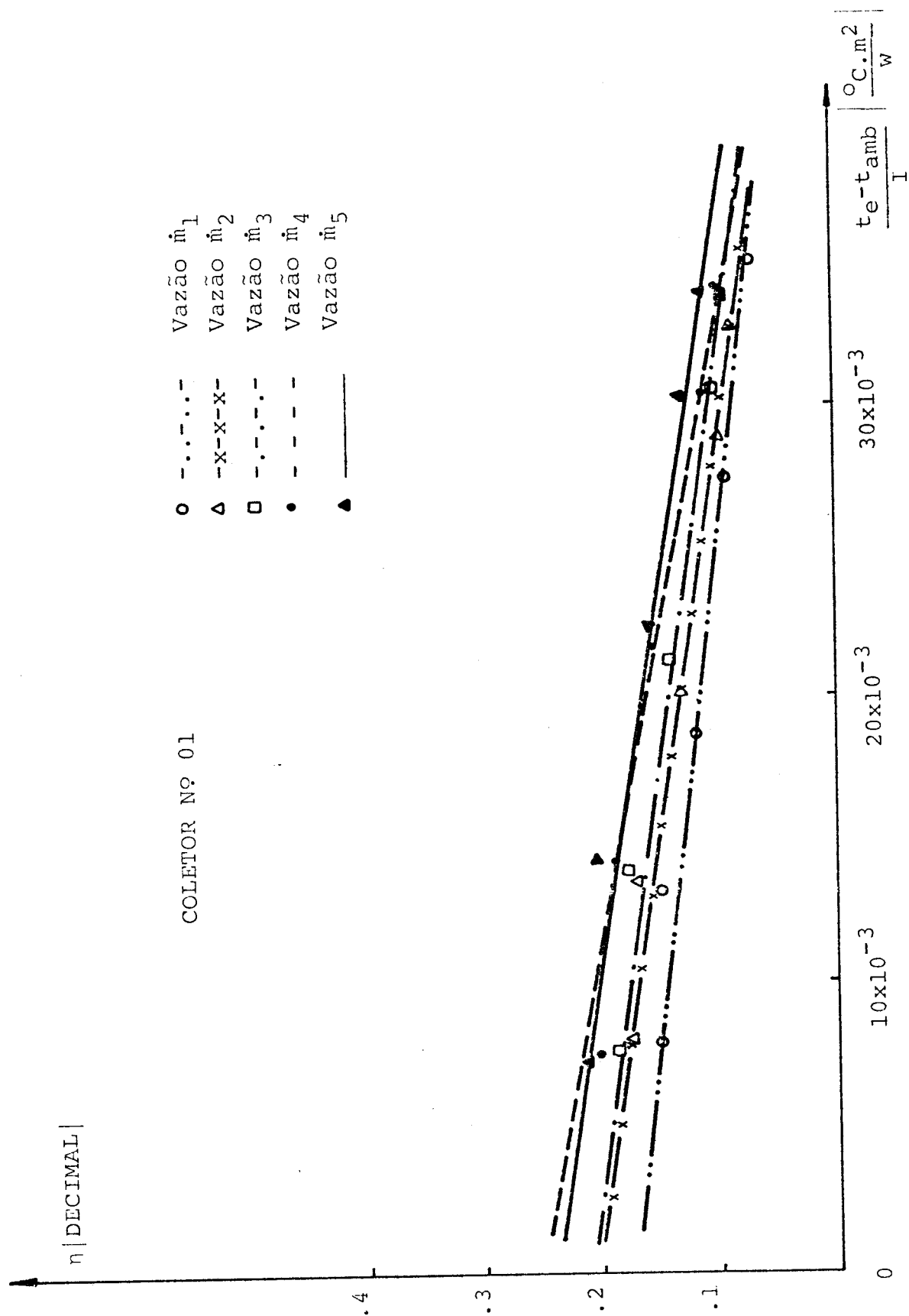


FIGURA 10 - EFICIÊNCIA DO MÓDULO COLETOR Nº 1.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SUMIDA, T.; ALBUQUERQUE, F.C. - "Análise de alta produtividade em pimenta do reino", IPEAN (Pará, 1971).
- [2] ALBUQUERQUE, F.C.; CONDURÚ, J.M.P. - "Cultura da pimenta do reino na Região Amazônica", IPEAN (Pará, 1971).
- [3] ROA, G.; VILLA, L.G.; MACEDO, I.C.; MEYER, J.A. - "Programa de secagem de produtos biológicos mediante a utilização da energia solar na Unicamp", Metas e realizações até Dezembro de 1977, UNICAMP.
- [4] VILLA, L.G.; RODRIGUES, N.S.S.; BRAUMBECK, O.; ROA, G.; BORGES, J.M. - "Secagem de cacau e café em barcaças com ar forçado aquecido com energia solar", UNICAMP.
- [5] VILLA, L.G.; ROA, G.; MACEDO, I.C. - "Minimum airflow for drying soybean seeds in bins with ambient and solar heated air", UNICAMP.
- [6] ROA, G.; MACEDO, I.C. - "Secagem de grãos em silos com energia solar", UNICAMP.
- [7] VILLA, L.G.; SCHNEIDER, I.S.; COSTA, A.R.S. - "Métodos alternativos de secagem de charque com auxílio de coletores solares", (UNICAMP - 1978).
- [8] HALL, C.W. - "Drying farm crops" , Michigan, Agricultural Consulting Associates, 1957.
- [9] SHEDD, C.K. - "Resistance of grains and seeds to air flow" , Agricultural Engineering, Vol. 34, September, 1953.
- [10] MACEDO, I.C.; PEREIRA, J.T.V.; MILANEZ, L.F. - "Aplicação de um método indireto de solarimetria para a energia incidente na região amazônica", CBE, Dezembro de 1978.

- [11] HILL, J.E.; STREED, E.R.; KELLY, G.E.; GEIST, J.C.; KUSUDA, T. - "Development of proposed standards for testing solar collectors and thermal storage devices", National Bureau of Standards, Washington, 1976.
- [12] VILLA, L.G.; BIANCHI, A.D. - "Velocidade de secagem de grãos em camadas delgadas e na influência na secagem de camadas grossas", UNICAMP, Setembro de 1976.
- [13] BAKKER-ARKEMA, F.W.; LEREW, L.E.; DE BOER, S.F.; ROTH, M.G. "Grain dryer simulacion", Michigan State University, Department of Agricultural Engineering.
- [14] MOREY, R.V.; KEENER, H.M.; THOMPSON, T.L.; WHITE, G.M.; BAKKER-ARKEMA, F.W. - "The present status of grain drying simulation", ASAE Technical, Paper Nº 78-3009.