

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

QUANTIFICAÇÃO DA DETERIORAÇÃO DE MANDIOCA
DURANTE A SECAGEM EM BARÇAÇA POR
CONVECÇÃO FORÇADA DE AR AQUE-
CIDO COM COLETOR SOLAR

Julio Ernesto Ospina Machado
Engenheiro Agrícola

Orientador:

Prof. Dr. José Luiz Vasconcelos da Rocha

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.

- 1980 -

À MARIA TEREZA, minha esposa e
SONIA PATRICIA, minha filhinha

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Luiz Vasconcelos da Rocha pela sua sincera amizade, estímulo e orientação, na execução deste trabalho, um agradecimento especial.

Ao Prof. Dr. Luiz Gabriel Villa V. pela sua imensurável colaboração e apoio, no início deste trabalho.

À Universidade Nacional de Colombia, através do Instituto de Ciencia e Tecnologia de Alimentos (ICTA) e a Faculdade de Engenharia, que possibilitaram a realização de meus estudos de pós-graduação.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da UNICAMP e de modo especial ao Departamento de Engenharia Agrícola pelas facilidades oferecidas, para a execução do presente trabalho.

Ao colega Luiz Alberto dos Santos pela grande ajuda no manejo do terminal de computador.

Aos colegas e amigos, pelo apoio e estímulo oferecidos durante a realização deste trabalho.

ÍNDICE

Página

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMO

SUMMARY

SIMBOLOGIA

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Produção de mandioca	5
3.2. Características da raiz da mandioca	6
3.3. Deterioração da mandioca após a colheita	9
3.4. Preparo da raiz de mandioca para obtenção de ras pas	14
3.5. Secagem de mandioca	15
3.5.1. Secagem natural	16
3.5.2. Secagem artificial	19
3.5.3. Secagem artificial de mandioca com auxí - lio de coletores solares	20
3.6. Simulação matemática da secagem de mandioca por convecção forçada de ar	21

3.6.1. Propriedades básicas para secagem de mandioca	24
3.6.1.1. Umidade de equilíbrio	24
3.6.1.2. Equação de camada delgada	24
3.6.1.3. Calor latente de vaporização ...	25
3.6.1.4. Calor específico	25
3.7. Modelo matemático para prever a deterioração de mandioca durante a secagem	26
3.8. Condições mínimas necessárias para secagem de mandioca em barçaça com convecção forçada de ar.	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1. Materiais	29
4.1.1. Matéria prima	29
4.1.2. Outros materiais	29
4.1.3. Equipamentos	29
4.2. Métodos	31
4.2.1. Acondicionamento da matéria prima	31
4.2.2. Desenvolvimento do Modelo Matemático de Deterioração	31
4.2.2.1. Metodologia experimental	31
4.2.2.2. Metodologia analítica	36
4.2.3. Prova do Modelo Matemático de Deterioração	38
4.2.3.1. Metodologia experimental	38
4.2.3.2. Metodologia analítica	41
4.2.4. Determinação das vazões mínimas	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. Desenvolvimento do Modelo Matemático de Deterioração	43
5.2. Prova do Modelo Matemático de Deterioração	53

5.3. Determinação das vazões mínimas para secagem de mandioca	61
6. CONCLUSÕES	68
7. BIBLIOGRAFIA	70
APÊNDICE A	79
APÊNDICE B	81
APÊNDICE C	83
APÊNDICE D	85
APÊNDICE E	96

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
1 - Superfície cultivada, rendimento e produção mundial da raiz de mandioca por regiões	5
2 - Avaliação do estriamento vascular em raízes de mandioca	12
3 - Efeito da temperatura e tempo de armazenamento na perda de peso e estriamento vascular das raízes de mandioca	13
4 - Umidade relativa nos frascos e umidade esperada da mandioca	34
5 - Avaliação da deterioração em mandioca cortada em rodela em forma de índices de deterioração, em função da diferença total de cor, utilizando como padrão o sulfato de bário (BaSO_4)	35
6 - Comparação dos índices de deterioração, experimentais e simulados, obtidos pelo modelo matemático de deterioração durante a operação de secagem de rodela de mandioca, em barça com convecção forçada de ar e aquecido com coletor solar	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 - Secção transversal da raiz de mandioca	8
2 - Curva de secagem em função de diferentes sistemas de secagem usando barras de 0,9 x 0,9 x 5 cm (simulado)	18
3 - Curvas de secagem de mandioca para diferentes alturas da camada colocada em barçaça com aquecimento de ar por coletor solar	22
4 - Diagrama esquemático da simulação da secagem de uma camada delgada	23
5 - Disposição das rodela de mandioca e da solução no interior dos frascos	33
6 - Diagrama esquemático da barçaça solar	39
7 - Disposição do sistema barçaça-coletor solar	40
8 - Índices de deterioração avaliados em mandioca conservada com diferentes conteúdos de umidade na temperatura de 40°C	44
9 - Índices de deterioração avaliados em mandioca conservada com diferentes conteúdos de umidade na temperatura de 30°C	45
10 - Índices de deterioração avaliados em mandioca conservada com diferentes conteúdos de umidade na temperatura de 20°C	46

11 - Índices de deterioração avaliados em mandioca na condição padrão (43,10% e 30°C)	48
12 - Determinação do multiplicador de umidade em função da umidade	51
13 - Determinação do multiplicador de temperatura em função da temperatura	54
14 - Previsão dos índices de deterioração em mandioca conservada na temperatura de 40°C, a diferentes - conteúdos de umidade	55
15 - Previsão dos índices de deterioração em mandioca conservada na temperatura de 30°C, a diferentes - conteúdos de umidade	56
16 - Previsão dos índices de deterioração em mandioca conservada na temperatura de 20°C, a diferentes - conteúdos de umidade	57
17 - Comparação dos dados experimentais e calculados pelo Modelo de Thompson, obtidos na secagem de mandioca, em barçaça, em condições variáveis de temperatura e umidade	58
18 - Vazões mínimas em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca, com máxima deterioração de 15%	62
19 - Tempo de secagem em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca, com máxima deterioração de 15%	63
20 - Vazões mínimas em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca com má-	

xima deterioração de 15%	64
21 - Tempo de secagem em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca com máxima deterioração de 15%	65

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ) em mais de 80% da produção mundial é utilizada para o consumo humano, fornecendo cerca de 10% das calorias requeridas pelo homem; além de ser um produto alimentício carboidratado básico de 300 milhões de pessoas dos países tropicais.

A mandioca por suas características de colheita e elevada umidade está sujeita à rápida deterioração, exigindo a utilização de técnicas adequadas para sua conservação e processamento.

Uma das maneiras de avaliar as perdas durante o pré-processamento, especificamente na secagem, é quantificar a deterioração da mandioca, utilizando-se como critério a mudança de cor, por ser um fator de qualidade que determina simplesmente o grau de aceitabilidade do produto.

Um modelo matemático empírico foi desenvolvido - para prever a deterioração da mandioca, durante a operação de secagem em barcaça, com convecção forçada de ar, aquecido com coletores solares. O modelo foi baseado na deterioração da mandioca cortada em forma de rodela (5 mm de espessura e 35 a 40 mm de diâmetro), em função da mudança de cor; a deterioração da mandioca foi avaliada mediante índices de deterioração pré-estabelecidos em escala de 0,0 a 1,0 (0,0 = 100% de deterioração;

1,0 = 0% de deterioração), e testada com um espectrofotômetro ligado a um computador.

O modelo matemático de deterioração obtido constitui-se da seguinte forma:

$$ID = -0,509702 + 0,781174 \left[0,792674^{(0,0421605 \text{ teq} - 3,619430)} \right]$$

$$19 \leq \text{teq} \leq 129$$

onde,

$$\text{teq} = \frac{t}{\text{Mu Mt}}$$

sendo:

$$\text{Mu} = \frac{1}{0,00057617 U^{1,98649305}}$$

$$U < 43,10\%$$

$$\text{Mu} = 2,7998871 - 0,0417607 U$$

$$U \geq 43,10\%$$

$$\text{Mt} = 1 + (0,118163 - 0,0731257 \ln U + 0,0000891083 U^{1,7987}) (T - 30)$$

$$T \leq 30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Mt} = 1 + (0,162703 - 0,109811 \ln U + 0,033245 U^{0,497069}) (T - 30)$$

$$T \geq 30^{\circ}\text{C}$$

O modelo foi testado na secagem de 45 kg de mandioca cortada em rodela, utilizando-se um sistema barcaça-coletor solar. Diante simulação matemática e usando o modelo de

Thompson et al (1968) e adaptado por Villa et al (1979), comparou-se os resultados experimentais e calculados pelo modelo.

Da mesma maneira, determinou-se as vazões mínimas para secagem de mandioca, calculadas a partir dos modelos de deterioração e secagem, para as condições de 20, 30 e 40°C - de temperatura, e 25, 40 e 55% de umidade relativa do ar.

SUMMARY

About of 80 per cent of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) world production is used for human consumption. It supplies near 10 per cent of calories requirements for man. It's an alimentary product rich in carbohydrates, basic for 300 millions of people in the Tropical Countries.

Due to two characteristics of cassava (high moisture content and hand harvesting) is subjected to rapid deterioration, thus, requiring proper technics for its use, preservation and processing.

One way to evaluate losses of cassava during processing in drying is to quantify deterioration using decoloration of product; quality factor determine a degree of product acceptability.

An Empirical Mathematical Model was developed to predict cassava losses during a "barcaça" drying process, using forced air heated with solar collectors. The Model was based on deterioration of cassava when cut in round shape slices (5mm of thickness and 35 to 40 mm in diameter), as a function of decoloration evaluation of cassava was made through of index of deterioration pre-established, having a numerical escale between 0,0 and 1,0 in which 0,0 equal a 100 per cent deterioration and 1,0 equal zero per cent deterioration; index of deterioration was related to espectrophotometer values.

Obtained Mathematical Model was:

$$ID = -0,509702 + 0,781174 \left[0,792674 (0,0421605 \text{ teq} - 3,619430) \right]$$

$$19 \leq \text{teq} \leq 129$$

where,

$$\text{teq} = \frac{t}{\text{Mu Mt}}$$

being:

$$\text{Mu} = \frac{1}{0,00057616 U^{1,98649305}}$$

$$U < 43,10\%$$

$$\text{Mu} = 2,7998871 - 0,00417607 U$$

$$U \geq 43,10\%$$

$$\text{Mt} = 1 + (0,118163 - 0,0731257 \ln U + 0,0000891083 U^{1,7987}) (T - 30)$$

$$T \leq 30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Mt} = 1 + (0,162703 - 0,109811 \ln U + 0,033245 U^{0,497069}) (T - 30)$$

$$T \geq 30^{\circ}\text{C}$$

Previous model was tested when drying 45 kg of cassava, cut in slices, using a "barcaça" dryer and solar collector. By mathematical simulation and by use of Thompson's Model adapted by Villa et al (1979). Experimental data and cal-

culated values were compared.

Minimum air flow rates for cassava drying were calculated for the following conditions: 20°C, 30°C and 40°C of air temperature, and 25, 40 and 55 per cent of relative humidity of air.

SIMBOLOGIA

Símbolo

Cp	- calor específico, kcal/kg °C
DE	- diferença total de cor
H	- umidade absoluta do ar, kg de vapor/kg de ar seco
ID	- índice de deterioração
L	- calor latente de vaporização, kcal/kg
M	- teor de umidade média do produto, base seca, decimal
Meq	- teor de umidade de equilíbrio, base seca, decimal
Mo	- teor de umidade inicial, base seca, decimal
Mt	- multiplicador de temperatura
Mu	- multiplicador de umidade
m,n,q	- parâmetros da equação de camada delgada
Pi,qi	- parâmetros da equação de umidade de equilíbrio
Pv	- pressão de vapor da água, kg/m ²
Pvs	- pressão de saturação de vapor de água, kg/m ²
t	- tempo de secagem, horas
teq	- tempo equivalente, horas
T	- temperatura de bulbo seco, °C
Tp	- temperatura do produto, °C
U	- umidade do produto, base úmida, decimal
Δt	- intervalo de tempo, horas

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ) é uma fonte disponível de carboidratos e energia nas regiões tropicais; representa uma cultura de real importância, quer pela quantidade de matéria prima produzida por unidade de superfície, quer pelas suas múltiplas aplicações na alimentação humana, animal e na industrial. No geral emprega-se a mandioca em forma de raspas, farinhas, fécula e seus derivados, como álcool e acetona.

O Brasil produz aproximadamente 26 milhões de toneladas de mandioca por ano, especialmente na região Nordeste, cujo rendimento médio das raízes é de 15 a 17 toneladas por hectare (18).

As características de colheita, a alta perecibilidade da mandioca "in natura" e as exigências do mercado de exportação têm motivado os pesquisadores, os produtores e os industriais a estudar métodos mais técnicos para o aproveitamento e conservação da mandioca para a garantia da excelente qualidade do produto.

A demanda mundial de mandioca cresceu a partir de 1962 a 1971 em cerca de 300%, estimando-se que para 1980, possa alcançar cerca de 600% (38).

A utilização da mandioca em forma de raspa tem sido aproveitada principalmente como componente da alimentação

animal, concorrendo com o trigo, milho e cevada, sobretudo nos países da Comunidade Econômica Européia, onde tem sido triplicada as importações nos últimos 10 anos. Cerca de 80% do mercado mundial de raspas de mandioca são supridos pela Indonésia e a Tailândia; nestas regiões produtoras, as raízes cortadas são secas em pisos de concreto ou madeira. Este simples processo de secagem requer considerável manuseio do produto, além de expô-lo permanentemente à ação dos agentes deteriorativos e climáticos - da natureza.

Sendo a mandioca um produto que contém elevada umidade inicial (60-70% base úmida)¹, é necessário evaporar 1750 kg de água para produzir uma tonelada de raspas, com umidade final de 13%; uma forma econômica e técnica para se usar essa operação consiste na utilização da energia solar.

A agressividade do produto brasileiro no mercado internacional, depende da qualidade do produto, aliado ao menor preço. Para atender essas exigências tornam-se necessários estudos para melhor avaliar os processos de secagem de raspas de mandioca, sobretudo no aproveitamento eficaz de alguns sistemas de secagem, como por exemplo, a utilização de barçaça, como foi já estudado, para outros produtos.

O presente trabalho visa quantificar a deteriora-

¹ As unidades, no presente trabalho, são expressas em base úmida, exceto especificações.

ção da mandioca, em função da mudança de cor durante o processo de secagem em barcaça com convecção forçada de ar aquecido com coletor solar. Com os resultados obtidos experimentalmente se estudou um modelo matemático que contribua para aperfeiçoar as operações de secagem de mandioca.

2. OBJETIVOS

- 2.1. Quantificar a deterioração da mandioca durante o processo de secagem.
- 2.2. Desenvolver um modelo matemático, de previsão da deterioração da mandioca, em função da mudança de cor, durante a secagem.
- 2.3. Provar o modelo matemático de deterioração, sob condições de secagem em barcaça com convecção forçada de ar, aquecido com coletor solar.
- 2.4. Determinação de vazões mínimas, para a secagem, garantindo a qualidade do produto, sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Produção de Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ) é o produto alimentício carboidratado, que fornece elevado número de calorias, a cerca de 300 milhões de pessoas dos países tropicais.

A produção mundial da raiz de mandioca, no ano agrícola de 1978 foi estimada em 119,4 milhões de toneladas para uma área cultivada de 13,1 milhões de hectares, com um rendimento médio de 9,09 ton/ha.

A produção global de tubérculos de mandioca é indicada na Tabela 1.

TABELA 1 - Superfície cultivada, rendimento e produção mundial da raiz de mandioca, por regiões.

Região	Superfície (1000 ha)	Rendimento (ton/ha)	Produção (1000 ton)
África	6.694	6,581	44.056
América Central	121	6,306	764
América do Sul	2.705	11,400	30.840
Ásia	3.587	12,111	43.499
Oceania	20	11,064	216

Fonte: FAO, 1979. Production Yearbook.

O Brasil teve produção de 25,4 milhões de toneladas em 1978 (18), é o maior produtor mundial, sendo também, considerado um dos maiores consumidores e, que pouco participa no processo de exportação. Menos de 1% equivalente à raiz "in natura" é exportado para a Europa, cujo mercado consumidor é previsto para 1980 em 10 milhões de toneladas de mandioca em forma de raspas. Entre os países importadores destacam-se Holanda, seguido da França, Dinamarca e Alemanha (37,38,52).

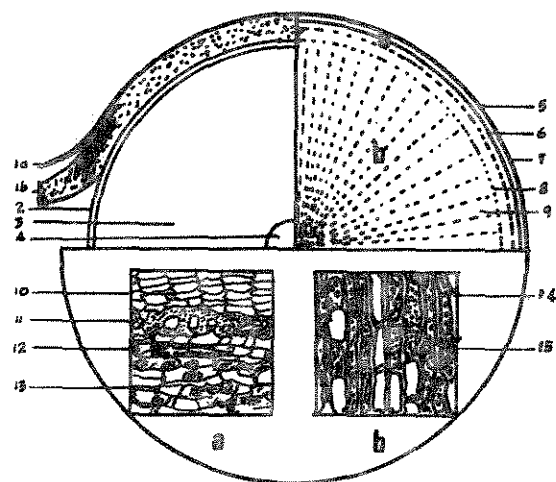
A mandioca é utilizada em mais de 80% da produção mundial, para o consumo humano fornecendo cerca de 8 a 10% das calorias requeridas pelo homem. Segundo Nestel e Cock (1976) a expectativa do número de pessoas que depende da energia proveniente da mandioca vai ser o dobro, ao final deste século.

3.2. Características da raiz da mandioca

A mandioca é uma planta da família das euforbiáceas, originária da América e cultivada nas regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo (1,14,36,52).

A cultura de mandioca é bastante difundida, não apresentando dificuldades para o cultivo, ataque de pragas e moléstias. Desenvolve-se em solos de média fertilidade apresentando rendimentos satisfatórios de tubérculos, que constituem excelente fonte de carboidratos (1,19,42).

Na Figura 1 representa-se uma seção transversal da raiz de mandioca. Na parte exterior apresenta uma película



Quadrante superior da esquerda

1. pele
- 1a. camada tuberosa exterior
- 1b. camada interior
2. região cambial
3. parte central
4. medula e protoxilema

Detalhe a: corte transversal da pele muito aumentada

10. tecido tuberoso
11. fibras esclerenquimatosas
12. amido (grãos pequenos)
13. célula parenquimatosa

Quadrante superior da direita
(elementos estruturais da raiz)

5. casca
6. fibras esclerenquimatosas
7. tubos laticíferos
8. câmbium
9. vasos do xilema

Detalhe b: corte transversal da parte central, muito aumentada

14. parede das células
15. amido (grãos grandes)

FIGURA 1 - Secção transversal da raiz de mandioca.

Fonte: GRACE, M. 1973. "Traitement du manioc".

fina que se esfolia facilmente, ao atrito. Apresenta essa pelí-
cula diversas colorações podendo ser parda, alaranjada, parda -
escura, etc. Logo abaixo segue-se a camada cortical, formada -
por numerosas células amiláceas e, possuindo boa consistência;
apresenta-se também diversamente colorida: amarela, violácea, rô-
xa e branca. A seguir destaca-se o floema com vários anéis con-
cêntricos de vasos que concrestem entre si tangencialmente, va-
sos esses que contêm o glicosídeo, responsável pela formação do
ácido cianídrico. Em seguida e finalmente, a parte carnosa ou
cilindro central, cujo tecido é rico em fécula; possui feixe de
fibras, com aspecto de barbante, ricas em celulose, as quais
atravessam no centro, no sentido do comprimento da raiz (1,19 ,
42).

A mandioca recém colhida apresenta aproximadamen-
te a seguinte composição:

Umidade	60-70%
Amido	20-34%
Proteínas	1-2,5%
Gorduras	0,2-0,4%
Açúcares	0,5-1,0%
Fibras	0,7-1,2%
Cinzas	0,5-0,9%

As variedades, quer bravas, quer mansas contêm
um glicosídeo, manihotoxina ou manotosídeo cujo aglicom é o áci-
do cianídrico. As bravas o contêm em qualquer estágio, e as man-
sas só em estágio de desenvolvimento incompleto e, em pequena

proporção (11,27).

A mandioca tem distintos usos, sendo os principais: alimentação humana em forma direta; farinha, após o processamento e, usada também como componente do pão; para produção de proteína fungal; como produto industrial, aproveitando o baixo conteúdo de amilose e alto conteúdo de amilopectina, os quais conferem alta viscosidade, produzindo excelente qualidade adesiva, convertendo-se em boa matéria prima para as indústrias de tecidos e de papel; também é utilizada como componente da alimentação animal concorrendo com o trigo, milho e cevada; e agora como alternativa de produção de álcool em grande escala (1,5,6,19,23,27,32,33,37,38,39,42,52).

3.3. Deterioração da mandioca após a colheita

A deterioração inicial das raízes de mandioca depende geralmente, do grau da danos mecânicos durante a colheita. O processo de preparo das raízes, para a produção de raspas constitui operação que facilita o início da ação deteriorativa, mesmo antes de decorridas as primeiras 10 horas, após o corte das raízes de mandioca (39).

Averre (1967) relata que o estriamento vascular das raízes de mandioca inicia-se nas superfícies cortadas.

Segundo Booth (1975), existem duas fases, bem definidas, na deterioração das raízes de mandioca. A deterioração primária, que no geral, se verifica 2 a 5 dias após a colheita,

apresentando como consequência principal, as alterações de cor nos tubérculos inteiros. Essa mudança de cor ocorre pelo aparecimento de estrias vasculares finas, de cor azul preto, conforme -relata Averre (1967) e, posteriormente descrita e ilustrada por Montaldo (1973). Com o passar do tempo, esse estriamento se desenvolve aumentando a intensidade e extendendo-se a todo tecido não vascular, que adquire a coloração marrom escura ou parda. Nestas condições, a mandioca, ao atingir este estágio de deterioração, não deve ser utilizada para o consumo humano e industrial.

A deterioração secundária refere-se aos danos patológicos, às fermentações e a perda de textura, que ocorre nas raízes após a colheita.

Pacheco (1954) citado por Montaldo (1973), indica duas causas de deterioração da mandioca após a colheita: primeiro, as enzimas das raízes são muito ativas após a colheita, e em segundo lugar a elevada proliferação de microrganismos. Ele determinou a cor, a viscosidade e a velocidade de sedimentação, em amostras de amido preparadas de raízes de mandioca recém colhidas e de raízes armazenadas por 24, 48 e 72 horas. A perda da qualidade do amido foi significativa, principalmente, pela alteração de cor observada em amido extraído das raízes armazenadas.

Averre (1967) depois, de uma série de observações, deduziu que o estriamento vascular, que ocorre na mandioca, após a colheita, deve-se à presença de enzima natural, em virtude dos seguintes fatores:

- inalteração na variação de cor, após o tratamento das raízes a 53°C, durante 45 minutos.

- Completa ausência de estriamento vascular em raízes submergidas em água.

Em outro experimento, Averre (1970), com o objetivo de mostrar a ação da enzima natural, sobre o estriamento vascular, armazenou raízes de mandioca entre 15 e 23 dias, em condições anaeróbicas e aeróbicas, em temperaturas entre 15 e 35°C; a alta frequência do estriamento vascular (45 e 100%) foi encontrada, em raízes, em condições aeróbicas; em condições anaeróbicas, em três casos observou-se o estriamento vascular.

Montaldo (1973), realizou estudos para avaliar a evolução do estriamento vascular conforme os dados apresentados na Tabela 2. A seguir, estudou também, o efeito da temperatura - no desenvolvimento das estrias vasculares, em raízes de mandioca de diferentes tamanhos (grande, 800 g; média, 400 g e pequena, 250 g) durante o armazenamento, cujos dados estão indicados na Tabela 3.

TABELA 2 - Avaliação do estriamento vascular em raízes de mandioca.

Área da seção transversal afetada (%)	Avaliação Nº
0	0
10	1
20	2
30	3
40	4
50	5
60	6
.	.
.	.
.	.
100	10

TABELA 3 - Efeito da temperatura e tempo de armazenamento na perda de peso e estriamento vascular das raízes de mandioca.

Tempo de armazenamento	1 semana		2 semanas		3 semanas	
Tamanho das raízes	Perda de peso (%)	Estr. vasc.	Perda de peso (%)	Estr. vasc.	Perda de peso (%)	Estr. vasc.
Armazenamento a 0°C						
Grande	7,2	0	3,0	0	4,0	0
Média	5,9	0	2,6	0	4,5	
Pequena	10,5	0	0,9	0	8,1	4
Armazenamento a 5°C						
Grande	7,6	0	2,9	0	6,0	0
Média	8,5	0	6,7	0	10,0	3
Pequena	7,7	0	0,7	0	7,7	1
Armazenamento a 10°C						
Grande	13,0	10	-	-	-	-
Média	8,8	10	-	-	-	-
Pequena	12,0	10	-	-	-	-

Lozano et al (1978) estudaram em mandioca armazenada, a deterioração fisiológica caracterizada pelo aparecimento de cor marrom, que aparece em forma de círculos concêntricos na periferia. Esta deterioração ocorre nas primeiras 48 horas após a colheita. Estudaram também a deterioração microbiológica iniciada seguidamente, ao estriamento vascular.

Booth (1975) quantificou a deterioração total apresentada nas raízes de mandioca, em forma de índices, da seguinte maneira: índice 0 = não tem deterioração; 1 = 25% de deterioração; 2 = 50% de deterioração; 3 = 75% de deterioração; 4 = 100% de deterioração.

Braverman (1967) e Colowick e Kaplan (1955), manifestaram que, os fatores que produzem escurecimento e amolecimento dos alimentos, entre outros, destacam-se as enzimas como a peroxidase que ocasiona escurecimento e, as amilases que aceleram a degradação do amido, produzindo a perda de textura da raiz de mandioca.

3.4. Preparo da raiz de mandioca para obtenção de raspas

A raspe é o produto mais importante dos desidratados de mandioca, consistindo em raízes cortadas manual ou mecanicamente e secas ao natural ou artificialmente (42).

No Brasil, a raspa é utilizada na alimentação animal, como elemento complementar de rações balanceadas, e na alimentação humana, na forma de farinha empregada no consumo direto

ou em panificação para a produção do chamado pão misto (10% de farinha de mandioca em mistura com farinha de trigo).

Na África e Ásia é produzida em escala bem acentuada, principalmente, nas regiões de Madagascar, Indonésia e Tailândia.

A produção de raspa tomou impulso quando a indústria européia de fermentação e forragem começou a interessar-se, no começo deste século, por essa matéria prima amilácea (1,38,42 43).

Para obter-se as raspas de mandioca, uma vez colhida as raízes, são pesadas e transportadas ao lugar de pré-processamento. Feita a seleção de forma manual, procede-se ao descascamento e lavagem das raízes, que pode ser realizado manual ou mecanicamente, em máquina lavadora-descascadora, removendo os resíduos de terra e material estranho da superfície das raízes; este tipo de operação além de evitar danos na máquina cortadora, garante um produto final de boa qualidade. Posteriormente, se faz o corte das raízes em fatias de aproximadamente 5 mm; este corte é realizado manual ou mecanicamente em máquinas cortadoras de variados tipos: de discos, troncocônicos e cilíndricos (27,42, 50); após, procede-se a secagem.

3.5. Secagem de mandioca

A secagem é uma operação das mais importantes para a obtenção de produto de boa qualidade e, também, para permi-

tir o armazenamento por períodos longos, sem perda sensível de qualidade do produto. A secagem de mandioca pode ser feita em terreiros, que é hoje o método mais utilizado nos países em desenvolvimento, apesar das altas perdas que ocorrem; também é feita artificialmente, em estufas ou por convecção forçada de ar aquecido com coletores solares (22,39,41,42,50).

O conteúdo de umidade inicial da mandioca varia entre 60 e 70%. A mandioca uma vez cortada, deve reduzir o conteúdo de umidade, a um nível de 50% de matéria seca nas primeiras 10 horas de secagem para não se deteriorar (39).

Vieira Souto, citado por Scholz (1971), era de opinião que os pedaços de mandioca podiam ser direta e rapidamente secos ao sol, ou em estufas, evitando-se a prensagem do produto, que ocasiona redução até de 30% de água, e perdas de 5 a 10% de amido e, cerca de 30% das proteínas contidas no líquido da prensagem.

3.5.1. Secagem natural

É o processo onde os pedaços de mandioca são colocados diretamente em terreiros sobre superfícies de concreto, tijolos ou simplesmente sobre chão batido, onde é submetido a movimentação permanente para secagem uniforme. Este simples processo de secagem requer considerável manuseio do produto além, de expô-lo permanentemente à ação dos agentes deteriorativos e climáticos da natureza. Além disso, verificou-se que a reabsorção da umidade pelas fatias, parcialmente secas é de grande desvantagem,

por torná-las amarelas, modificando a pureza da cor, sobretudo - em lugares úmidos (34).

A duração do período de secagem depende da temperatura, umidade e velocidade do ar, e da superfície evaporante ; como média, pode-se dizer que, em São Paulo, em dias ensolarados a secagem ocorre entre 4 a 6 dias, chegando as fatias a 15% de umidade final.

Lavigne (1966) citado por Roa (1974) encontrou que a mandioca colocada em bandejas com densidade de 10 a 15 kg/m² e movimentada permanentemente, necessita de 70 horas de sol para obter-se produto totalmente seco.

Na maioria dos sistemas comuns usados para secagem natural, os pedaços de mandioca são colocados diretamente na superfície de concreto; a velocidade do vento junto ou próxima à superfície, é muito baixa e o movimento do ar, que se pode esperar entre a camada de mandioca é também bastante baixa (39).

Roa (1974) colocando fatias de mandioca em peneiras, a uma altura de 30 cm do chão, secou-as mais rapidamente - que as fatias colocadas no chão, devido ao maior movimento do ar (Figura 2). Verificou também, que os pedaços de mandioca colocados em secadores verticais, aproveitam melhor o vento aumentando ainda mais a velocidade da secagem.

Em lugares, onde existem limitações da utilização da energia elétrica, ou que a produção de mandioca não é grande,

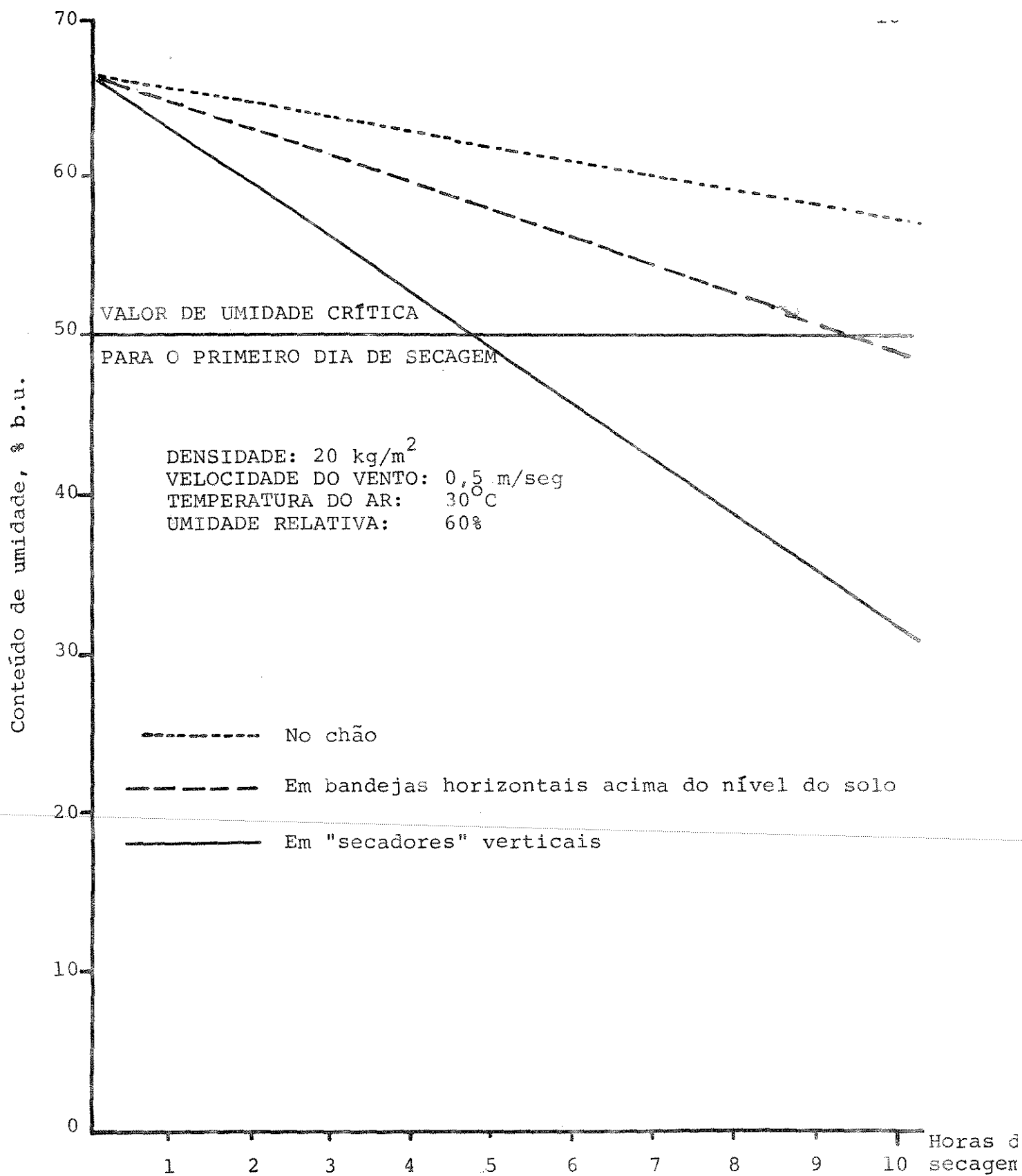


FIGURA 2 - Curva de secagem em função de diferentes sistemas de secagem usando barras de $0,90 \times 0,90 \times 5,0 \text{ cm}$ (simulado)

justificando os altos custos dos equipamentos, o sistema de secagem natural, pode ser o mais indicado (50).

3.5.2. Secagem artificial

A secagem artificial é o processo feito com convecção forçada de ar aquecido, por um queimador de combustível, ou de lenha e insuflado por meio de um ventilador.

Este tipo de secagem, geralmente é utilizado nas fábricas especializadas na produção de farinhas de raspas. Inicialmente a mandioca é submetida a prensagem, sendo o seu principal papel, o de eliminar grande parte da umidade das fatias (25-30%), contribuindo para diminuir o consumo de combustível. Uma desvantagem desta prática é de que, coopera para um relativo empobrecimento das raspas, em consequência de perdas por arrastamento de produtos sólidos.

Segundo Scholz (1971), temperaturas de secagem - muito elevadas (acima de 55°C) com referência ao ar que entra no secador, trazem efeitos de gelatinização, impedindo a secagem rápida e, de dextrinização, se o processo é prolongado demais; ambos efeitos são indesejáveis na fabricação, pois, altera o aspecto do produto tornando-o até escuro-amarelo, perdendo a possibilidade de sua multi-aplicação.

Inúmeros tipos de secadores tem sido estudados, para a secagem de mandioca. Por suas características podem ser agrupados da seguinte maneira:

- a) Com câmara de secagem e camadas de fatias fixas.
- b) Com câmara de secagem fixa e lençol de fatias móveis.
- c) Rotativos.

Segundo o tipo de secador, o tempo de secagem pode variar de 5 a 20 horas.

3.5.2.1. Secagem artificial de mandioca com auxílio de coletores solares

Como grande alternativa para a secagem de mandioca tem sido pesquisada a utilização da convecção forçada de ar aquecido com auxílio de coletores solares.

Onn (1972) e Gill (1972) citados por Roa (1974), realizaram secagem de rodela de mandioca, em bandejas com aquecimento de ar com coletor solar insuflando-o através da camada de produto, mediante o uso de ventilador, encontrando bons resultados, sobretudo quando as camadas não são muito espessas.

Villa et al (1979) utilizando uma barcaça de 15 m², e ar aquecido por um coletor solar de 60 m², conseguiram secar 3 toneladas de mandioca, cortada em forma de barras retangulares. O produto apresentou umidade inicial de 62%; a umidade final foi de 10%. Um ventilador centrífugo movimentou uma vazão de 60 m³/min-ton, durante toda a operação de secagem, sendo que a média de temperatura e umidade relativa do ar foi respectivamente, 35,2°C e 42,7%. O coletor solar aumentou a temperatura - em 6,6°C e reduziu em 18,1% a umidade relativa, em relação às

condições ambientais.

Na Figura 3 apresentam-se as curvas de secagem a diferentes alturas da camada espessa colocada na barcaça. Observa-se que após 30 horas de secagem, a média do conteúdo de umidade foi menor que 13%.

3.6. Simulação matemática da secagem de mandioca por convecção forçada de ar

Uma maneira de resolver problemas que permitam uma análise quantitativa, consiste na utilização de Modelos Matemáticos. A secagem e a deterioração dos produtos agrícolas por serem problemas eminentemente técnicos, podem ser quantificados.

O Modelo de secagem de Thompson et al (1968), foi adaptado por Villa et al (1979) para simular secagem de mandioca, por convecção forçada de ar ambiente e aquecido por coletores solares. Este Modelo matemático, basicamente divide o processo contínuo de secagem em pequenos intervalos de tempo, calcula as características de secagem de uma camada delgada, e, depois integra os efeitos em várias camadas para obter os resultados para cada intervalo de tempo.

O Modelo para a sua aplicação, necessita de dados de temperatura e umidade inicial do produto, e das condições de secagem (temperatura e umidade relativa).

Na Figura 4 são apresentados os balanços de ener-

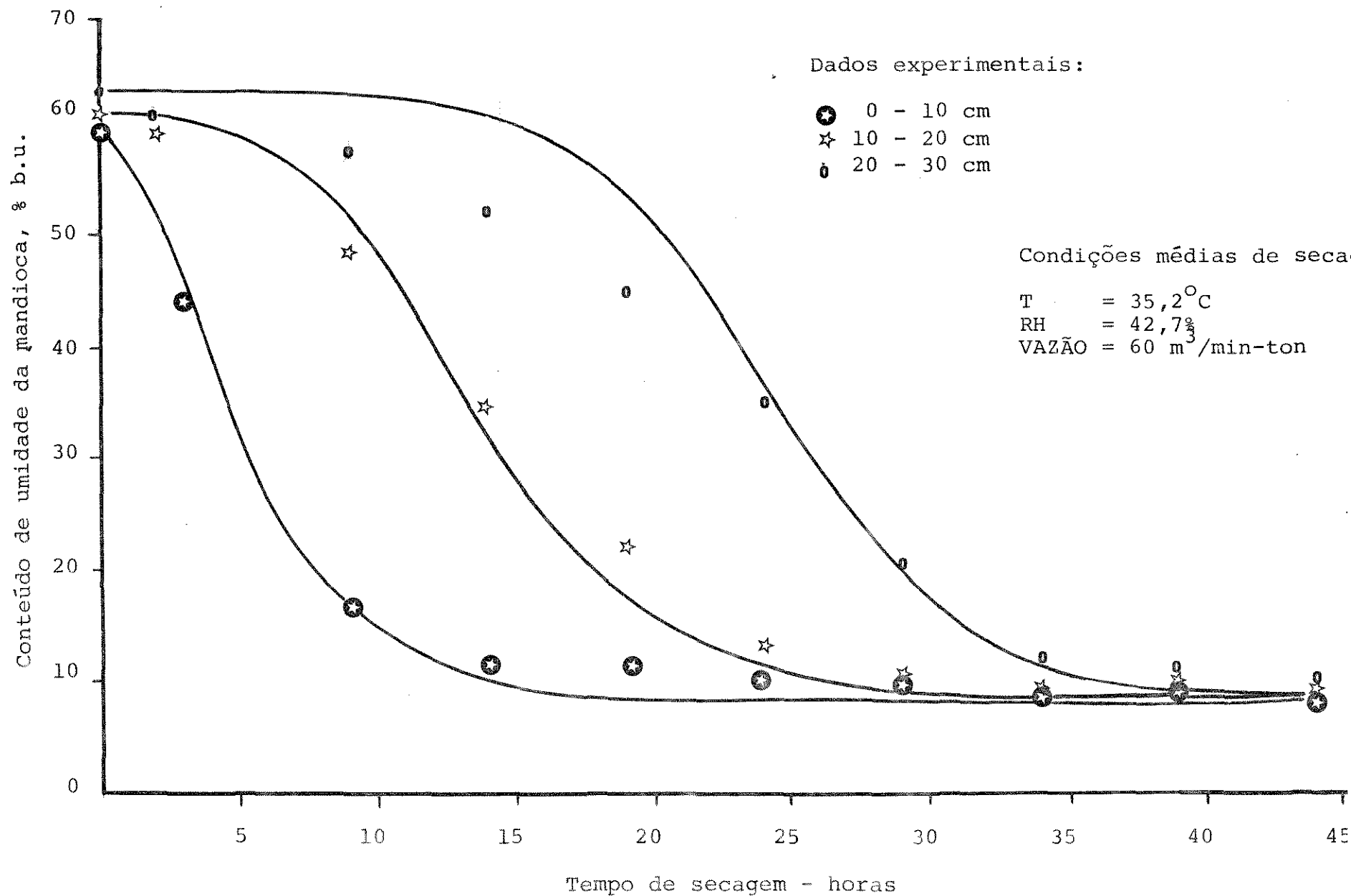


FIGURA 3 - Curvas de secagem de mandioca para diferentes alturas da camada colocada em bar-
caça, com aquecimento de ar por coletor solar.

gia e massa num intervalo Δt , para a secagem de uma camada delgada.

A previsão da secagem de uma camada grossa (massa total do produto) é feita, considerando a secagem de camada delgada, onde as condições finais de cada camada são usadas como iniciais da seguinte, e assim até completar a simulação de toda a massa.

O Modelo de secagem de Thompson et al, está escrito em FORTRAN IV (linguagem de computador).

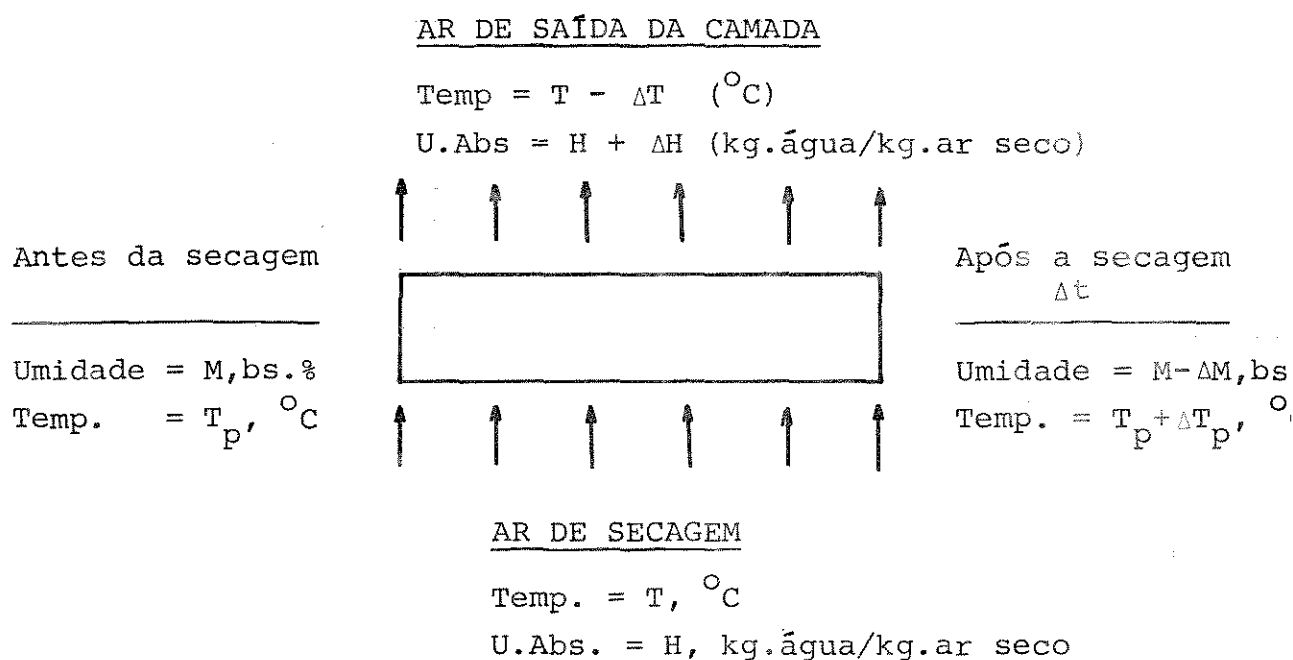


FIGURA 4 - Diagrama esquemático da simulação de secagem de uma camada delgada.
Thompson et al, 1968.

3.6.1. Propriedades básicas para secagem de mandioca

As seguintes equações representam as propriedades básicas para a secagem de mandioca.

3.6.1.1. Umidade de Equilíbrio

O conteúdo de umidade de equilíbrio, pode ser calculado pela seguinte equação obtida por Roa (1974):

$$Meq = ((P_1 RH + P_2 RH^2 + P_3 RH^3) \exp ((P_4 + P_5 RH^3) (T + P_6))) / 100 \quad (3.1)$$

onde,

Meq = umidade de equilíbrio, base seca, decimal.

RH = umidade relativa do ar, decimal.

P_i = parâmetros do produto,

sendo,

$$P_1 = 665,707$$

$$P_2 = -1261,97$$

$$P_3 = 622,394$$

$$P_4 = -0,0085$$

$$P_5 = 0,0155$$

$$P_6 = 273,00$$

3.6.1.2. Equação de Camada Delgada

O Modelo matemático de Thompson, adaptado por Villa et al (1979), para secagem de mandioca, utiliza a equação de camada delgada desenvolvida por Roa e Macedo (1976), sendo que os parâmetros foram obtidos mediante regressão não linear - (50).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -mq(M - M_{eq})(P_{vs} - P_v)^n t^{q-1} \quad (3.2)$$

onde,

M = teor de umidade do produto, base seca, decimal

M_{eq} = teor de umidade de equilíbrio, base seca, decimal

P_{vs} = pressão de vapor de saturação, kg/m²

P_v = pressão de vapor, kg/m²

t = tempo, horas

m,n,q = parâmetros do produto, sendo para mandioca:

$$m = 0,0528022$$

$$n = 0,378464$$

$$q = 0,873252$$

3.6.1.3. Calor Latente de Vaporização

Baseado na equação de umidade de equilíbrio e usando o método de Othmer (1940), Villa et al (1979) determinaram a seguinte equação para o calor latente de vaporização da mandioca:

$$L = 0,55555(1075,76 - 1,026 T)(1 + 9,56201) \exp(-35,94 M) \quad (3.3)$$

onde,

L = calor latente de vaporização, kcal/kg

T = temperatura, °C

M = teor de umidade, base seca, decimal.

3.6.1.4. Calor Específico

A seguinte equação foi usada por Villa et al

(1979) para calcular o calor específico da mandioca, em função do conteúdo de umidade do produto:

$$C_p = 0,4 + 0,6 M \quad (3.4)$$

onde,

C_p = calor específico, kcal/kg^oC

M = teor de umidade, base seca, decimal

3.7. Modelo Matemático para prever a deterioração de mandioca durante a secagem

Devido à necessidade do incremento da produção - de alimentos, e de manter a qualidade dos produtos agrícolas - nas operações de secagem e armazenamento, para obter-se posteriormente produtos de ótima qualidade, realizaram-se algumas pesquisas, com a finalidade de estudar a relação das condições de temperatura e umidade com a deterioração dos produtos.

Steele(1967) realizou um estudo utilizando a produção de bióxido de carbono como índice de deterioração, em armazenamento de milho. Encontrou uma relação quantitativa entre a produção de dióxido de carbono do milho em função do tempo, da temperatura, do teor de umidade e do dano mecânico.

Villalobos (1977) determinou o efeito das variáveis da secagem em silos sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja.

Iturra (1979), estudou um modelo matemático para

a previsão da deterioração do café, durante a pré-secagem em barcaças por convecção forçada, com auxílio de coletores solares.

Não se encontrou na literatura trabalhos que permitissem quantificar a deterioração da mandioca, durante sua secagem. Em consequência, a presente pesquisa visa a obtenção de dados experimentais e análise matemática correspondente, para elaborar um modelo matemático que permita quantificar a deterioração da mandioca.

3.8. Condições mínimas necessárias para secagem de mandioca em barcaça com convecção forçada de ar

Modelos matemáticos, que simulem o processo de secagem baseados geralmente, em equações de transferência de calor e massa, e modelos, quantificando a deterioração de produtos durante as operações de secagem e armazenamento, tem provado ser um recurso tecnológico útil e eficaz, para determinar as vazões mínimas de ar, com diferentes condições de temperatura e umidade relativa, durante o processo de secagem, para obter produtos de boa qualidade.

Iturra (1979), determinou as vazões mínimas necessárias para a secagem de café, em barcaça, com ar aquecido por coletores solares, utilizando como critério de deterioração, o crescimento de fungos.

Villalobos (1977), analisou diferentes condições

de secagem de sementes de soja, em silos, utilizando ar ambiente e aquecido por coletores solares, sendo que o critério de deterioração foi baseado na qualidade fisiológica da semente de soja.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Matéria prima

Raízes de mandioca da variedade "Guaxupe", cultivadas na Fazenda Palmital, do Município de Campinas, de 15 meses de idade foram utilizadas no presente trabalho.

4.1.2. Outros materiais

Sais minerais: sulfato de potássio (K_2SO_4), cloreto de sódio (NaCl) e cromato de potássio (K_2CrO_4).

4.1.3. Equipamentos

- Cortador manual de mandioca, feito na UNICAMP.
- Lavador-descascador, de tambor rotativo, de 1 m de diâmetro e 40 rpm, feito na UNICAMP.
- Estufa com circulação forçada de ar e controle termostático, FABBE.
- Cadinhos de alumínio.
- Dessecadores.
- Balança analítica, com precisão de 0,0001 g, SARTORIUS.
- Unidade AMINCO-AIRE com controle de umidade e temperatura, 4-5460A, American Instruments Co.
- Frascos de vidro com tampa, de 1650 ml de capacidade.

- Termômetros com graduação de 0-60°C.
- Câmara General Electric, com controle termotático marca FANEM, faixa -10 a 50°C.
- Coletor solar plano de 60 m² (20 m de comprimento x 3 m de largura).
- Ventilador centrífugo Kongsilde, com motor de 7,5 hp Arno.
- Válvula de gaveta para controle de fluxo de ar, faixa 0-3,2 m³/seg.
- Barcaça com fundo perfurado (2%), de 5 x 3 m, altura útil de 0,60 m e capacidade de 5 ton de mandioca cortada.
- Termohigrógrafos, Type II, Ota Self Recording Weather Instruments.
- Caixas de madeira de 0,35 x 0,35 x 0,60 m.
- Peneiras de madeira de 0,31 x 0,31 x 0,10 m.
- Anemômetro de asas rotacionais.
- Balança de prato, com capacidade para 25 kg com divisões de 10 em 10 g, Dayton.
- Espectrofotômetro, com disco 7900A e lâmpada de Xenon XBO 250 W, Filterfarbmessgerät RFC-3, ligado ao computador HP-2100 A, Hewlett Packard.
- Computador HP-67, Hewlett Packard.
- Computador Digital PDP-10.

4.2. Métodos

4.2.1. Acondicionamento da matéria prima

As raízes de mandioca foram retiradas do solo manualmente, e imediatamente, transportadas em caixas de madeira à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da UNICAMP; procedeu-se às operações de seleção, lavagem, descascamento e corte.

4.2.2. Desenvolvimento do Modelo Matemático de Deterioração

4.2.2.1. Metodologia experimental

Selecionaram-se raízes de mandioca, com diâmetros na faixa de 35 a 45 mm. As raízes foram lavadas, descascadas e cortadas em rodela de 5 mm de espessura; posteriormente, foram colocadas em câmara de 0,15 x 0,15 x 1,50 m, contendo peneiras de arame em camada delgada, para serem secas com ar a 36°C e 36,5% de umidade relativa; a câmara era ligada à unidade AMINCO-AIRE, para o controle de temperatura e umidade relativa.

O produto apresentou umidade inicial de 60,82%. - Durante a secagem, mediante pesagens consecutivas obtiveram-se os seguintes níveis de umidade do produto: 50,01%, 43,10% e 30,43%. Estes níveis de umidade foram determinados em estufa de circulação forçada de ar, com controle termostático (100°C/48 horas).

Utilizando-se três câmaras com controle termostático, foram colocadas amostras de rodela de mandioca em frascos de vidro a 20, 30 e 40°C. Em cada câmara, colocaram-se as amos-

tras com 4 níveis de umidade: 30,43%, 43,10%, 50,01% e 60,82% - (umidade inicial), com três repetições cada. Em consequência, em cada câmara mantinham-se 12 frascos com amostras.

Os frascos (Figura 5) continham, além das rodelas de mandioca, 100 ml de solução saturada de um sal específico, que manteve a umidade relativa constante no seu interior. Desta maneira, as amostras em cada câmara, mantiveram a umidade de equilíbrio, com a umidade relativa controlada pelas soluções salinas. Os sais empregados, a umidade relativa e a umidade do produto, esperada em cada frasco, estão indicados na Tabela 4.

Os frascos foram mantidos nas câmaras até 100% de deterioração das amostras, sendo que as observações foram feitas duas vezes ao dia.

a) Determinação dos índices de deterioração

Para quantificar a deterioração das rodelas de mandioca, utilizando-se como critério a mudança de cor em relação ao tempo, temperatura e umidade do produto, foram realizados uma série de testes preliminares, estabelecendo-se uma escala de índices de deterioração, em forma subjetiva. Esta escala foi relacionada posteriormente, com testes feitos num espectrofotômetro, sendo que os dados em base da diferença de cor foram transferidos para um computador ligado ao espectrofotômetro. Cor relacionando os dados obtidos subjetiva e objetivamente, estabeleceu-se os índices de deterioração, como é indicado na Tabela 5.

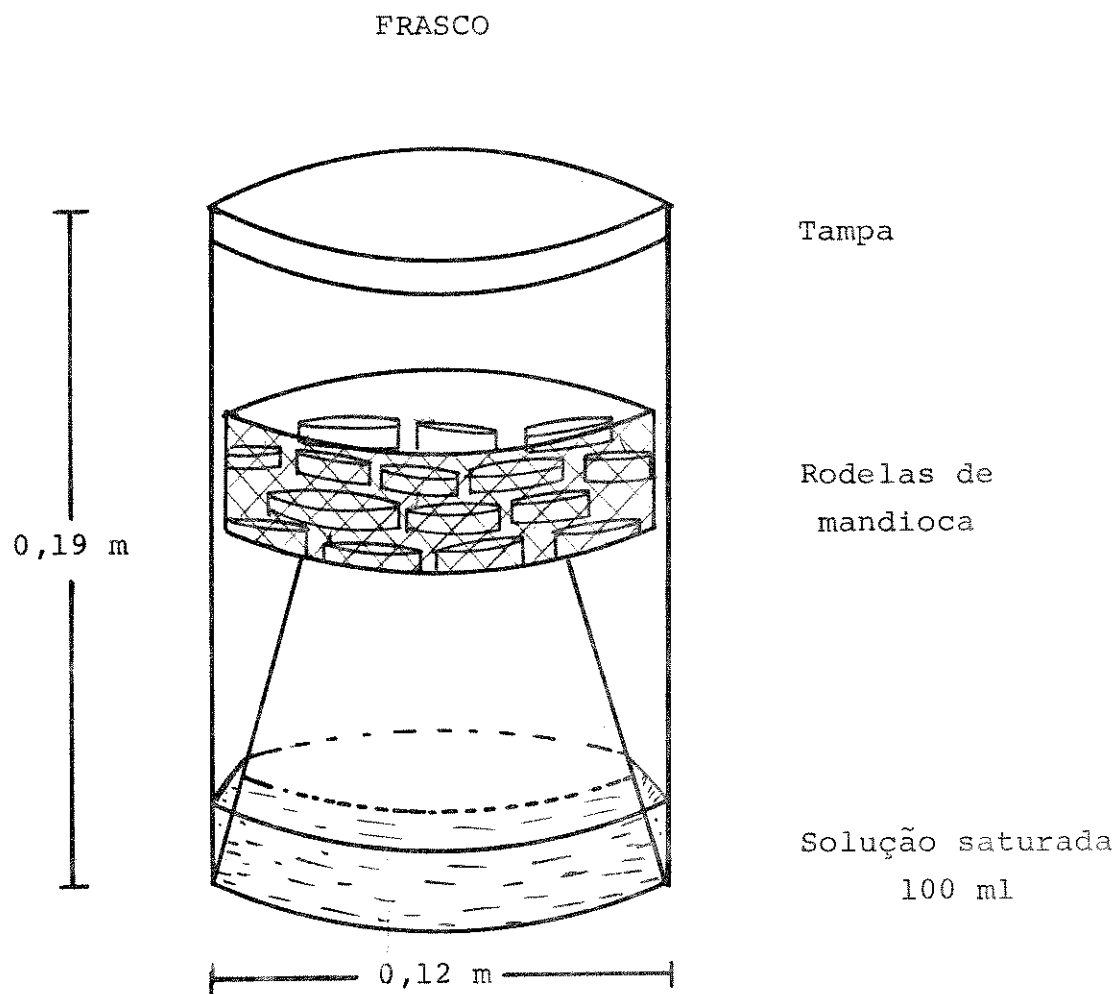


FIGURA 5 - Disposição das rodelas de mandioca e da solução no interior dos frascos.

TABELA 4 - Umidade relativa nos frascos e umidade esperada da mandioca¹.

Temperatura da câmara	Sal empregado	Umidade Relativa (%)	Umidade esperada do produto (%)
20°C	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	99,0	60,82
	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	99,0	50,01
	Sulfato de potássio		
30°C	K_2SO_4	97,0	43,10
	Cloreto de sódio		
	NaCl	76,0	30,34
	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	99,0	60,82
40°C	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	98,2	50,01
	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	96,5	43,10
	Cloreto de sódio		
	NaCl	78,0	30,34
	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	99,0	60,82
	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	98,0	50,01
40°C	Sulfato de potássio		
	K_2SO_4	95,0	43,10
	Cromato de potásio		
	K_2CrO_4	85,0	30,34

¹ Roa, G. 1974. Natural Drying of Cassava.

TABELA 5 - Avaliação da deterioração em mandioca cortada em rodela, em forma de índices de deterioração, em função da diferença total de cor, utilizando como padrão o sulfato de bário (BaSO_4).

Índices de deterioração	Deterioração (%)	Diferença total de cor	
		U>60%	U<60%
1,0	0	< 12	> 5
0,9	10	12 - 15	5 - 7
0,8	20	15 - 18	7 - 9
0,7	30	18 - 21	9 - 12
0,6	40	21 - 24	12 - 15
0,5	50	24 - 27	15 - 18
0,4	60	27 - 30	18 - 20
0,3	70	30 - 33	20 - 22
0,2	80	33 - 36	22 - 24
0,1	90	36 - 39	24 - 26
0,0	100	> 39	> 26

A escala objetiva foi determinada em função da diferença total de cor entre as amostras e o padrão, calculada diretamente, pelo computador HP 2100 A, ligado ao espectrofotômetro. O aparelho foi calibrado com sulfato de bário (BaSO_4)¹ usado como padrão e controle. Dentro de um dispositivo especial de 40 mm de abertura, colocaram-se as rodelaas que tinham 5 mm de espessura e 35 a 40 mm de diâmetro. A determinação foi realizada no espectro visível: 400-700 mμ. A diferença total de cor (DE) é calculada de acordo à fórmula de Adams/Nickerson/Stults (54):

$$DE = \sqrt{DAC^2 + DAL^2} \quad (4.1)$$

onde,

DAC = diferença em cromaticidade

DAL = diferença em luminosidade

4.2.2.2. Metodologia analítica

Com os valores dos testes de deterioração, em forma de índices (ID), estudou-se uma equação empírica, que representasse a tendência dos pontos para uma condição padrão de temperatura e umidade do produto. A condição adotada como padrão foi de 30°C e 43,10% de conteúdo de umidade das rodelaas de mandioca, por ser esta uma condição média, nas faixas de temperatura e umidade estudadas. Esta equação expressa a tendência de deterioração em função da mudança de cor, em relação ao tempo de

¹ O sulfato de bário (BaSO_4) é o padrão universal de cor adotado pela Comissão Internacional de Iluminação.

permanência do produto nessa condição padrão.

Os parâmetros da equação empírica achada foram calculados mediante regressão não linear, usando a rotina KINET (SUBKIN), desenvolvida originalmente por Dye e Nicely (1971), conjuntamente com o programa principal e a rotina CYLNUM (Apêndice A), estudadas especificamente para se obter os parâmetros.

Para que o modelo de deterioração pudesse indicar a tendência de deterioração das outras condições estudadas, colocou-se a variável tempo em função de dois multiplicadores: um de umidade e outro de temperatura, obtendo-se assim, "tempos equivalentes". O tempo equivalente é diretamente proporcional à variável tempo e inversamente proporcional aos multiplicadores de umidade e temperatura.

O multiplicador de umidade foi calculado para a temperatura de 30°C, relacionando-se com a condição padrão (43,10%), as tendências de queda dos pontos das outras condições de umidade. Determinando-se para essas condições de umidade o tempo equivalente, que dentro da equação padrão tivesse empregado para manifestar essa mesma deterioração. Desta forma, o multiplicador de umidade é diretamente proporcional à variável tempo e inversamente proporcional ao tempo equivalente.

Adotou-se como multiplicador de umidade, para cada condição de umidade, a média das relações de seus pontos, com os tempos equivalentes correspondentes na curva padrão. Os parâmetros da equação que representam o multiplicador de umidade, fo

ram calculados por regressão linear, utilizando-se o computador HP-67.

Em forma similar o multiplicador de temperatura foi encontrado, determinando-se o tempo equivalente das condições de umidade iguais ao padrão, nas temperaturas de 20°C e 40°C, tivessem empregados para manifestar a mesma deterioração na curva padrão. Tendo-se adotado como multiplicador de temperatura a média das relações dos pontos dessas condições com a curva padrão.

Os parâmetros da equação que representam o multiplicador de temperatura foram calculados por regressão não linear utilizando o computador PDP-10, empregando a rotina KINET (SUBKIN) (15), conjuntamente com o programa principal e a rotina CYLNUM (Apêndice B), estudadas especificamente para se obter os parâmetros.

4.2.3. Prova do modelo matemático de deterioração

4.2.3.1. Metodologia experimental

Para testar o modelo matemático de deterioração, procedeu-se à secagem das rodela de mandioca, com umidade inicial de 60,82%, numa barcaça (Figura 6) de piso retangular (5 x 3 m), de chapa metálica perfurada (2%), permitindo que o fluxo de ar penetre por baixo. Para o aquecimento do ar utilizou-se um coletor solar de 60 m², ligado a um ventilador centrífugo com um motor de 7,5 HP, que movimentou continuamente adequadas quantidades de ar, que foi insuflado na barcaça (Figura 7). A

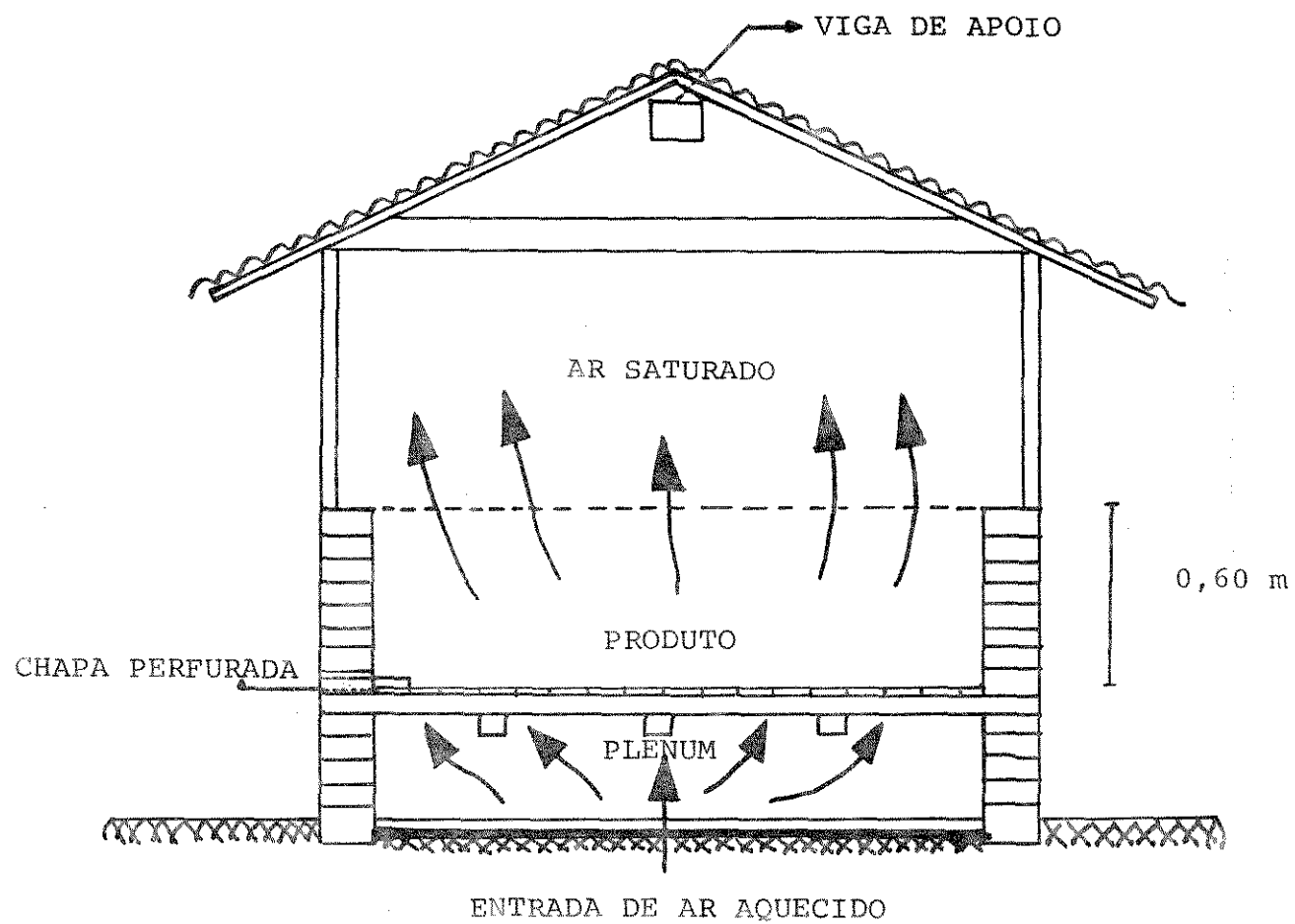


FIGURA 6 - Diagrama esquemático da Barcaça Solar

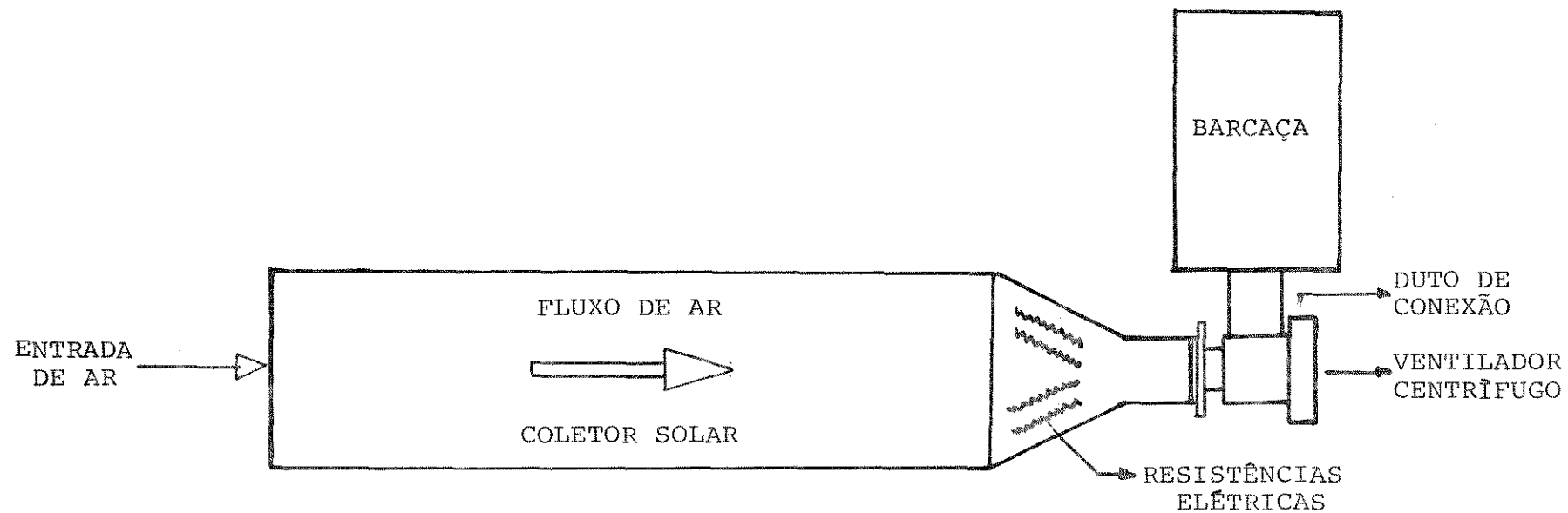


FIGURA 7 - Disposição do sistema Barcaça-Coletor Solar.

vazão de ar mantida durante toda a operação de secagem foi de 21,86 m³/min-ton.

Para efetuar a secagem, utilizou-se de um jogo de 9 peneiras de 0,31 x 0,31 x 0,10 m, com capacidade para 5 kg de mandioca cortada em rodela. As peneiras foram agrupadas verticalmente em jogo de 3 e, arrumadas em caixas de madeira.

Durante toda a operação de secagem foram determinadas: velocidade, temperatura e umidade relativa do ar. Os valores de temperatura do ar de entrada na barça se obtiveram através de um termôgrafo e registrados em forma contínua. As condições ambientais de temperatura e umidade relativa foram registradas em termohigrôgrafo colocado próximo à barça; a velocidade do ar foi determinada por meio de um anemômetro de aspas rotacionais, mediante leituras feitas na saída do ar, através das peneiras.

A determinação da deterioração, durante o processo de secagem fez-se igualmente, em função dos índices de deterioração, anteriormente explicado, duas vezes ao dia.

4.2.3.2. Metodologia analítica

Os dados de temperatura, umidade relativa e vazão de ar obtidos durante toda a operação de secagem, junto com as condições iniciais de temperatura e umidade do produto, foram utilizadas para testar o modelo matemático de deterioração, durante o processo de secagem em barça com ar aquecido por coletor solar.

Para testar o modelo matemático de deterioração, desenvolvido no presente trabalho foi preparada uma rotina que inclui a equação empírica que representa a tendência dos pontos para a condição padrão, as equações que representam os multiplicadores de umidade e temperatura, e a relação do tempo equivalente entre a variável tempo e os multiplicadores, para as condições de temperatura e conteúdo de umidade nas faixas estudadas. Esta rotina foi adaptada ao modelo matemático de secagem de Thompson (45) e adaptada por Villa et al (1979), para mandioca, utilizando as equações 3.1 a 3.4.

4.2.4. Determinação das vazões mínimas

O modelo matemático de secagem de Thompson et al (1968) adaptado por Villa et al (1979), e o modelo matemático de previsão da deterioração da mandioca, desenvolvido na presente pesquisa, foram utilizados para estabelecer as vazões mínimas para a secagem de mandioca, sem que o produto perca suas qualidades comerciais.

A simulação foi estudada para dois níveis de umidade inicial do produto: 60 e 63%, segundo as condições de secagem: 20, 30 e 40°C de temperatura e 25, 40 e 55% de umidade relativa. Para proceder-se a simulação foi utilizado o computador PDP-10.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Desenvolvimento do Modelo Matemático de Deterioração

Os resultados obtidos experimentalmente, em forma de índices de deterioração, em função da mudança de cor, conforme mencionado na Tabela 5, mostram-se nas Figuras 8, 9 e 10. Estes índices expressam o efeito dos diferentes conteúdos de umidade, para cada temperatura, em relação ao tempo de permanência das amostras nas câmaras, com controle termostático.

Para a mandioca cortada em forma de rodela, observou-se uma deterioração mais rápida, quanto maior foi o conteúdo de umidade, e maior a temperatura a que estiveram submetidas. Estes resultados concordam com Montaldo (34) que verificou que raízes de mandioca, armazenadas a diferentes temperaturas, apresentam maior deterioração em função da maior temperatura.

Os parâmetros encontrados para a equação (5.1) - que expressa a deterioração em forma de índices, obtidos a partir dos dados experimentais da condição adotada como padrão (30°C e 43,10%), são indicados a seguir:

$$ID = A + B(C^{(Dx_{teq} - E)}) \quad (5.1)$$

onde,

ID = índice de deterioração, adimensional

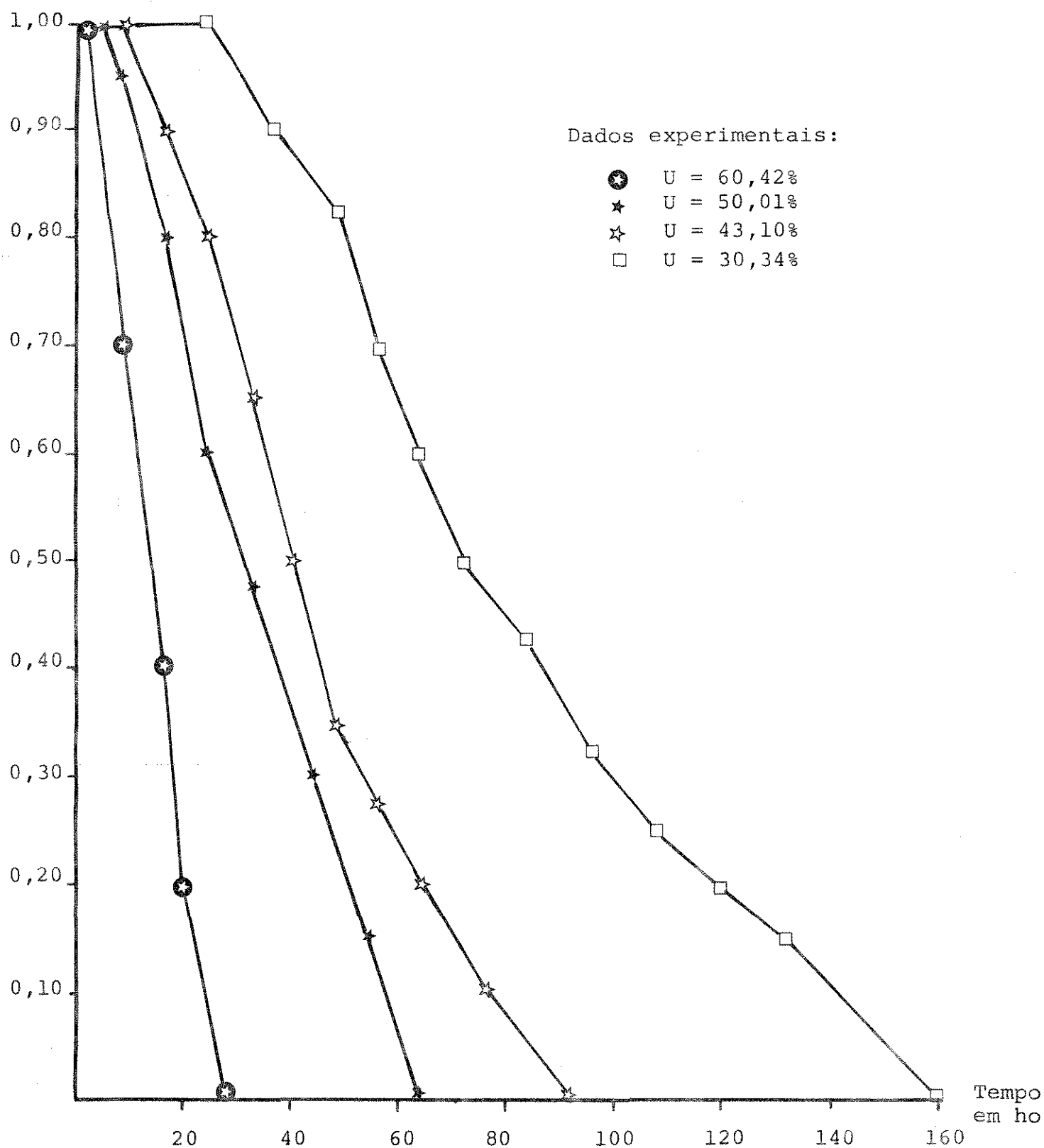


FIGURA 8 - Índices de deterioração avaliados em mandioca, conservada com diferentes conteúdos de umidade na temperatura de 40°C.

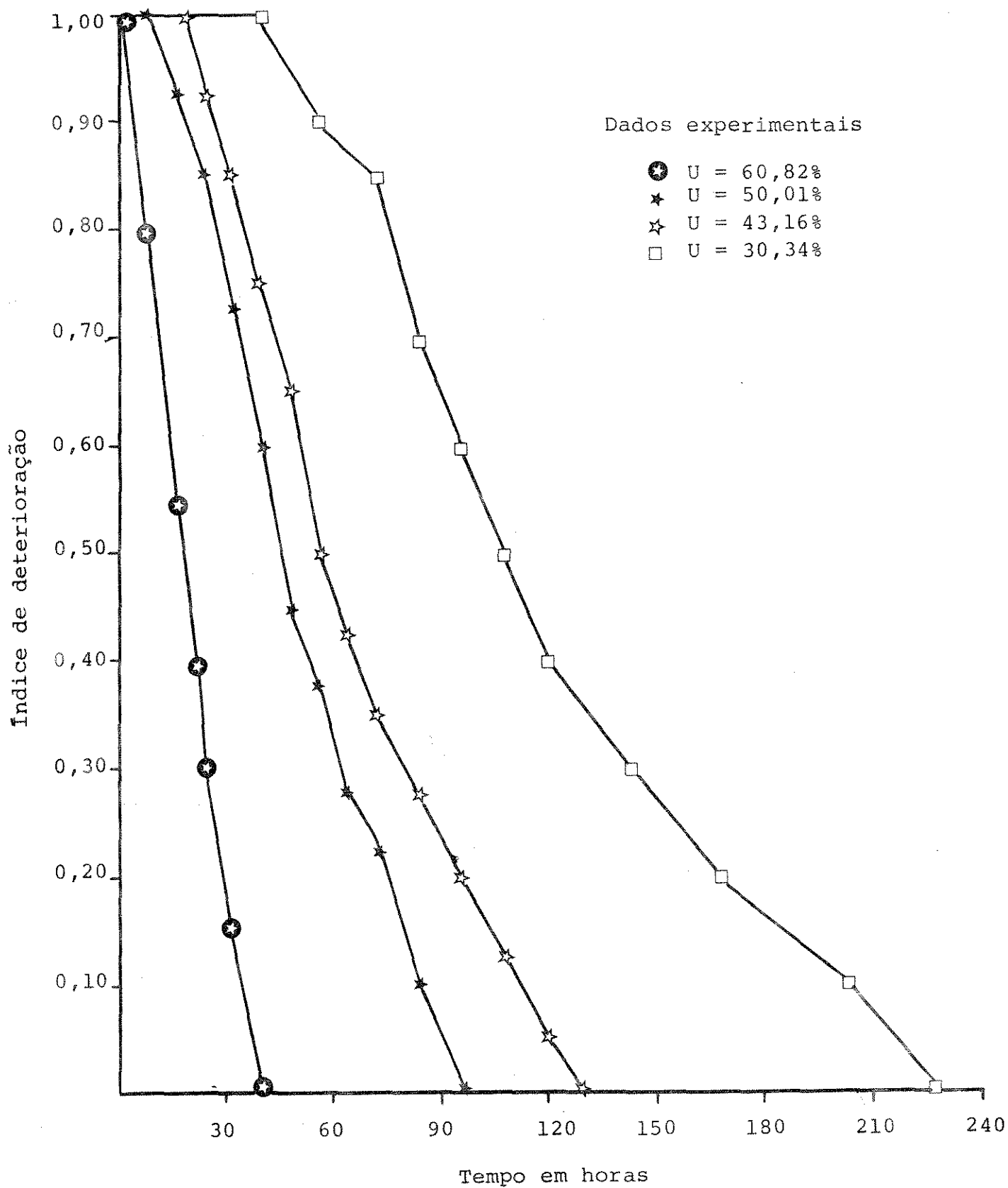


FIGURA 9 - Índices de deterioração, avaliados em mandioca com diferentes conteúdos de umidade, na temperatura de 30°C

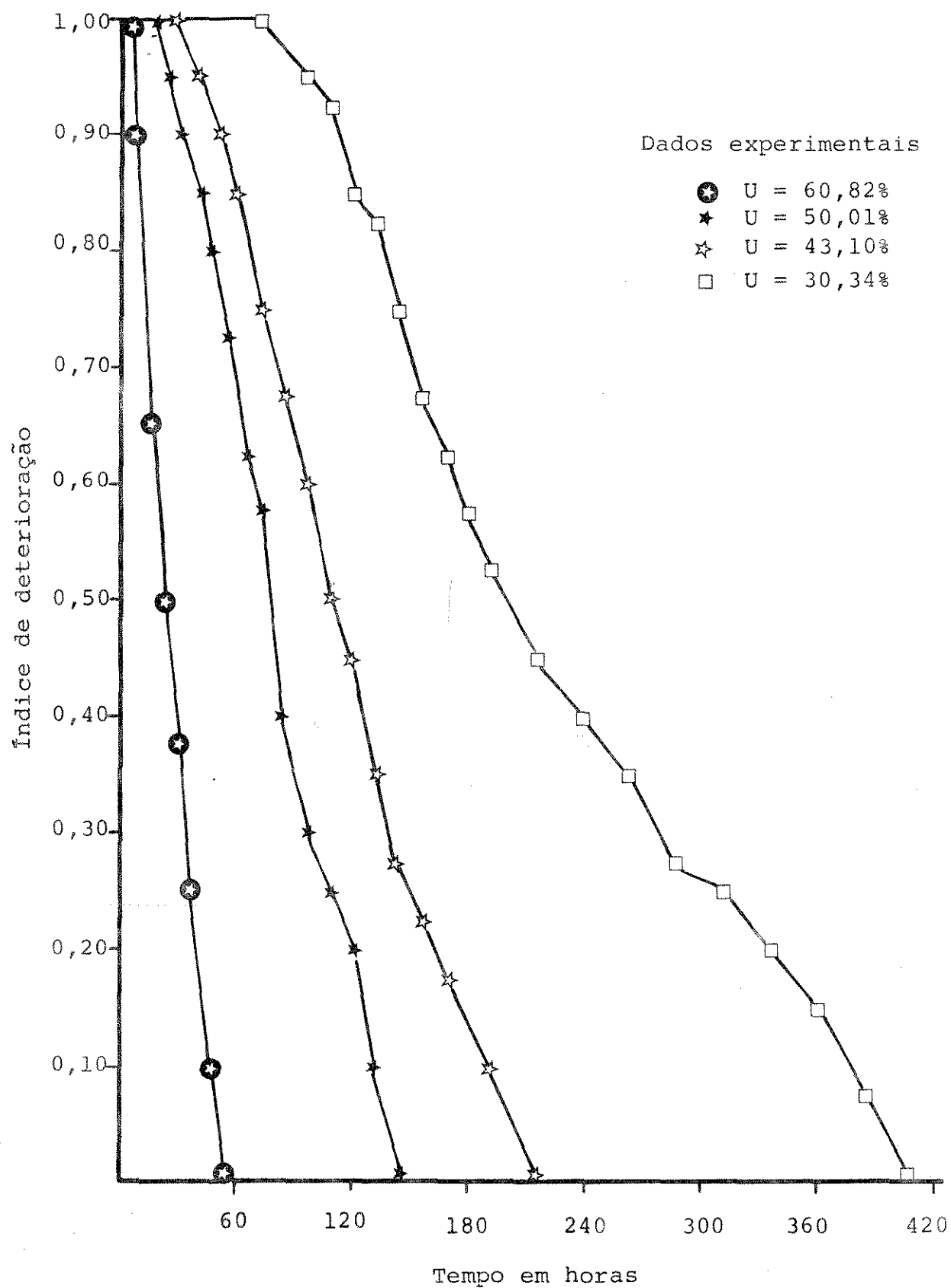


FIGURA 10 - Índices de deterioração avaliados em mandioca conservada com diferentes conteúdos de umidade, na temperatura de 20°C.

teq = tempo equivalente, horas

A,B,C,D,E = parâmetros encontrados,

sendo:

$$A = -0,509702$$

$$B = 0,781174$$

$$C = 0,792674$$

$$D = 0,0421605$$

$$E = 3,619430$$

Na Figura 11, apresentam-se os dados experimentais para os índices de deterioração na condição padrão, e os calculados pela equação (5.1) com os parâmetros encontrados. Pode-se observar a boa previsão obtida pelo Modelo.

O tempo equivalente (teq) foi calculado em função da variável tempo e de dois multiplicadores: um de umidade e outro de temperatura. Desta maneira, pode-se, a partir do Modelo de deterioração, indicar a tendência de deterioração da mandioca, em condições de umidade e temperatura, diferentes às adotadas como padrão. O tempo equivalente assim, para essas condições, pode ser calculado com a seguinte relação:

$$teq = \frac{t}{Mu Mt} \quad (5.2)$$

onde,

teq = tempo equivalente, horas

t = tempo de permanência das amostras, horas

Mu = multiplicador de umidade, adimensional

Mt = multiplicador de temperatura, adimensional

PREVISÃO DE DETERIORAÇÃO EM MANDIOCA CORTADA EM RODE-
LAS (espessura = 5 mm)

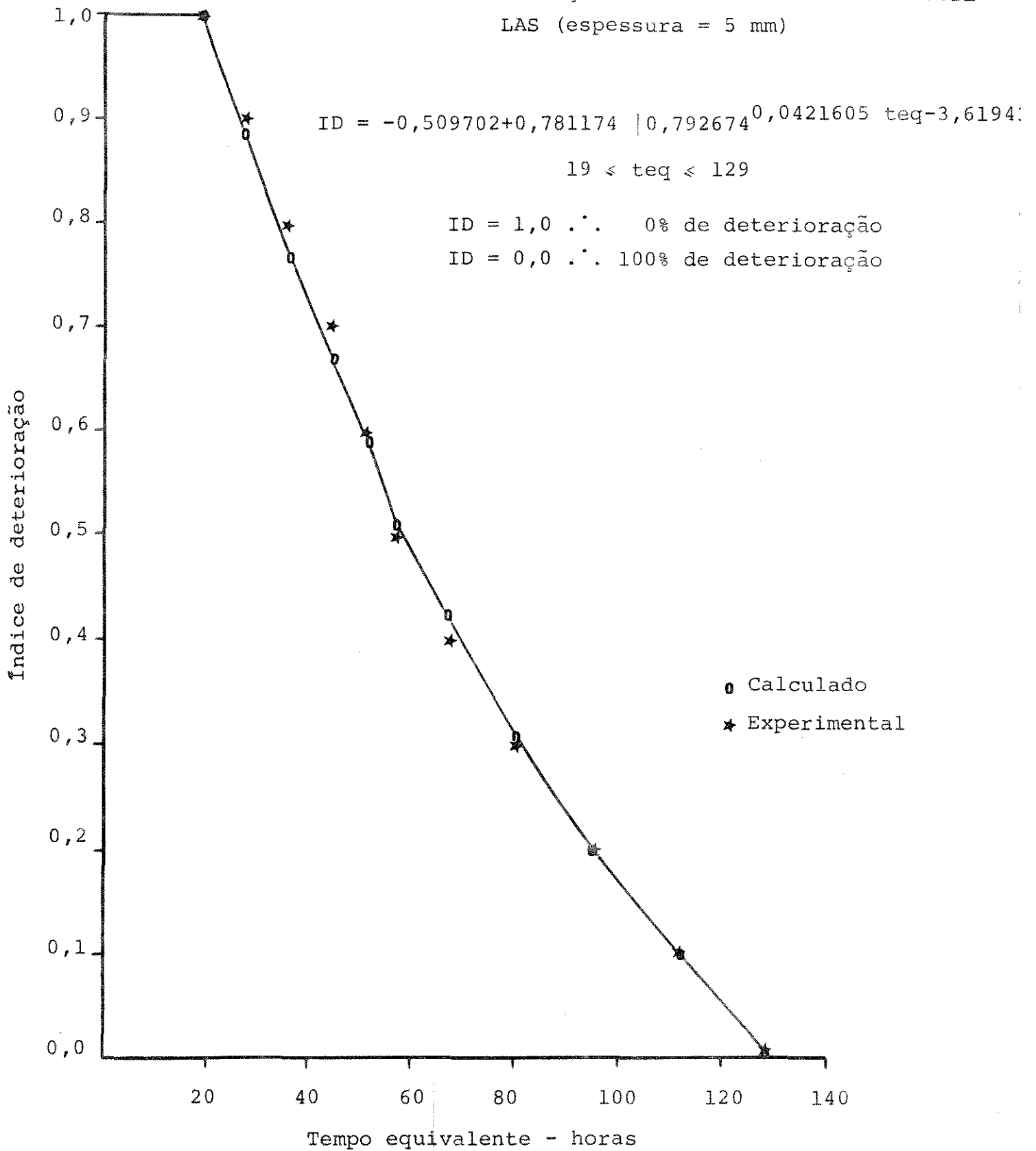


FIGURA 11 - Índices de deterioração avaliados em mandioca na condição padrão (43,10% e 30°C).

Os multiplicadores de umidade foram calculados - relacionado com o tempo de permanência dos testes para cada índice de deterioração na condição de umidade adotada como padrão (43,10%), com o tempo de permanência, nas outras condições de u midade, das temperaturas estudadas. A relação se expressa assim:

$$\text{Mu} = \frac{t}{\text{teq}_u} \quad (5.3)$$

onde,

Mu = multiplicador de umidade, adimensional

t = tempo de permanência dos testes, horas

teq_u = tempo equivalente para a condição de umidade, adotada como padrão, horas

Os parâmetros calculados para os multiplicadores de umidade, são indicados nas equações (5.4) e (5.5) da seguinte forma:

$$\text{Mu} = \frac{1}{a U^b} \quad (5.4)$$

Para $U < 43,10\%$

onde,

Mu = multiplicador de umidade, adimensional

U = umidade do produto, %

a, b = parâmetros calculados

sendo:

$$a = 0,00057617$$

$$b = 1,98649305$$

$$\text{Mu} = a' + b'U \quad (5.5)$$

Para $U \geq 43,10\%$

onde,

Mu = multiplicador de umidade, adimensional

U = umidade do produto, %

a', b' = parâmetros calculados

sendo:

$$a' = 2,7998871$$

$$b' = -0,0417607$$

Na Figura 12 apresenta-se a curva dos multiplicadores de umidade obtidos, a partir dos dados experimentais, em condições de umidades diferentes à condição adotada como padrão, e os valores calculados pelas equações (5.4) e (5.5), com os parâmetros achados. Observa-se a boa aproximação obtida.

Os multiplicadores de temperatura foram calculados relacionando-se o tempo de permanência dos testes para cada índice de deterioração, na condição de temperatura (30°C) adotada como padrão, com o tempo de permanência, nas outras condições de temperatura, e para todas as umidades estudadas; esta relação se expressa da seguinte maneira:

$$M_t = \frac{t}{t_{eq_T}} \quad (5.6)$$

onde,

M_t = multiplicador de temperatura, adimensional

t = tempo de permanência dos testes, horas

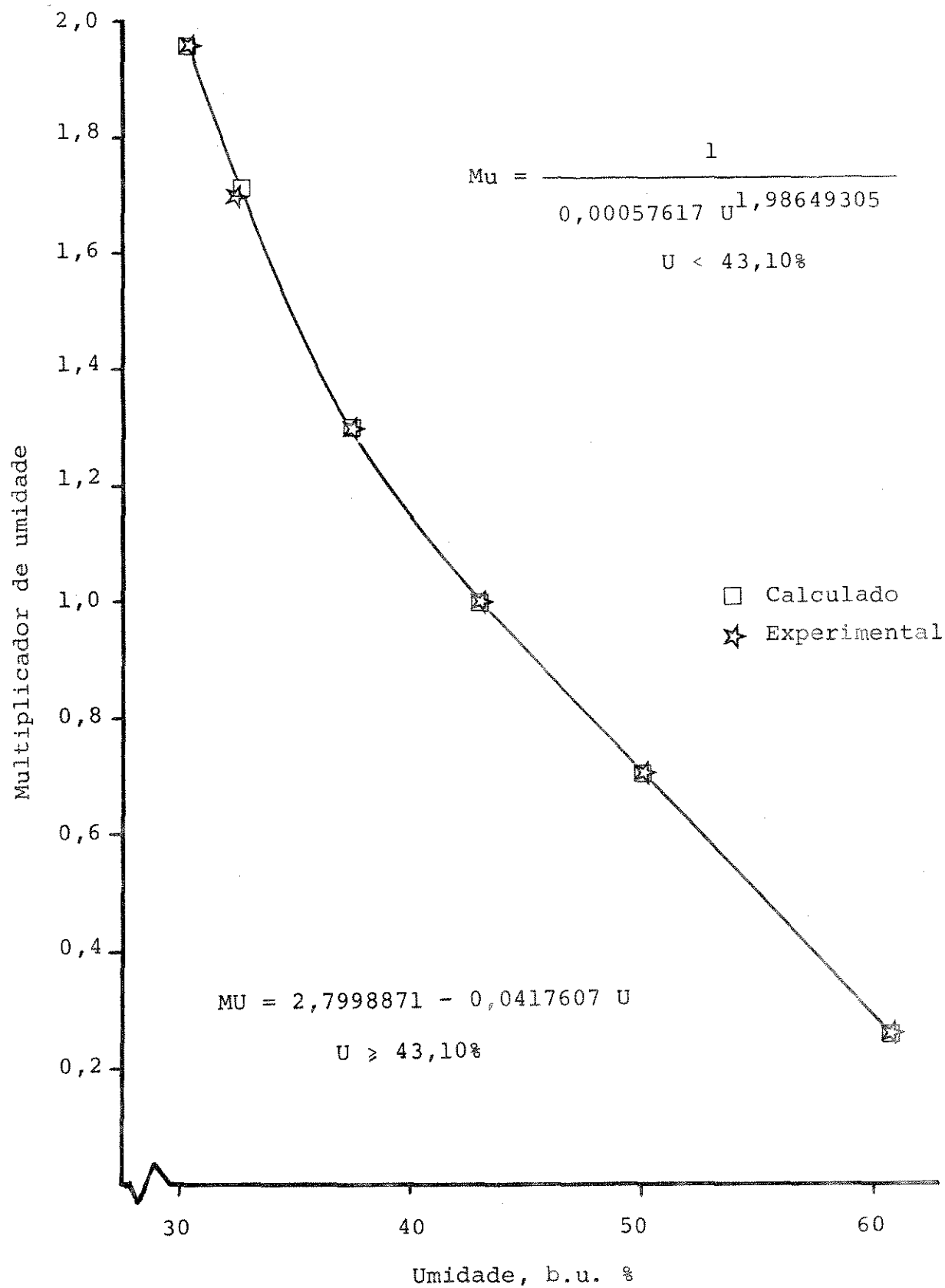


FIGURA 12 - Determinação do multiplicador, em função da umidade.

teq_T = tempo equivalente, para a condição de temperatura a
dotada como padrão, horas

Para os multiplicadores de temperatura, indicados pelas equações (5.7) e (5.8), os parâmetros calculados se expressam seguidamente:

$$Mt = 1 + (c + d \ln U + h U^k)(T - 30) \quad (5.7)$$

Para $T \leq 30^\circ\text{C}$

onde,

Mt = multiplicador de temperatura, adimensional

U = umidade do produto, %

T = temperatura, $^\circ\text{C}$

c, d, h, k = parâmetros calculados

sendo:

$$c = 0,118163$$

$$d = -0,0731257$$

$$h = 0,0000891083$$

$$k = 1,798700$$

$$Mt = 1 + (c' + d' \ln U + h' U^{k'})(T - 30) \quad (5.8)$$

Para $T \geq 30^\circ\text{C}$

onde,

Mt = multiplicador de temperatura, adimensional

U = umidade do produto, %

T = temperatura, $^\circ\text{C}$

c', d', h', k' = parâmetros calculados

sendo:

$$c' = 0,162703$$

$$d' = -0,109811$$

$$h' = 0,033245$$

$$k' = 0,497069$$

Na Figura 13 apresentam-se os multiplicadores de temperatura obtidos, a partir dos dados experimentais, e os valores calculados pelas equações (5.7) e (5.8) com os parâmetros achados. Observa-se a boa previsão dos multiplicadores de temperatura calculados.

A previsão dos índices de deterioração, pelo Modelo Matemático obtido, nas temperaturas de 20, 30 e 40°C, para as diferentes condições de umidade das rodela de mandioca, estudadas, é apresentas pelas Figuras 14, 15 e 16. Considerando, a ampla variação natural, que acontece na quantificação da deterioração da mandioca, em função da mudança de cor, ao comparar os dados experimentais e os calculados pelo Modelo desenvolvido, observa-se a boa previsão na tendência dos índices de deterioração.

5.2. Prova do Modelo Matemático de deterioração

Na Tabela 6 e na Figura 17 apresentam-se os resultados experimentais e os simulados, dos índices de deterioração e as curvas de secagem, para as diferentes camadas, respectivamente, obtidas durante a operação de secagem das rodela de mandioca, em barcaça com convecção forçada de ar, aquecido com coletor solar.

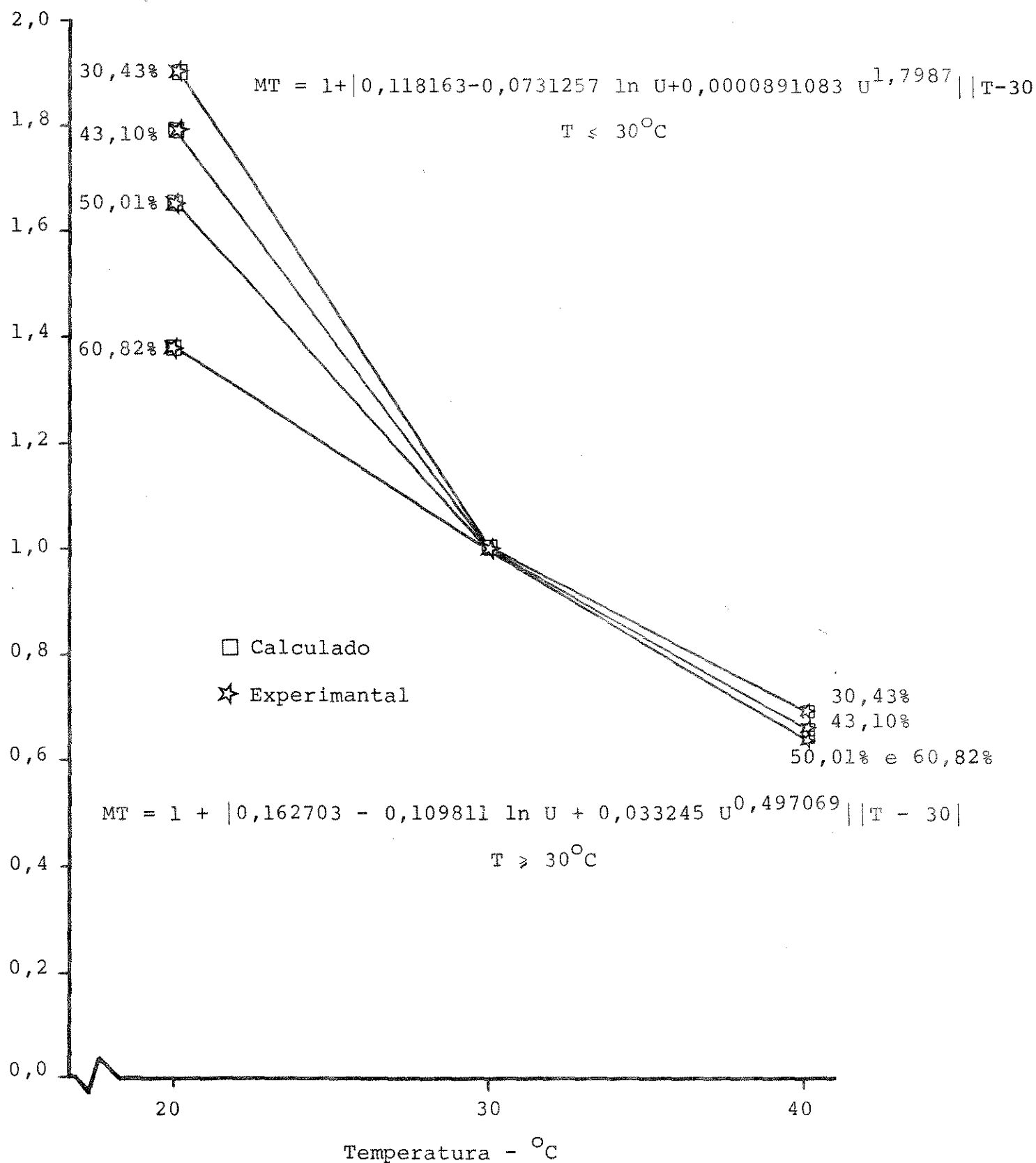


FIGURA 13 - Determinação do multiplicador de temperatura em função da temperatura.

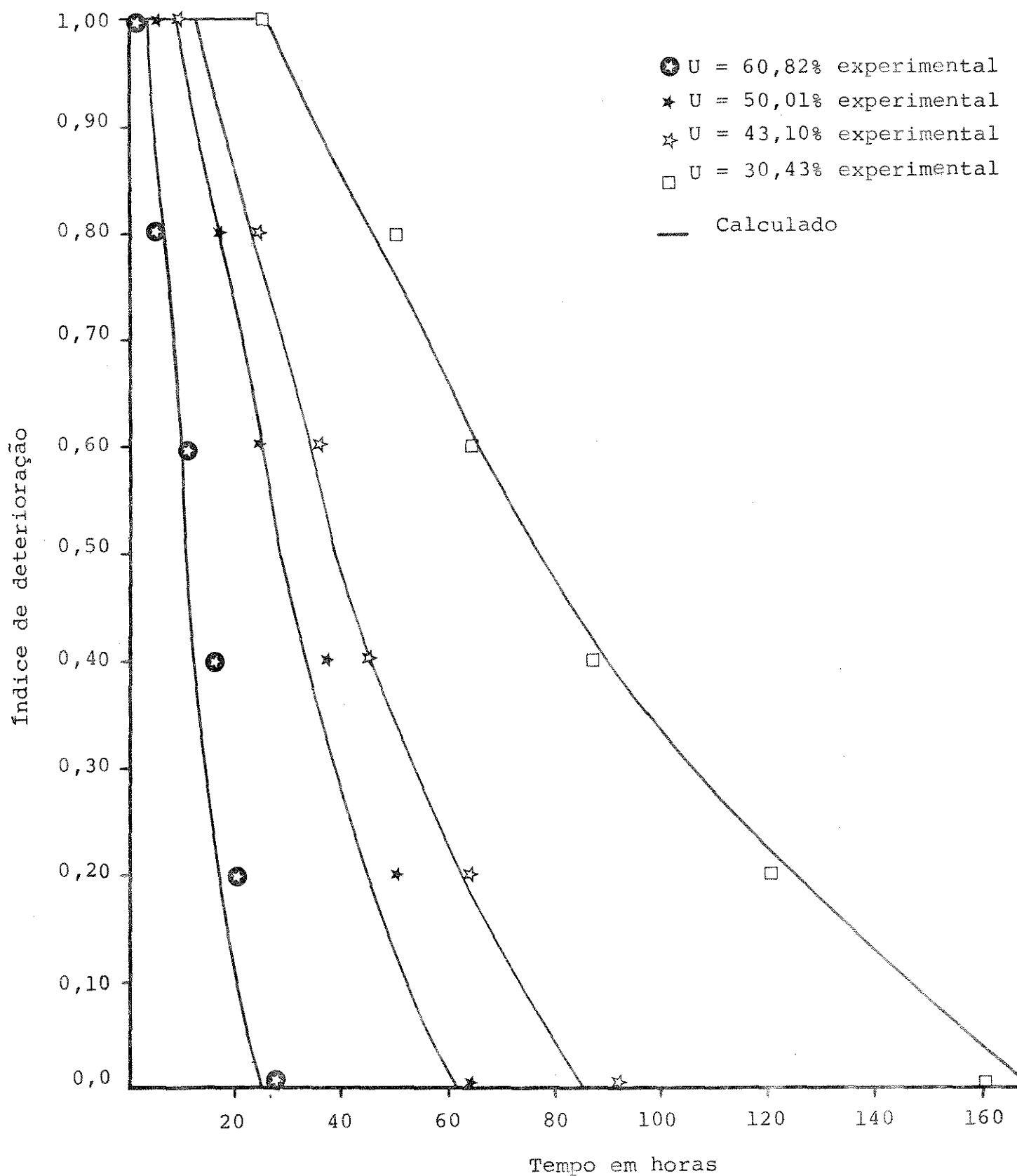


FIGURA 14 - Previsão dos índices de deterioração, em mandioca conservada na temperatura de 40°C, a diferentes conteúdos de umidade.

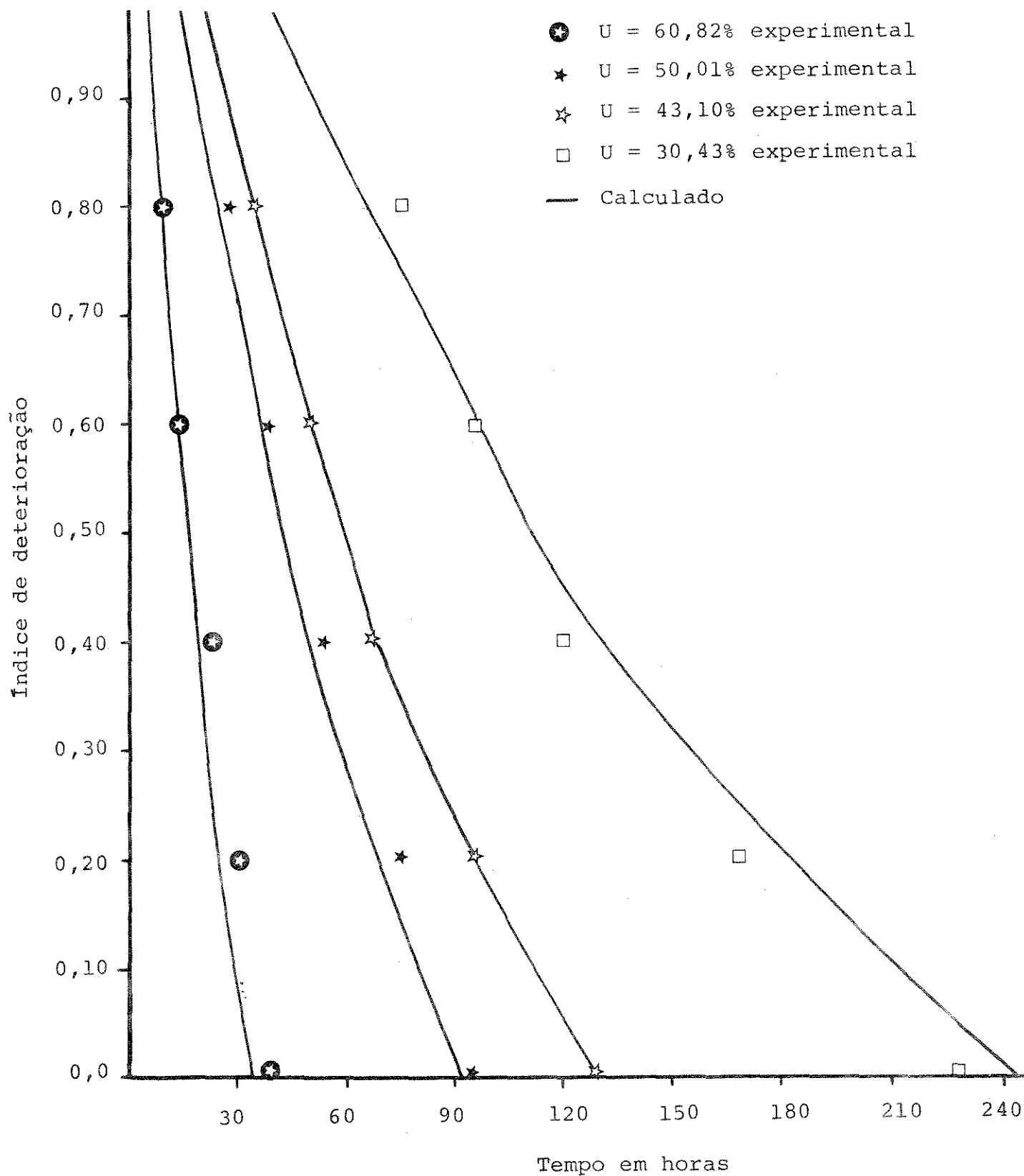


FIGURA 15 - Previsão dos índices de deterioração em mandioca consvada na temperatura de 30°C, a diferentes conteúdos umidade.

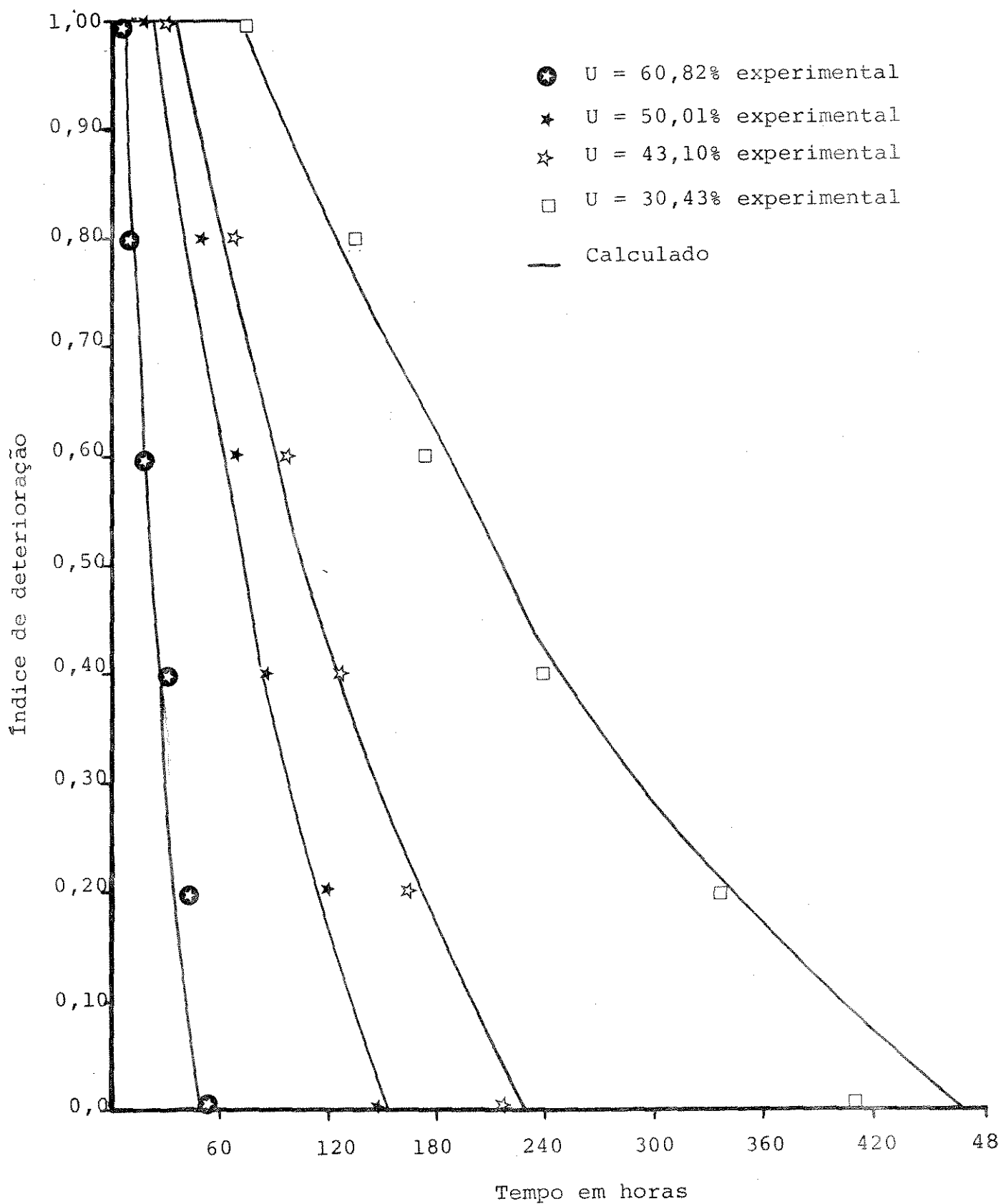


FIGURA 16 - Previsão dos índices de deterioração, em mandioca cc servada na temperatura de 20°C, a diferentes conteúdos de umidade.

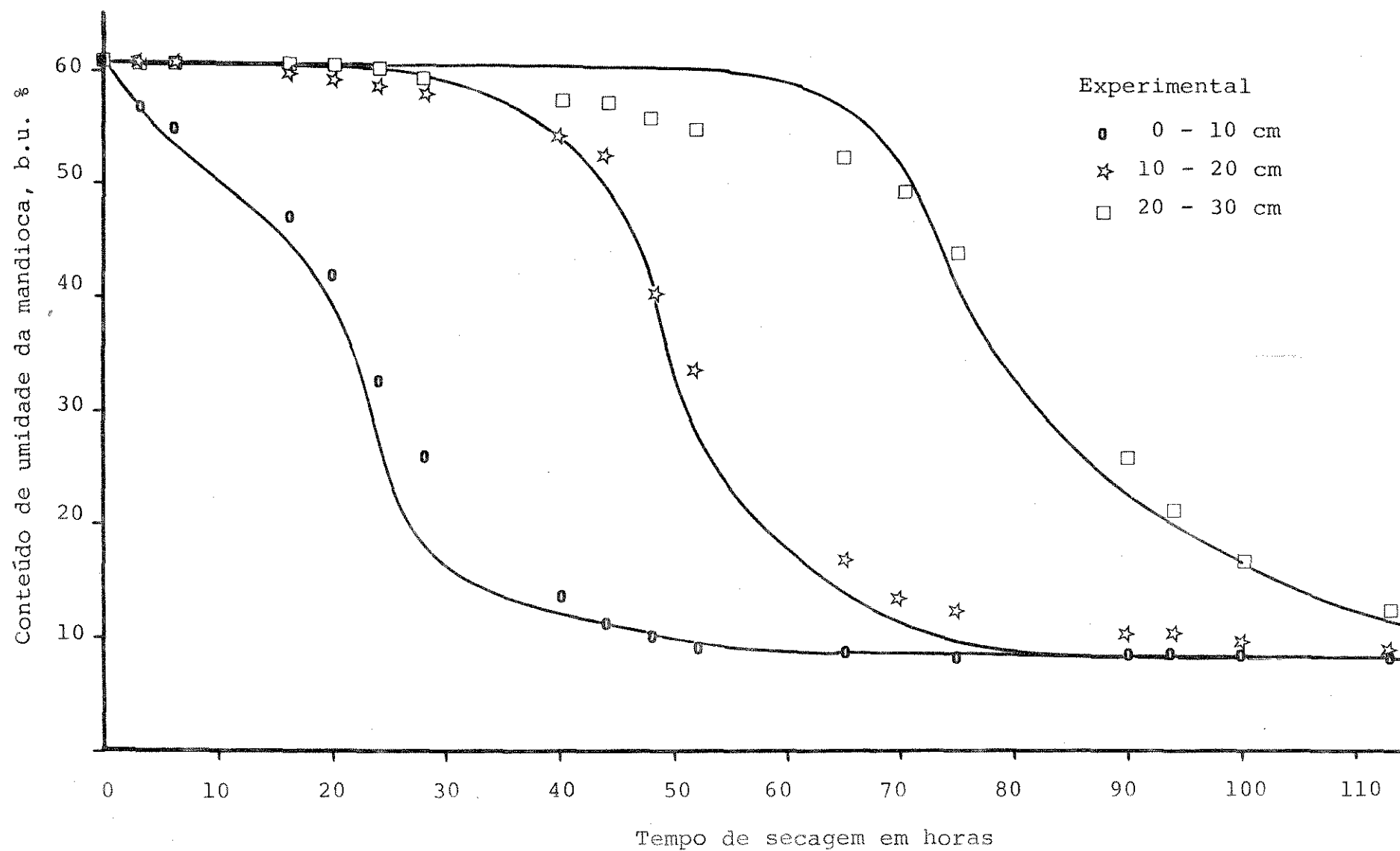


FIGURA 17 - Comparação dos dados experimentais e calculados pelo Modelo de Thompson, obtido a partir de dados de secagem de mandioca, em barçaça, em condições variáveis de temperatura e umidade.

O ar de secagem atravessando a massa de rodela de mandioca foi movimentado continuamente, por meio de um ventilador e, aquecido durante o dia, com auxílio de um coletor solar, produzindo um aumento médio de $8,25^{\circ}\text{C}$ e, uma redução de 22,08% na umidade relativa, em relação às condições ambientais. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos durante a secagem, estão referidos no apêndice C.

Os dados da Tabela 6 foram obtidos, utilizando-se conjuntamente, o Modelo de secagem de Thompson et al (44) e adaptado por Villa et al (49) e o Modelo de deterioração, desenvolvido na presente pesquisa, como está indicado no apêndice D. Observa-se que, na camada inferior (0 - 10 cm), o Modelo prevê uma deterioração máxima de 25% (ID = 0,75), após 41 horas, contra 20% (ID = 0,80), no mesmo tempo obtido experimentalmente, mantendo este valor até o final da operação de secagem. Na camada média (10 - 20 cm), a deterioração atingiu o valor simulado de 90% (ID = 0,10), sendo que, o experimental foi para o mesmo tempo de 100% (ID = 0,00). Na camada superior o valor da deterioração obtido tanto pelo Modelo como experimentalmente, foi de 100% (ID = 0,00), às 65 horas.

Examinando-se conjuntamente, a Tabela 6 e a Figura 17, observa-se que o produto, após atingir uma umidade inferior a 35%, não apresenta mais deterioração. As camadas médias e superiores alcançam a máxima deterioração, tendo em vista, que a secagem só se inicia às 30 e 65 horas, respectivamente; tempo suficiente para que se apresente uma grande deterioração. As cur

TABELA 6 - Comparação dos índices de deterioração, experimentais e simulados, obtidos pelo Modelo Matemático de deterioração durante a operação de secagem de rodela de mandioca, em banca com convecção forçada de ar e aquecido com coletor solar.

Tempo de secagem (h)	Índices de deterioração					
	Simulados			Experimentais		
	Camada inferior	Camada média	Camada superior	Camada inferior	Camada média	Camada superior
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
17	0,85	0,70	0,69	0,90	0,70	0,55
25	0,77	0,45	0,45	0,80	0,50	0,45
41	0,75	0,20	0,14	0,80	0,30	0,25
49	0,75	0,13	0,08	0,80	0,25	0,15
65	0,75	0,11	0,00	0,80	0,05	0,00
73	0,75	0,10	0,00	0,80	0,00	0,00
89	0,75	0,10	0,00	0,80	0,00	0,00
97	0,75	0,10	0,00	0,80	0,00	0,00
113	0,75	0,10	0,00	0,80	0,00	0,00
118	0,75	0,10	0,00	0,80	0,00	0,00

vas de secagem encontradas, para o presente trabalho, apresentam sequência semelhante às obtidas por Villa et al (50).

No apêndice E encontram-se os resultados obtidos para a secagem de rodela de mandioca, para 3 vazões de ar: 60, 75 e 100 m³/min-ton.

5.3. Determinação das vazões mínimas para a secagem de mandioca

Como aplicação do Modelo Matemático de deterioração obtido no presente trabalho, calculou-se, por simulação, as vazões mínimas, para a secagem de mandioca, com umidades iniciais de 60 e 63%, utilizando-se 3 condições de secagem: 20, 30 e 40°C de temperatura, e 25, 40 e 55% de umidade relativa, faixas que se apresentam regularmente, às condições de ar, no sistema barcaça-coletor solar.

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21 apresentam-se os resultados simulados para as vazões mínimas. A deterioração máxima na camada superior foi de 15% (ID = 0,85). A umidade final do produto foi de 14%. Os resultados obtidos permitem analisar com objetividade, a relação entre vazão, temperatura e umidade relativa do ar, assim como a umidade inicial do produto, para garantir raspas de boa qualidade.

As Figuras 18 e 19 apresentam os fluxos mínimos de ar e os tempos de secagem, necessários para secar rodela de mandioca com um teor de umidade de 60%, até aproximadamente 14%, para as várias combinações de temperatura e umidade relativa, -

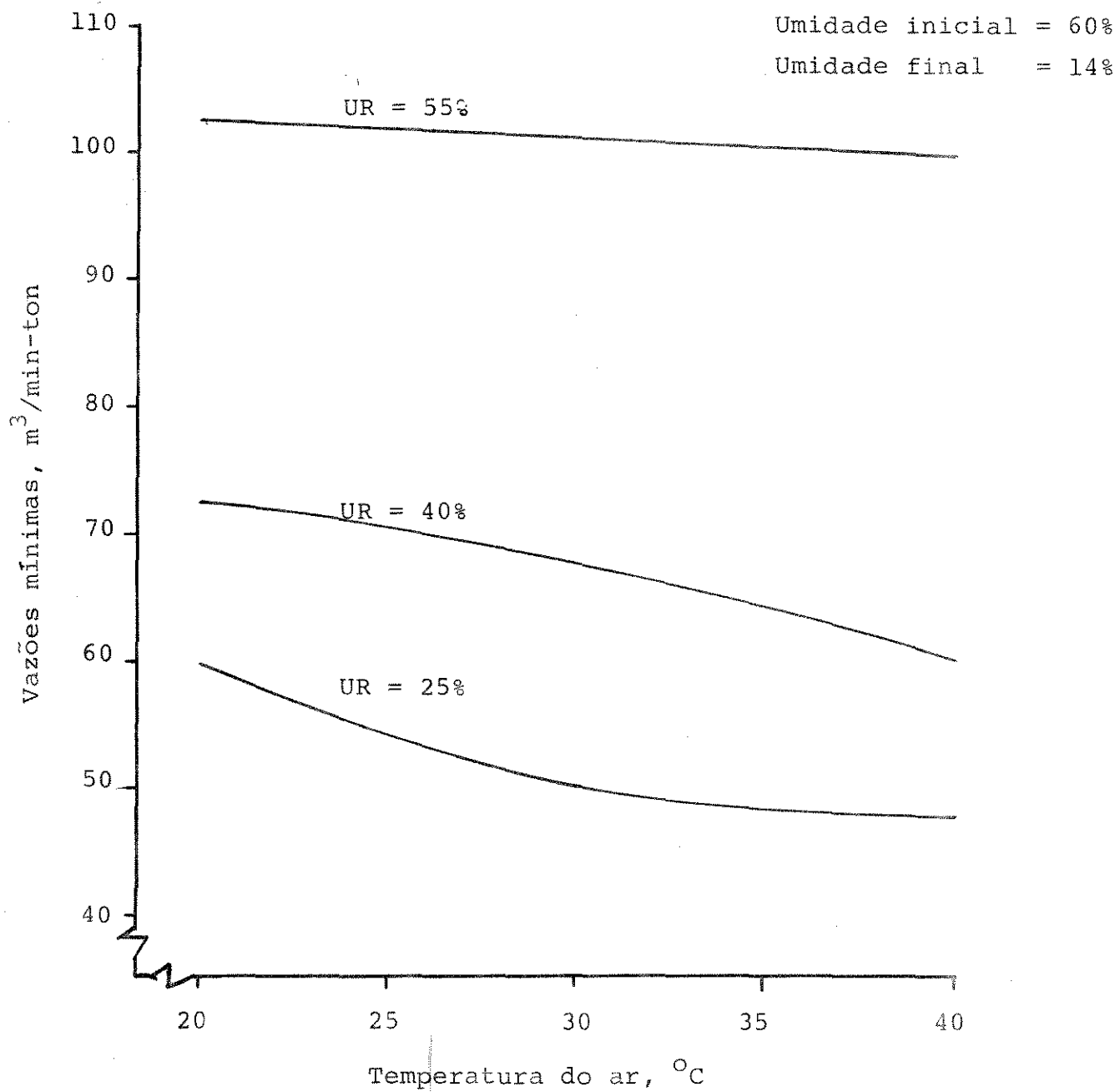


FIGURA 18 - Vazões mínimas em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca, com máxima deterioração de 15%.

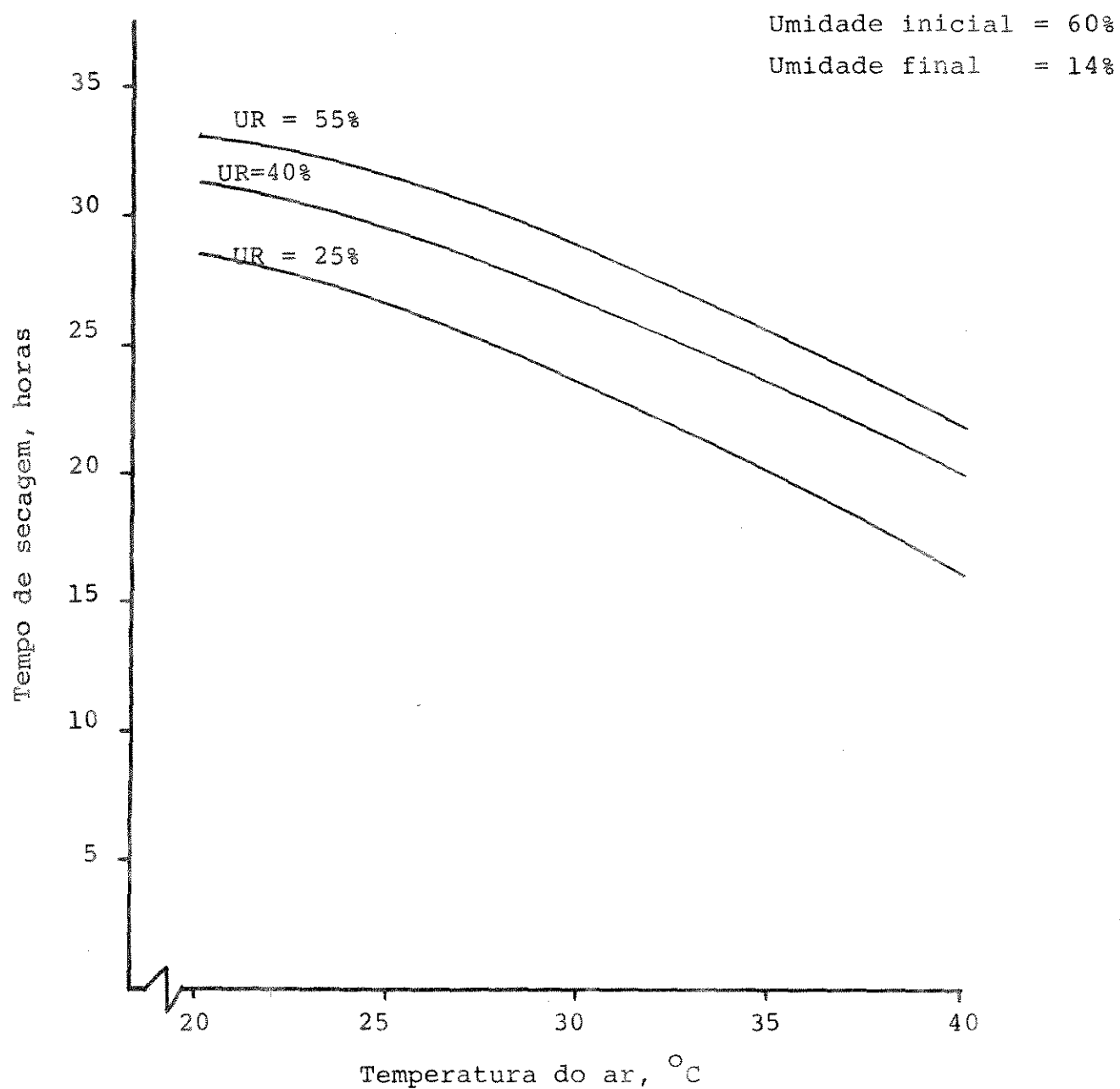


FIGURA 19 - Tempo de secagem em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca, com máxima deterioração de 15%.

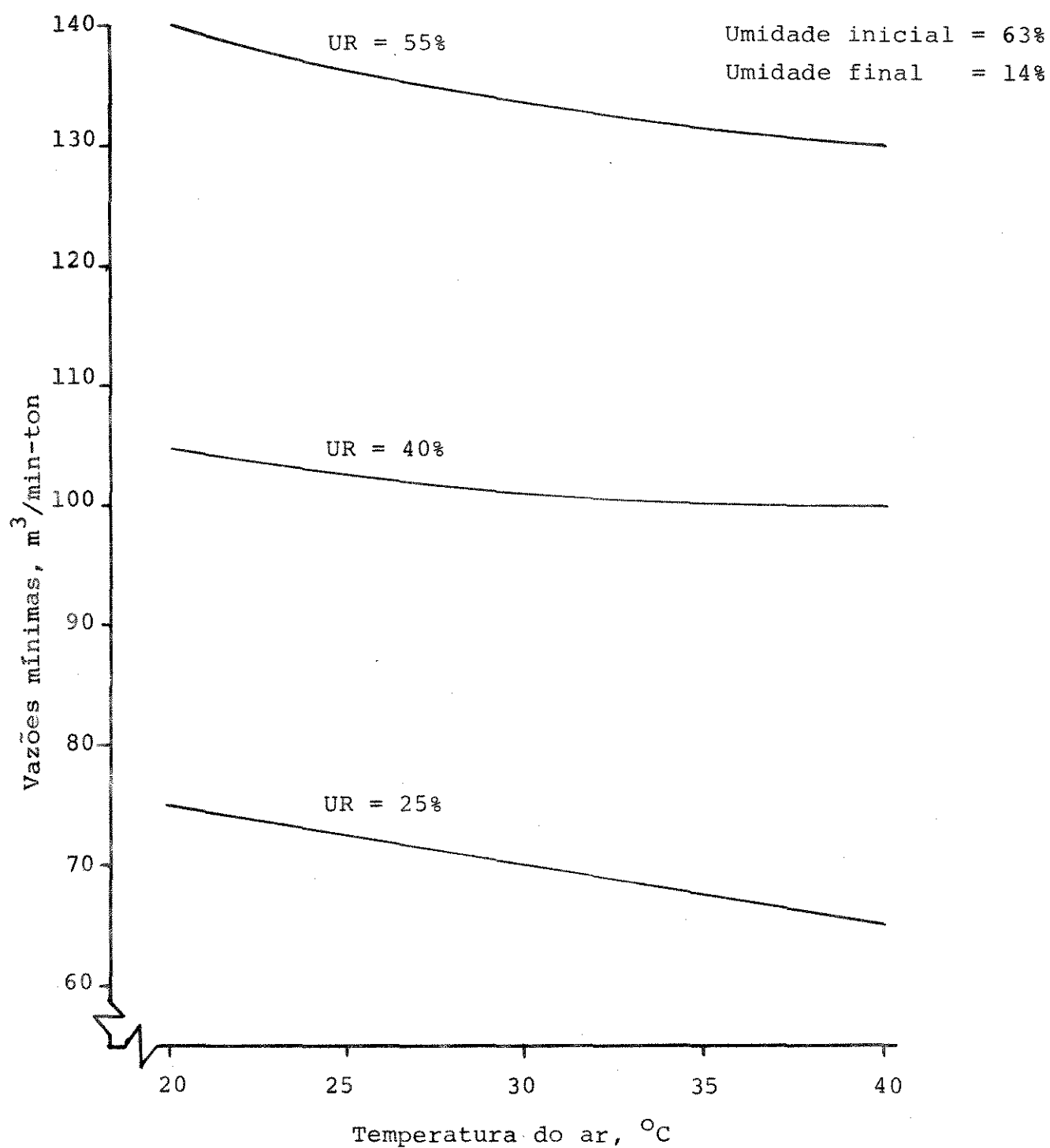


FIGURA 20 - Vazões mínimas em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca, com máxima deterioração de 15%.

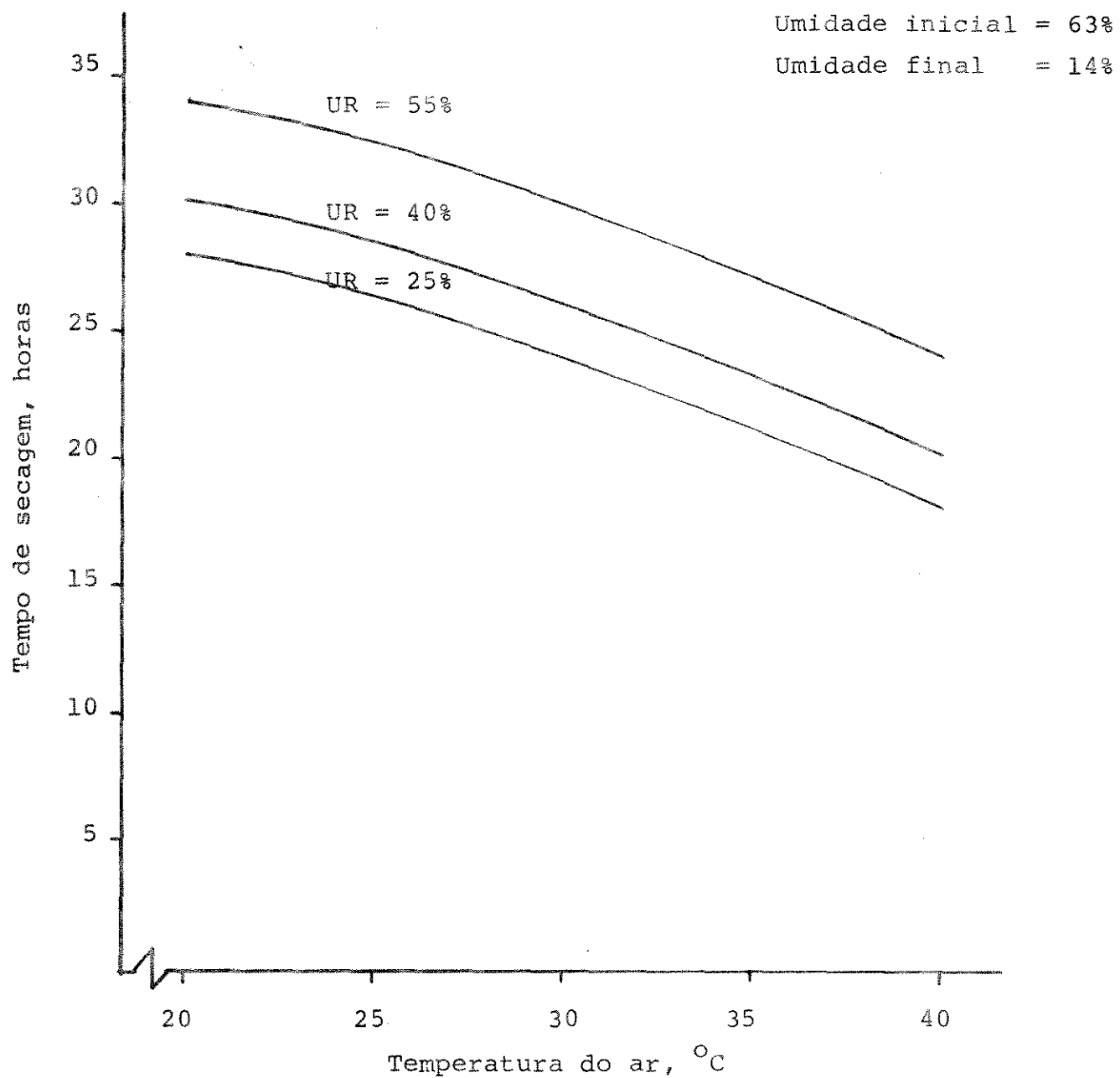


FIGURA 21 - Tempo de secagem em relação à temperatura e umidade relativa do ar, para a secagem de mandioca com máxima deterioração de 15%.

tomando-se como critério, para estimar a vazão mínima, que a deterioração fora menor do que 15%, a fim de garantir a aceitabilidade do produto. Fixando-se a temperatura, a vazão mínima aumenta na medida que aumenta a umidade relativa; assim por exemplo, na Figura 18, observa-se que, para uma temperatura de 30°C e umidade relativa de 25%, necessita-se de uma vazão mínima de 50 m³/min-ton, sendo que para a mesma temperatura e umidade relativa de 55% a vazão deve aumentar para 101,5 m³/min-ton; a Figura 19 mostra-nos o tempo de secagem para essas condições assim: para o primeiro caso, 24 horas e para o segundo, 29 horas.

As Figuras 20 e 21 mostram, em forma similar, os efeitos da temperatura e da umidade relativa na vazão mínima de ar, necessários para a secagem de rodela de mandioca com umidade inicial de 63%, até aproximadamente, 14%. Por exemplo, usando os mesmos valores anteriores de temperatura e umidade relativa, assim: 30°C e 25% precisa-se de uma vazão mínima de 70 m³/min-ton, e para a mesma temperatura e 55% de umidade relativa, necessita-se de uma vazão de 134 m³/min-ton. Na Figura 21 observa-se que o tempo de secagem para as condições de 30°C e 25%, é 24 horas, e para 30°C e 55%, 30 horas.

É importante observar que para maior teor de umidade inicial do produto, as vazões mínimas aumentam grandemente, por exemplo, para secar rodela de mandioca com 60% de umidade inicial e condições de ar de secagem de 40°C e 40% de umidade relativa, precisa-se de 60 m³/min-ton, sendo que para rodela

de mandioca com 63% de umidade inicial, as mesmas condições de secagem necessitam-se de $100 \text{ m}^3/\text{min-ton}$.

Merece destaque, que a deterioração da mandioca está ligada diretamente às condições de ar de secagem e especialmente à vazão de ar que se utiliza para a operação de secagem. Pode-se observar pelas Figuras 19 e 21 que os tempos de secagem são muito similares, para secar rodela de mandioca com diferentes umidade inicial, sendo que as vazões diferem bastante; tem-se por exemplo que, para mandioca com umidade inicial de 60% e condições de secagem de 40°C de temperatura e 25% de umidade relativa, o tempo de secagem é 17 horas, e para mandioca com umidade inicial de 63%, é 18 horas.

6. CONCLUSÕES

1. A escala de índices de deterioração com variação de 0,0 a 1,0, para quantificar a deterioração da mandioca em função da mudança de cor, foi eficiente para detectar as diferentes fases de deterioração da mandioca.
2. O Modelo Matemático empírico obtido para prever a deterioração da mandioca em função da mudança de cor apresentou boa previsão de tendência de deterioração para as condições de temperatura (20, 30 e 40°C) e umidade do produto (60,82, 50,01, 43,10 e 30,34%), estudados.
3. Para as condições de laboratório estudadas de temperatura (20, 30 e 40°C) e umidade do produto (60,82, 50,01, 43,10 e 30,34%), o Modelo Matemático de deterioração obtido, indicou que a maior temperatura, mais rápida apresenta-se a deterioração. Também, a medida que o conteúdo de umidade do produto decresce, a deterioração apresenta-se com menos intensidade.
4. O Modelo Matemático de deterioração testado juntamente com o modelo secagem de Thompson et al (1968) e adaptado por Villa et al (1979), sob condições variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, proporcionou bons resultados.
5. As vazões mínimas para secagem da mandioca, calculados a partir dos modelos matemáticos de deterioração e secagem, para

as condições de 20, 30 e 40°C de temperatura e 25, 40 e 55% de umidade relativa do ar, apresentaram uma variação de vazão crescente de 47,5 a 102,5 m³/min-ton, a medida que foi se reduzindo a temperatura e aumentando-se a umidade relativa do ar.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ALBUQUERQUE, M. A mandioca na Amazônia. Superintendência - do Desenvolvimento da Amazônia. Belém-Pará. 1969.
2. ALMEIDA, M.A. Produção de proteína fúngica em raiz e folha de mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ). Tese de Mestrado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, 108 p. 1978.
3. AVERRE, C.W. Vascular streaking of cassava roots. Proc. - Ist. Int. Symp. Trop. Root Crops. Trinidad, 2 (4): 31-35. 1967.
4. _____. Effect of packaging on vascular streaking of fresh cassava roots. Reunión Latinoamericana de Fito-técnica. 7^a, Bogotá. 1970.
5. BARRIOS, E.A. & BRESSANI, R. Composición química de la raiz y de la hoja de algunas variedades de yuca (*Manihot esculenta* CRANTZ). San José, Turrialba, 17 (3): 314-320. - 1967.
6. BOOTH, R.H. Cassava storage: Post-harvest deterioration and storage of fresh cassava roots. Tropical Products Institute. 56-62 Gray's Inn Road. London. 1975.

7. BOOTH, R.H. et al.. Storage of fresh cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ). Post-harvest deterioration and it's control. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Experimental Agriculture, 12 (2): 103-111. 1976.
8. _____. Changes in quality of cassava roots during storage. Journal of Food Technology. London, 11 (3): 245-263. 1976.
9. BRAVERMAN, J.B.S. Introducción a la bioquímica de los alimentos. Barcelona, ediciones Omega, 355 p. 1967.
10. BROOKER, D.B.; BAKKER ARKEMA, F. & HALL, C.W. Drying cereal grains. Westport Co. the AVI Publishing Co. 1974.
11. CLERK, G.C. & CAURIE, M. Biochemical changes caused by some aspergillus species in root tuber of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ). Legon. University of Ghana. 1968.
12. COLOWICK, S.P. & KAPLAN, N.O. Methods in enzimology. New York. Academic Press Inc. Publishers, vol. II, p. 802-817. 1955.
13. DE CARVALHO, C.A. Cultura da mandioca. São Paulo, 18 p. 1970.
14. DIAZ, R. Tendencia de la producción mundial y rendimiento - de la yuca - 1960-1968. Cali, Centro de Agricultura Tropical. 118 p. (mimeografado). 1972.

15. DYE, J.L. & NICELY, V.A. A general purpose curvefitting program for class and research use. Journal of Chemical Education. 48 (7): 443-448. 1971.
16. FAO. FAO Production Yearbook - 1978. Vol. 32. Rome. 1979.
17. FRANCIS, F.J. & CLYDESDALE, F.M. Food Colorimetry: Theory - and Applications. Westport Co. The AVI Publishing Company Inc. 1975.
18. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Anuário Estatístico do Brasil - 1978. Rio de Janeiro. - 1979.
19. GRACE, M. Traitement du manioc. Organisation des Nations Unies pour L'Alimentation et L'Agriculture. Rome, bulletin nº 8. 1973.
20. HARRY, A. & HUECK VAN DER, E.H. Biodeterioration of materials. London. Applied Science Publishers, vol. 2, - 514 p. 1971.
21. HOLLEMAN, L.W. & ATEN, A. Elaboración de la yuca y sus productos en las industrias rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 123 p. 1956.

22. INGRAM, J.S. & HUMPHRIES, J.R. Cassava storage. Tropical Science. 14 (2): 131-148. 1972.
23. _____. Standars, specifications and quality requirements for processed cassava products. Tropical Products Institute. 25 p. 1975.
24. ITURRA, A.R. Previsão de deterioração do café durante a pré-secagem em barcaças por convecção forçada com auxílio de coletores solares. Tese de Mestrado. Campinas, FEAA-UNICAMP, 88 p. 1979.
25. KOYEKE, P. Le traitement du manioc. Bangui, Republique - Centrafricaine Stagiaire, 109 p. (mimeografado). 1972.
26. KRAMER, A. & TWIGG, B. Fundamentals of quality control - for the food industry. Westport Co. AVI Publishing Co. Inc., p. 19-41. 1966.
27. LEME, J. Industrialização da mandioca. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, da Universidade de São Paulo, 28 p. (mimeografado). 1968.
28. LOZANO, A. et al. Susceptibilidad del almidón presente en harinas crudas y modificadas al ataque enzimático con α -amilasa. Bogotá, Revista Colombiana de Química, 3 (1): 43-63. 1974.

29. LOZANO, J.C.A.; COCK, J.H. & CASTANO, J. New developments in cassava storage. Cassava protection workshop. Cali, CIAT. p. 135-141. 1978.
30. MACKINNEY, G. & LITTLE, A.C. Color of foods. Westport Co. AVI Publishers. 1962.
31. MAERZ, A.J. & PAUL, M.R. A dictionary of colour. New York McGraw-Hill Book Co. 1950.
32. MANURUNG, F. Technology of cassava chips and pellets processing in Indonesia, Malaysia and Thailand. Pattaya, - Thailand. 1974.
33. MARQUES, B. et al. Substituição do milho moído por farinha de raspa de mandioca na alimentação de suínos em período de crescimento e engorda. Fortaleza, Brasil. 1975.
34. MENDES, J. Fecularia e amidonaria. Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo. 1940.
35. MEIERING, A.G.; AZI, F.A. & GREGORY, K.F. Microbial protein production from whey and cassava. Transaction of the American Society of the Agriculture Engineers, 21 (3): 586-593. 1978.
36. MONTALDO, A. Vascular streaking of cassava root tubers. Tropical Science, 15 (1): 39-46. 1973.

37. NESTEL, B. & COCK, J. Cassava the development of an International Research Network. Ottawa, Canada. 1976.
38. PHILLIPS, T.P. Cassava: a study of utilization and potencial markets. Preliminary Report. Ontario, Canada. School - of Agricultural Economics. University of Guelph. 1973.
39. ROA, G. Natural drying of cassava. Unpublished Ph.D. Thesis. Michigan. Michigan State University, Agricultural Engineering Department. 1974.
40. _____ & MACEDO, I.C. Drying of "carioca" dry beans with solar energy in stacionary Bin. Michigan, ASAE paper 76-3021 St. Joseph. 1976.
41. _____ & VILLA, L.G. Secagem e armazenamento de grãos e se mentes em silos mediante a utilização de ar ambiente e com auxílio de coletores solares. Campinas, FEAA-UNICAMP 51 p. 1977.
42. SCHOLZ, H.K.B. Aspectos industriais da mandioca no Nordeste. Fortaleza. 1971.
43. SEERLEY, R.W. et al. Biochemical properties and nutritive - value of cassava. Georgia, University of Georgia. 130 p. 1972.
44. STEELE, J.L. Deterioration of Damaged Shelled corn as Mea - sured by carbon dioxide production. Unpublished Ph.D. -

Thesis. Ames, Iowa, Iowa State University of Science and Technology. 1967.

45. THOMPSON, T.L.; PEART, R.M. & FASTER, G.H. Mathematical Simulation of corn Drying a new Model. Transactions of the American Society of Agriculture Engineers, 11 (4): 582-586. 1968.
46. _____. Purdue drying model: thin layer calculation. Michigan, Institute for simulation of cooling and drying of Agricultural products. Department of Agricultural Engineering. Michigan State University, East Lansing, lectures 11 and 12. 1970.
47. TIOMMO, F. & ARANGO, J. A mandioca e a indústria de rações. 53 p. (mimeografado). 1973.
48. VALDERRUTEN, R.; ROA, G. & VILLA, L.G. Cálculo de vazões mínimas de ar para secagem de milho baseado nos registros meteorológicos. Campinas, Departamento de Engenharia Agrícola. FEAA-UNICAMP. 18 p. 1978.
49. VILLA, L.G.; ROA, G. & DAHAN, R. Simulação matemática da secagem de café e cacau. Trabalho apresentado no VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Botucatu. - 1978.

50. VILLA, L.G.; ROA, G. & BRAUNBECK, O. Secagem de raspas de mandioca com ar forçado e auxílio de coletores solares. Apresentado no IX Congresso de Engenharia Agrícola. Campina Grande, Paraíba. 1979.
51. VILLALOBOS, S.G. Determinação do efeito das variáveis da secagem em silos sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja. Tese de Mestrado. Campinas, FEAA-UNICAMP. - 1977.
52. VITTI, P. et al. Variedades da mandioca para o preparo de "pellets". In: Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, nº 58, jul./agosto de 1978. Campinas.
53. YOUNG, N. et al. Conservación de yuca fresca. Bogotá, Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Bogotá, 101 p. 1971.
54. ZEISS. Automatisches Farbemessgerät RFC-3 Operating Instructions, West Germany. 1974.

APÊNDICES

- A1 - Programa principal para calcular os parâmetros da equação 5.1.
- A2 - SUBROUTINE CYLNUM para calcular os parâmetros da equação 5.1.
- B1 - Programa principal para calcular os parâmetros das equações 5.7 e 5.8.
- B2 - SUBROUTINE CYLNUM para calcular os parâmetros das equações 5.7 e 5.8.
- C1 - Dados da temperatura do ar ambiental e a da saída do coletor durante a operação de secagem de mandioca, em barçaça.
- C2 - Dados da umidade relativa do ar ambiental e o de saída do coletor solar durante a operação de secagem de mandioca, em barçaça.
- D - Modelo matemático de secagem e o modelo matemático de deterioração para mandioca.
- E - Tempo de secagem para obter raspas de mandioca com 13%, a diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, em relação a diferentes vazões de ar.

APÊNDICE A-1 - Programa principal para calcular os parâmetros
da equação 5.1.

```

COMMON KOUNT, ITAPE, JTAPE, IWT, LAP, XINCR, NOPT, NOVAR, NOUNK,
1X, U, ITMAX, WTX, TEST, ICONT, AV, FREE, IAR, EPS, ITY, XX, RXTYP,
1DX11, FOP, FO, FU, P, ZL, TO, EIGVAL, XST, DUM, VECT, NCST, CONST
COMMON/NOME/INHOL, IPLT, KVAR, IMETH, IRX, ISMIN
DIMENSION X(4,100), U(20), WTX(4,100), XX(4), FOP(100),
1FU(100), FO(100), P(20,21), VECT(20,21), ZL(100), TO(20),
1EIGVAL(20), XST(100), DUM(25), CONST(16)
DIMENSION INHOL(40)
DATA ITAPE, JTAPE/1, 3/
CALL IFILE(1, 'DET')
3 READ(ITAPE, 800, END=4) NOUNK, NOVAR, ICONT, NOCOL, NOPT
READ(ITAPE, 801) IMETH, ITMAX, IWT, IRX, ISMIN, IPLT
1, TEST, KVAR
READ(ITAPE, 802) (INHOL(I), I=1, 40)
READ(ITAPE, 803) (U(I), I=1, NOUNK)
READ(ITAPE, 804) ((X(I, J), I=1, NOCOL), J=1, NOPT)
DO 10 I=1, NOPT
DO 10 J=1, NOCOL
WTX(J, I)=1.0
10 CONTINUE
CALL SUBKIN
GO TO 3
4 CALL EXIT
800 FORMAT(5G)
801 FORMAT(8G)
802 FORMAT(40A2)
803 FORMAT(5G)
804 FORMAT(2G)
END

```

APÊNDICE A-2 - SUBROUTINE CYLNUM para calcular os parâmetros da
equação 5.1.

```

SUBROUTINE CYLNUM
COMMON KOUNT, ITAPE, JTAPE, IWT, LAP, XINCR, NOPT, NOVAR, NOUNK, X,
1U, ITMAX, WTX, TEST, N, AV, RESID, IAR, EPS, ITP, XX, RXTYP, DX1I,
1FOP, FO, FU, P, ZL, TO, EIGVAL, XST, T, DT, L, M, JJJ, Y, DY, VECT, NCST,
1CONST
COMMON/NONE/IHOL, IPLT, KVAR, IMETH, IRX, ISMIN
DIMENSION X(4,100), U(20), WTX(4,100), XX(4), FOP(100), FO(100), F
1U(100), P(20,21), VECT(20,21), ZL(100), TO(20), EIGVAL(20), XST(10
10), Y(10), DY(10), CONST(16)
DIMENSION IHOL(40)
DIMENSION YMT(100)
DO 10 I=1, NOPT
YMT(I)=-U(1)+U(2)*(U(3)**(U(4)*X(2,1)-U(5)))
RESID=YMT(I)-X(1,1)
GO TO (114,115,116), IAR
114  FOP(I)=RESID
GO TO 10
115  FO(I)=RESID
GO TO 10
116  FOP(I)=RESID
10  CONTINUE
END

```

APÊNDICE B-1 - Programa principal para calcular os parâmetros
das equações 5.7 e 5.8.

```

COMMON KOUNT, ITAPE, JTAPE, IWT, LAP, XINCR, NOPT, NOVAR, NOUNK,
1X, U, ITMAX, WTX, TEST, ICONT, AV, FREE, IAR, EPS, ITY, XX, RXTYP,
1DX11, POP, FO, FU, P, ZL, TO, EIGVAL, XST, DUN, VECT, NCST, CONST
COMMON/NAME/INOL, IPLT, KVAR, IMETH, IRX, ISMIN
DIMENSION X(4,100), U(20), WTX(4,100), XX(4), POP(100),
1FU(100), FO(100), P(20,21), VECT(20,21), ZL(100), TO(20),
1EIGVAL(20), XST(100), DUN(25), CONST(16)
DIMENSION INOL(40)
DATA ITAPE, JTAPE/1, 3/
CALL IFILE(1, 'JOB')
3 READ(ITAPE, 800, END=4) NOUNK, NOVAR, ICONT, NOCOL, NOPT
READ(ITAPE, 801) IMETH, ITMAX, IWT, IRX, ISMIN, IPLT
1, TEST, KVAR
READ(ITAPE, 802) (INOL(I), I=1, 40)
READ(ITAPE, 803) (U(I), I=1, NOUNK)
READ(ITAPE, 804) ((X(I, J), I=1, NOCOL), J=1, NOPT)
DO 10 I=1, NOPT
DO 10 J=1, NOCOL
WTX(J, I)=1.0
C WRITE(5, 1) WTX(J, I)
1 FORMAT(1X, 'WTX(J, I)= ', G)
10 CONTINUE
CALL SUBKIN
GO TO 3
4 CALL EXIT
800 FORMAT(5G)
801 FORMAT(8G)
802 FORMAT(10G2)
803 FORMAT(5G)
804 FORMAT(3G)
END

```

APÊNDICE B-2 - SUBROUTINE CYLNUM para calcular os parâmetros das equações 5.7 e 5.8.

```

SUBROUTINE CYLNUM
COMMON KOUNT, ITAPE, JTAPE, IWT, LAP, XINCR, NOPT, NOVAR, NOUNK, X,
IU, ITMAX, WTX, TEST, N, AV, RESID, IAR, EPS, ITYP, XX, RXTYP, DX11,
IFOP, FO, FU, P, ZL, TO, EIGVAL, XST, T, OT, L, M, JJJ, Y, DY, VECT, NCST,
ICNST
COMMON/ROME/ IHOL, IPLT, KVAR, IMETH, IRX, ISMIN
DIMENSION X(1,100), U(20), WTX(4,100), XX(4), FOP(100), FO(100), F
IU(100), P(20,21), VECT(20,21), ZL(100), TO(20), EIGVAL(20), XST(10
10), Y(10), UY(10), CONST(16)
DIMENSION IHOL(10)
DIMENSION AMT(100)
DO 10 I=1, NOPT
DIF=X(2,1)-30.0
IF(DIF.LE.0.0)GO TO 2
J=0
GO TO 3
2 J=4
3 AMT(I)=1.0+(U(J+1)-U(J+2)*ALOG(X(3,1))+U(J+3)*X(3,1)**
IU(J+4))*(X(2,1)-30.0)
RESID=AMT(I)-X(1,1)
GO TO (114,115,116), IAR
114 FO(I)=RESID
GO TO 10
115 FU(I)=RESID
GO TO 10
116 FOP(I)=RESID
10 CONTINUE
END

```

APÊNDICE C-1

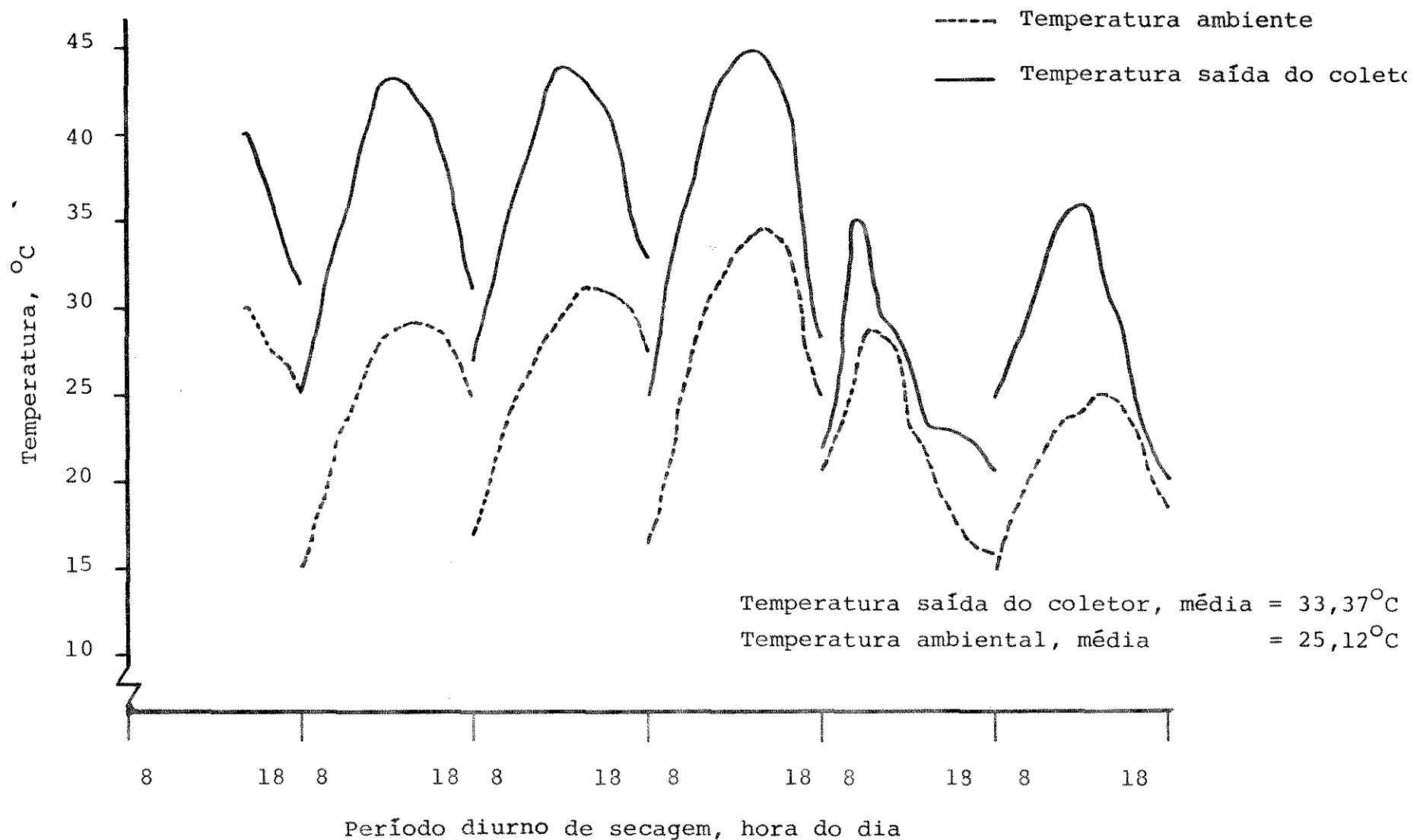


FIGURA C-1 - Temperatura ambiental e a de saída do coletor solar, duran

APÊNDICE C-2

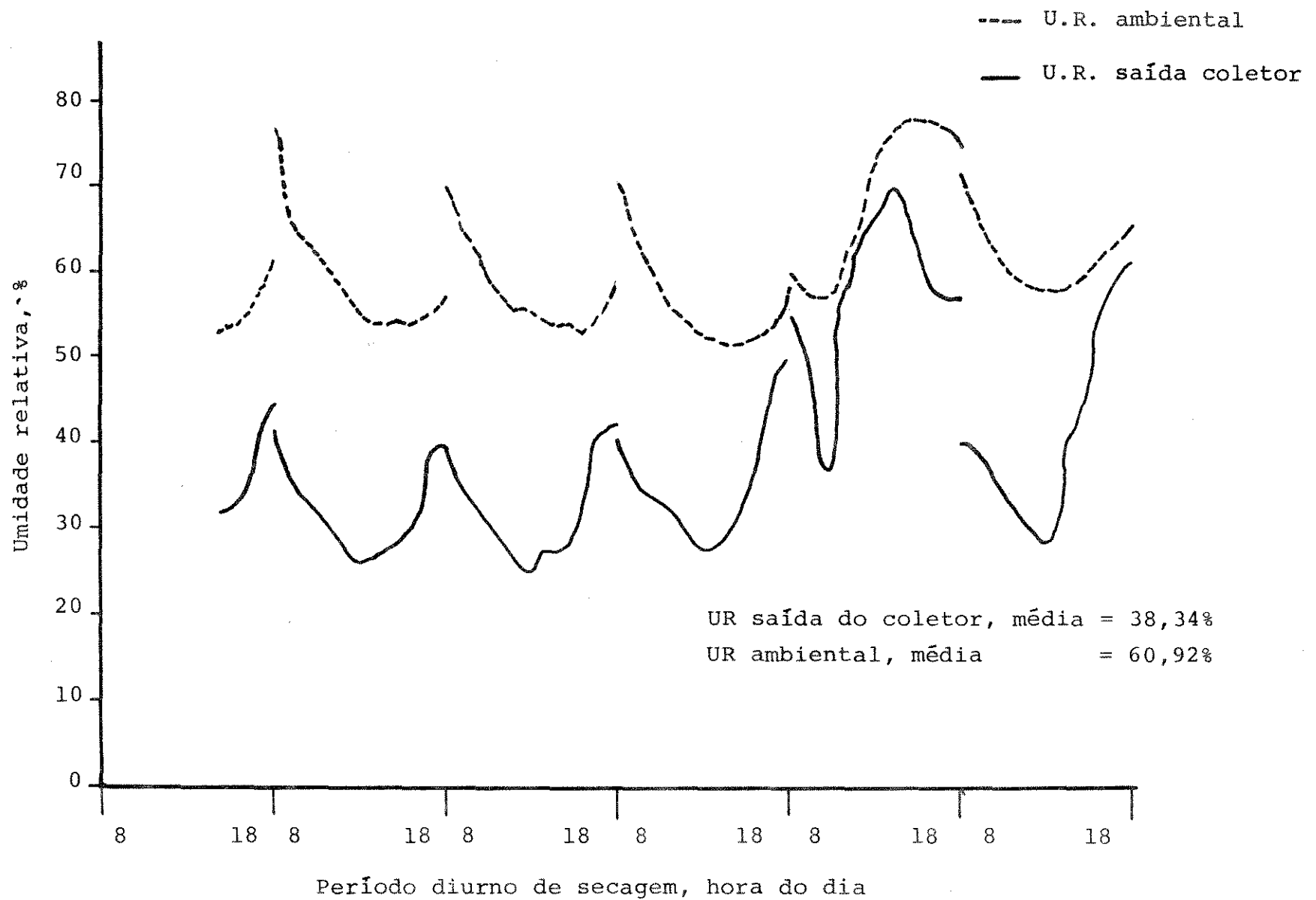


FIGURA C-2 - Umidade relativa do ar ambiental e a de saída do coletor solar durante a operação de secagem de mandioca, em barcaças.

APÊNDICE D

Modelo matemático de secagem de mandioca e modelo matemático de deterioração.

```

C      PARA EFEITO DE ENTRADA/SAIDA      *
C                                          *
C      VOLUME EM METROS CUBICOS          *
C      TEMPERATURA EM GRAUS CENTIGRADOS *
C      AREA EM METROS QUADRADOS          *
C      MASSA EM QUILOGRAMAS             *
C      COMPRIMENTO EM METROS             *
C      UNIDADE ABSOLUTA EM KG AGUA/KG DE AR SECO *
C      TEMPO EM MINUTOS                  *
C      VAZAO EM KG AR SECO/HORA/METROS QUADRADOS *
C                                          *
C*****
C
C      DIMENSION DB(21),WB(21),H(21),DF(21),G(21),FM(21),RH(21),DPV(21),
*ID(21),DIN(21),FMO(21),TDAIR(999),RI(999),HU(999),CFM(999),TEQ(21)
C      REAL INTERVALO, ID, LARG
C      LOGICAL IMPRES
C      INTEGER OPTEMPO, OPCOND, OPFORMATO, OPEQUACAO
C
C--- INICIALIZACAO DE TEMPO TOTAL DE SECAGEM, INTERVALO DE SECAGEM,
C      PRESSAO ATMOSFERICA E SUA CONVERSAO RESPECTIVAMENTE.
C
C      TTINE = 999999.
C      DELT =60.
C      PATM = 8782.41
C      PATM = PATM/703.2
C      IMPRES =.TRUE.
C
C--- PEDE CONDICAOES DO AR DE ENTRADA - FIXAS=0 - VARIAVEIS =1
C
C      WRITE(5,1000)
C 1000 FORMAT (' CONDICAOES DO AR DE ENTRADA FIXAS OU VARIAVEIS ?',
C      *      /, ' FIXAS = 0 ,  VARIAVEIS = 1 ',//)
C      READ(2,2000) OPCOND
C 2000 FORMAT (I)
C
C--- PEDE OPCAO DE FORMATO DO SILO OU BARCACA E DIMENSOES
C
C      WRITE (5,1001)
C 1001 FORMAT (' SILO(BARCACA) REDONDO OU RETANGULAR/QUADRADO ?',
C      *      /, ' REDONDO = 0  RETANGULAR/QUADRADO = 1 ',//)
C      READ (2,2000) OPFORMATO
C      IF (OPFORMATO.GT.0) GO TO 1
C      WRITE (5,1002)
C 1002 FORMAT (' DIAMETRO = ?',//)
C      READ (2,2001) DIAM
C 2001 FORMAT (G)
C      GO TO 2
C      1 WRITE (5,1003)
C 1003 FORMAT (' ENTRE COM COMPRIMENTO E LARGURA' //)
C      1 READ (2,2002) COMP,LARG
C 2002 FORMAT (2G)
C
C--- PEDE INFORMACAO SOBRE HORAS DE SECAGEM, SE AS CONDICAOES FOREM FIXAS
C
C      2 IF (OPCOND.GT.0) GO TO 3
C      WRITE (5,1004)
C      READ(2,2001)NHORAS
C 1004 FORMAT (' ENTRE COM N.O DE HORAS DE SECAGEM',//)
C      TSEC = NHORAS*60.

```

```

C
C--- LE DO ARO. DE ENTRADA AS CONDIC0ES FIXAS DO AR DE ENTRADA
C
      READ (2,2003) VAZAO,UMABS,TEMPER
2003 FORMAT (3G)
      VAZAOAUX = VAZAO
      VAZAO = (VAZAO * 3.28)/60.
      TAUX = 9.* TEMPER/5. + 32.
      CALL RH1 (UMABS,TAUX,PATM,UMREL)
C
C--- LEITURA DO INTERVALO DE TEMPO PARA IMPRESSAO, PESO POR VOLUME,
C      ALTURA TOTAL DA CAMADA ,ESPESSURA DE CADA SUBCAMADA , TEMPERATURA
C      E UNIDADE INICIAL DO GRAD
C
      3 READ (2,2004) INTERVALO,OPEQUACAO,PVOLUM,DEP,ESPESS,GOAUX,W
2004 FORMAT (7G)
C
      GO TO (4,5) OPEQUACAO
      4 WRITE (3,1005)
1005 FORMAT (////,10X,'TEMPO CALCULADO PELA EQUACAO DE ROA',//)
      GO TO 6
      5 WRITE (3,1006)
1006 FORMAT (////,10X,'TEMPO CALCULADO PELA EQUACAO DE TROEGER
      *E HUKILL',//)
C
C--- CALCULO DA AREA DA SECAO TRANSVERSAL DO SILO/BARCACA DE ACORDO COM
C      O FORMATO
C
      6 IF (OPFORMATO.GT.0) GO TO 7
C      SILO REDONDO
      AREA = (3.141592/4.) * (DIAM**2)
      GO TO 8
C      SILO QUADRADO
      7 AREA = COMP * LARG
C
C--- CONVERSAD DE DADOS
C
      8 VC = AREA * ESPESS
      PU = VC* PVOLUM
      PS = PU* (1. -(W/100.))
      DMM= PS/AREA
      DM = DMM * 2.2/ 10.75
      NO = DEP / ESPESS
      GO = GOAUX * 1.8 + 32.
C
      TINC = DELT /60.
      FND(1) = W/(100.-W)
      WB(1)=0.01*W
C
C--- INICIALIZACAO DE TODAS AS SUBCAMADAS
C
      DO 9 J=1,NO
          WB(J)=WB(1)
          DB(J)=WB(J)/(1-WB(J))
          G(J) = GO
      9 CONTINUE
C
C--- INICIO DA SECAGEM
C
      TIME = 0.0

```

```

TIM = 0.0
NCT = 0
NNTT = 2

```

IMPRESSAO DAS CONDICICOES INICIAIS

```

WRITE (3,1007) TTIME,GOAUX,DM,WB(1),DEP
1007 FORMAT (4(/),10X,'TEMPO LIMITE DE SECAGEM = ',2X,E11.5,
*' MINUTOS',//,10X,'TEMP INICIAL DO GRAD = ',2X,E11.5,
*' GRAUS CENTIGRADOS',//,10X,'QTD. MATERIA SECA POR AREA = ',
*2X,E11.5,' KILOGRAMAS',//,10X,'UMIDADE INICIAL DO GRAD = ',
*2X,E11.5,' % BASE UMIDA',//,
*10X,'PROFUNDIDADE DO SILO = ',10X,E11.5,' METROS',//)

```

```

10 TIME = TIME + DELT
TIM = TIM + DELT
NCT = NCT + 1
IF (TIME.GT.TTIME) STOP

```

LE CONDICOES DO AR DE ENTRADA SE ESTAS FOREM VARIAVEIS, SENAO,FAZ AS NOVAS CONDICOES IGUAIS AS VELHAS

```

IF (OPCOND.GT.0) GO TO 11
IF (TIME.GT.TSEC) STOP

```

```

CFM (NCT) = VAZAO
HU (NCT) = UMABS
RI (NCT) = ONREL * 100.
TC = TEMPER
GO TO 18

```

```

11 READ (2,2005) HU(NCT),TC,CFM(NCT)
2005 FORMAT(3G)
IF (NNN.EQ.9999) STOP
VAZAQAU = CFM(NCT)
CFM(NCT) = (CFM(NCT)*3.28)/60.
TAUX = TC * 1.8 + 32.
CALL RH1(HU(NCT),TAUX,PATM,RI(NCT))
RI(NCT) = 100 * RI(NCT)

```

SE MUDOU O DIA ENTAO CALCULA A DETERIORACAO HAVIDA DURANTE A NOITE

```

GO TO 18
TIM = DELT
DO 12 J=1,NO
12 FMO(J) = DB(J)
17 IAU1 = NNTT - 1
IAUX2 = NNTT
NNTT = NNTT + 1
WRITE (3,1008) IAU1,IAUX2
1008 FORMAT (/,' DETERIORACAO DA NOITE DO DIA',I3,' PARA O DIA',I3,/,
* ' J',2X,'ID(J)',16X,'TEQ(J)',/)
CSHD = 24. - SHD
DO 16 J=1,NO
CALL DND(TCENT,WB,CS,SD,ID,TEQ,J)
SHD = 0
WRITE (3,1009) J,ID(J),TEQ(J)
1009 FORMAT (1X,I2,2X,F12.7,2X,F12.7)
GO TO (13,13,13,14,14,14,15,15) J
13 AMED1 = AMED1 + DIN(J)
GO TO 16

```

```

14 AMED2 = AMED2 + DIN(J)
   GO TO 15
15 AMED3 = AMED3 + DIN(J)
16 CONTINUE
   BMED1 = AMED1/3
   BMED2 = AMED2/3
   BMED3 = AMED3/2
C   WRITE (3,1016) BMED1,BMED2,BMED3
   AMED1 = 0
   AMED2 = 0
   AMED3 = 0
   IF (NNN.GE.NNTT) GO TO 17
C
C--- CONTINUACAO DA SECAGEM
C
   18 TDAIR (NCT) = Taux
   SHD = SHD + DELT/60.
C
C--- IMPRIME RESULTADOS APOS 'INTERVALO' MINUTOS
C
   IQ = TIME/INTERVALO
   IRESTO = TIME-INTERVALO * IQ
   IF (IRESTO.NE.0) GO TO 20
C
C--- SE AS CONDICoes FOREM FIXAS IMPRIME-AS APENAS NO PRIMEIRO INTERVALO
C   DE SECAGEM
C
   IF (OPCOND.EQ.0.AND.IMPRES.NE..TRUE.) GO TO 19
   IMPRES = .FALSE.
   WRITE (3,1010) TIME,TC,RI(NCT),HU(NCT),VAZAOAUX
1010 FORMAT (3(/),10X,'TEMPO = ',2X,F12.5,/,10X,'TEMPERATURA = ',2X,
*         F12.5,/,10X,'UM.RELAT = ',2X,F12.5,/,10X,'UM.ABS = ',2X,
*         F12.5,/,10X,'VAZAO = ',2X,F12.5,/)
   IF (OPCOND.EQ.0) GO TO 27
   WRITE (3,1011) NNN
1011 FORMAT (30X,'DIA = ',T50,I12)
   GO TO 27
C
C--- IMPRIME CABECALHO DAS CONDICoes DO PRODUTO
C
   19 WRITE(3,1017)TIME
1017 FORMAT(3(/),30X,'TEMPO = ',T50,F12.5)
   27 WRITE (3,1012)
1012 FORMAT (///,6X,'CAM',5X,'TEMP(C)',5X,'UM
*         *(BU)',5X,'UM.REL',5X,'FM',9X,'ID',9X,'TEQ',/)
C
C--- CHAMA A SUBROTINA QUE CALCULA A SECAGEM APOS 'DELT' DE TEMPO
C
   20 Q=CFM(NCT) * 4.5
   DF(1) = TDAIR (NCT)
   RH(1) = RI(NCT) * 0.01
   H(1) = HU(NCT)
   DO 26 J= 1,NO
   CALL DRY (PATM,DB,WB,H,DF,G,FM,RH,FMO,TINC,DM,Q,J,TIM,CHAVE,
*         TDAIR,NCT)
   TCENT=(DF(J)-32)/1.8
   CALL DMD(TCENT,WB,TINC,ID,TEQ,J)
C
C--- ACUMULO GERAL DAS CONDICoes DO PRODUTO
C
   SRG = SRG + G(J)

```

```

      SRWB = SRWB + WB(J)
      SRDB = SRDB + DB(J)
      SSPMSD = SSPMSD + SPMSD(J)
      SDIN = SDIN + DIN(J)
:
:--- ACUMULA CONDICÕES POR GRUPO DE CAMADAS
:
      GO TO (21,21,21,22,22,22,23,23,23) J
      21 AMED1 = AMED1 + WB(J)
      GO TO 24
      22 AMED2 = AMED2 + WB(J)
      GO TO 24
      23 AMED3 = AMED3 + WB(J)
:
:--- IMPRESSAO DAS CONDICÕES POR CAMADAS
:
      24 IF (IRESTO.NE.0) GO TO 25
      WRITE (3,1013) J,TCENT,WB(J),RH(J),FM(J),
      *      ID(J),TEQ(J)
1013 FORMAT (5X,I3,2X,9(F11.4))
      25 L= J+1
      DF(L) = DF(J)
      H(L) = H(J)
      26 CONTINUE
C
C--- CALCULA MEDIA GERAL DAS CONDICÕES
C
      RG = SRG/NO
      RDB = SRDB/NO
      RWB = SRWB/NO
C      SMMS = SSPMSD/NO
      SMDIN = SDIN/NO
      SRG = 0
      SRWB = 0
      SRDB = 0
      SSPMSD = 0
      SDIN = 0
C
C--- CALCULA MEDIA DAS CONDICÕES GRUPO DE CAMADAS
C
      BMED1 = AMED1/3
      BMED2 = AMED2/3
      BMED3 = AMED3/3
      AMED1 = 0
      AMED2 = 0
      AMED3 = 0
C
      IF (IRESTO.NE.0) GO TO 10
C
C--- IMPRESSAO DAS MEDIAS GERAIS
C
      WRITE (3,1014)
1014 FORMAT (/ ,19X,'VALORES MEDIOS',/,21X,'TEMP(F)',6X,'UM(BS)',6X,
      *      'UM(BU)',8X,'SMMS',7X,'SMDIN',/)
      WRITE (3,1015) RG,RDB,RWB,SMMS,SMDIN
1015 FORMAT (16X,5(F12.5),/)
C
C--- IMPRESSAO DAS MEDIAS POR GRUPOS DE CAMADAS
C
      WRITE (3,1016) BMED1,BMED2,BMED3

```

```

1016 FORMAT (/ ,19X,34('*'),/,19X,'* MEDIA(1,2,3)= ',F16.4,' *',/,19X,
*      '* MEDIA(4,5,6)= ',F16.4,' *',/,19X,'* MEDIA(7,8,9)= ',
*      F16.4,' *',/,19X,34('*'))
GO TO 10
END
SUBROUTINE RH1 (H,DF,PATM,RHS)
TABS = DF + 459.69
ARG = 54.63 - ( 12301.69/TABS ) - ( 5.17*ALOG(TABS))
SATVP = EXP (ARG)
WVP = (PATM*1.605*H)/(1.605*H +1.)
RHS=WVP/SATVP
RETURN
END
SUBROUTINE A11(YD,X,Y,XM,YM,DEL,M,N,AIP)
DIMENSION YM(10),XM(10,10),DELY(10)
M=1
IF ( ABS(Y-YD+DEL)-0.001)2,4,4
4 IF ( Y-YD+DEL)3,3,1
1 IF(Y-YD-DEL)2,2,3
2 M=2
AIP=X
RETURN
3 N=N+1
IF(N-1)10,10,20
10 YM(1)=Y
XM(1,1)=X
N=1
AIP=X*2.0
RETURN
20 YM(N)=Y
XM(N,1)=X
DO 40 J=1,N
DO 40 K=J,N
IF(YM(J)-YM(K))40,40,30
30 T=YM(J)
YM(J)=YM(K)
YM(K)=T
T=XM(J,1)
XM(J,1)=XM(K,1)
XM(K,1)=T
40 CONTINUE
DO 50 J=1,N
50 DELY(J)=YM(J)-YD
DO 60 J=2,N
DO 60 K=J,N
60 XM(K,J)=(XM(J-1,J-1)*DELY(K)-XM(K,J-1)*DELY(J-1))
-/(YM(K)-YM(J-1))
AIP=XM(N,N)
IF(N-10)100,70,70
70 IF(YD-YM(5))90,90,75
75 DO 80 J=1,9
L=J+1
YM(J)=YM(L)
80 XM(J,1)=XM(L,1)
90 N=9
100 RETURN
END
SUBROUTINE DRY (PATM,DB,WB,H,DF,G,FM,RH,FMD,TINC,DM,Q,J,TIM,CHAVE
*,TDAIR,NCT)
DIMENSION DB(21),WB(21),H(21),DF(21),G(21),FM(21),RH(21)

```

INTEGER CHAVE
 DEFINICION DE LA FUNCION FME QUE CALCULA HUMEDAD EN EQUILIBRIO
 CALCULO DEL CALOR ESPECIFICO DEL MAIZ EN BTU/LB DE AIRE SECO

$C = (0.4 + 0.6 * WB(J)) * DM / ((Q * TINC) * (1. - WB(J)))$
 Q=RATA DE FLUJO DEL AIRE EN LBS AIRE/HR-PIE CUADRADO
 TINC=INCREMENTO EN EL TIEMPO DE SECADO EN HORAS
 DM=LIBRAS DE MATERIAL SECO/PIE CUADRADO EN UNA CAPA DETERMINADA

BALANCE DE CALOR ANTES DEL SECADO

HA=.24+.45*H(J)
 T=(HA*DF(J)+C*G(J))/(HA+C)
 HL=H(J)
 HU=HL

SE LLAMA EL SUBPROGRAMA FUNCTION RHS
 RH1 ES UTILIZADO PARA CALCULAR LAS HUMEDADES RELATIVAS
 CALL RH1 (HL,T,PATM,RHS)

R=RHS

IF(R-1.0)10,50,50

P1=665.707

P2=-1261.97

P3=622.394

P4=-0.0085

P5=0.00

P6=0.00

P7=0.01055

P8=0.0

P9=273.

TC=(T-32.)*5./9

FM(J)=R*(P1+R*(P2+P3*R))*EXP((P4+R*(P5+R*(P6+R*(P7+P8*R))))

1*(TC+P9))

FM(J)=FM(J)/100.

IF(DB(J)-FM(J))100,90,20

IF(FMD(J)-FM(J))90,90,111

DF(J)=T

G(J)=T

RH(J)=R

TFMD=FMD(J)

IF(DB(J)-FMD(J))42,42,32

TFMD=DB(J)

DELM=TFMD-FM(J)

TABS=T+459.69

ARG=54.6329-(12301.688/TABS)-(5.16923*ALOG(TABS))

PVSI=EXP(ARG)

PVSM=PVSI*703.008

DPVM=PVSM*(1-R)

DPV(J)=DPVM

CALL RER(DPV,DB,FM,TIM,TINC,DH,J,DM,Q)

GO TO 18

20 DF(J)=T

G(J)=T

RH(J)=R

TFMD=FMD(J)

IF(DB(J)-FMD(J))41,41,31

31 TFMD=DB(J)

41 DELM=TFMD-FM(J)

TABS=T+459.69

ARG=54.6329-(12301.688/TABS)-(5.16923*ALOG(TABS))

```

PVS1=EXP(ARG)
PVS2=PVS1*703.008
DPVM=PVS2*(1-R)
DPV(J)=DPVM
GO TO (16,17)CHAVE
16 CALL RER(DPV,DB,FM,TIM,TINC,DH,J,DM,Q)
GO TO 18
7 AUX=FMO(J)
CALL RETH(DB,AUX,FM,DELM,RH,TDAIR,TINC,J,DH,DM,Q,NCT)

CALOR DE VAPORIZACION

18 DL=(1094.-.57*DF(J))*9.56201*EXP(-35.94*DB(J))

BALANCE DE CALOR DESPUES DEL SECADO

T=(HA*T-DH*(1060.8+DL+32.0-G(J))+C*G(J))/(HA+DH*.45+C)
HU=H(J)+DH
DH=0.
SE LLAMA EL SUBPROGRAMA FUNCTION RHS

CALL RH1 (HU,T,PATM,RHS)
R=RHS
IF(R-1.0)90,90,50
50 DF(J)=T
N=0
M=1
SE LLAMA EL SUBPROGRAMA FUNCTION AIP
AIP SE UTILIZA PARA HALLAR LAS RAICES DE CURVA DESCONOCIDA
CALL AI1(0.995,T,R,XM,YM,0.005,M,N,AIP)
X=AIP
T=T+20
60 BESTH=((0.24+C)*(DF(J)-T)+HU*(1092.8-.55*DF(J)))
-/(1092.8+.45*T-DF(J))
DH=BESTH-HU
SE LLAMA EL SUBPROGRAMA FUNCTION RHS
CALL RH1 (BESTH,T,PATM,RHS)
R=RHS

SE LLAMA EL SUBPROGRAMA FUNCTION AIP

CALL AI1(0.995,T,R,XM,YM,0.005,M,N,AIP)
T = AIP
GO TO (60,80),M
80 DB(J)=DB(J)-DH*Q*TINC/DM
90 RH(J)=R
DF(J)=T
G(J)=T
H(J)=HU+DH
WB(J)=DB(J)/(1.0+DB(J))
RETURN
END
SUBROUTINE RER(DPV,DB,FM,TIM,TINC,DH,J,DM,Q)
DIMENSION DPV(21),DB(21),FM(21)
XQ=0.873252
XN=0.378464
TIMM=TIM/60
PM=0.0528022
DMDT=-(PM*XQ)*(DPV(J)**XN)*(DB(J)-FM(J))*(TIMM**(XQ-1))
DBT=DB(J)+DMDT*TINC

```

```

DB(J)=DBT
RETURN
END
SUBROUTINE RETH(DB,CMO,FM,RANGM,RH,TDAIR,TINC,J,DH,DM,Q,NCT)
DIMENSION DB(21),FM(21),RH(21),TDAIR(999)
CM=DB(J)
CME=FM(J)
HR=RH(J)
TF=TDAIR(NCT)
VPM=13.25
Q3=-1.0
Q2=-EXP(0.810-3.11*HR)
Q1=-3.98+2.87*CMO-(0.019/(HR+0.015))+0.016*TF
P2=EXP(2.82+7.49*((HR+0.01)**0.67)-0.0179*TF)
P3=0.12*(RANGM**((Q2-Q3))*(P2*Q2/Q3)
P1=EXP(-2.45+6.52*(CMO**1.25)-3.15*HR +9.62*CMO*(HR**0.5)+0.030*TF
1-0.002*VPM)
CMX1=0.40*RANGM+CME
CMX2=0.12*RANGM+CME
IF(CM-CMX1)60,50,50
50 TIMM=P1*((CM-CME)**Q1)-P1*(RANGM**Q1)
TIMH=TIMM/60
TI=TIMH+TINC
TI=TI*60.
PG=P1
QG=Q1
CMR=CMO
GO TO 100
60 IF(CM-CMX2)80,70,70
70 TIMM=P2*((CM-CME)**Q2)-P2*((CMX1-CME)**Q2)
TIMH=TIMM/60
TI=TIMH+TINC
TI=TI*60.
PG=P2
QG=Q2
CMR=CMX1
GO TO 100
80 IF(CM-CME)95,95,90
90 TIMM=P3*((CM-CME)**Q3)-P3*((CMX2-CME)**Q3)
TIMH=TIMM/60
TI=TIMH+TINC
TI=TI*60.
PG=P3
QG=Q3
CMR=CMX2
GO TO 100
95 WRITE(3,97)
97 FORMAT(/,,'M MENDR QUE MEQ',/)
100 CM=(CMR-CME)*(TI/(PG*((CMR-CME)**QG))+1)**(1/QG)+CME
DH=(DB(J)-CM)*DM/(TINC*Q)
DB(J)=CM
RETURN
END
SUBROUTINE DMD(TCENT,WB,TINC,ID,TEQ,J)
DIMENSION DF(21),WB(21),ID(21),TEQ(21)
REAL ID,MU,MT
IF(WB(J).LT..431)GO TO 8
MU=2.7998871-0.0417607*WB(J)*100
GO TO 9
MU=1./(.0005617*(100.0*WB(J))**1.98649305)

```

```

IF(TCENT.LT.30.)GO TO 11
B0=0.162703
B1=0.109811
B2=0.933245
B3=0.497069
FAT=TCENT-30.00
GO TO 12
1 B0=0.118163
  B1=0.0731257
  B2=0.0000891083
  B3=1.7987
  FAT=TCENT-30.0
2 MT=1+(B0-B1*ALOG(WB(J)*100.))+B2*((WB(J)*100.)**B3))*FAT
  TEQ(J)=TINC/(MU*MT)+TEQ(J)
  IF(TEQ(J).GE.18.5875)GO TO 10
  ID(J)=1.
  RETURN
0 IF(TEQ(J).GE.129.4) GO TO 13
  ID(J)=-0.509702+0.781174*(0.792674**((0.0421605*TEQ(J)-3.61
    19430))
  RETURN
3 ID(J)=0.
  RETURN
END

```

APÊNDICE E-1

Umidade inicial = 61%

Vazão = $60 \text{ m}^3/\text{min-to}$

U.R. = 55%

U.R. = 40%

U.R. = 25%

20

25

30

35

40

Temperatura, °C

FIGURA E-1 - Tempo de secagem para obter raspas de mandioca com 13%, a diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

APÊNDICE E-2

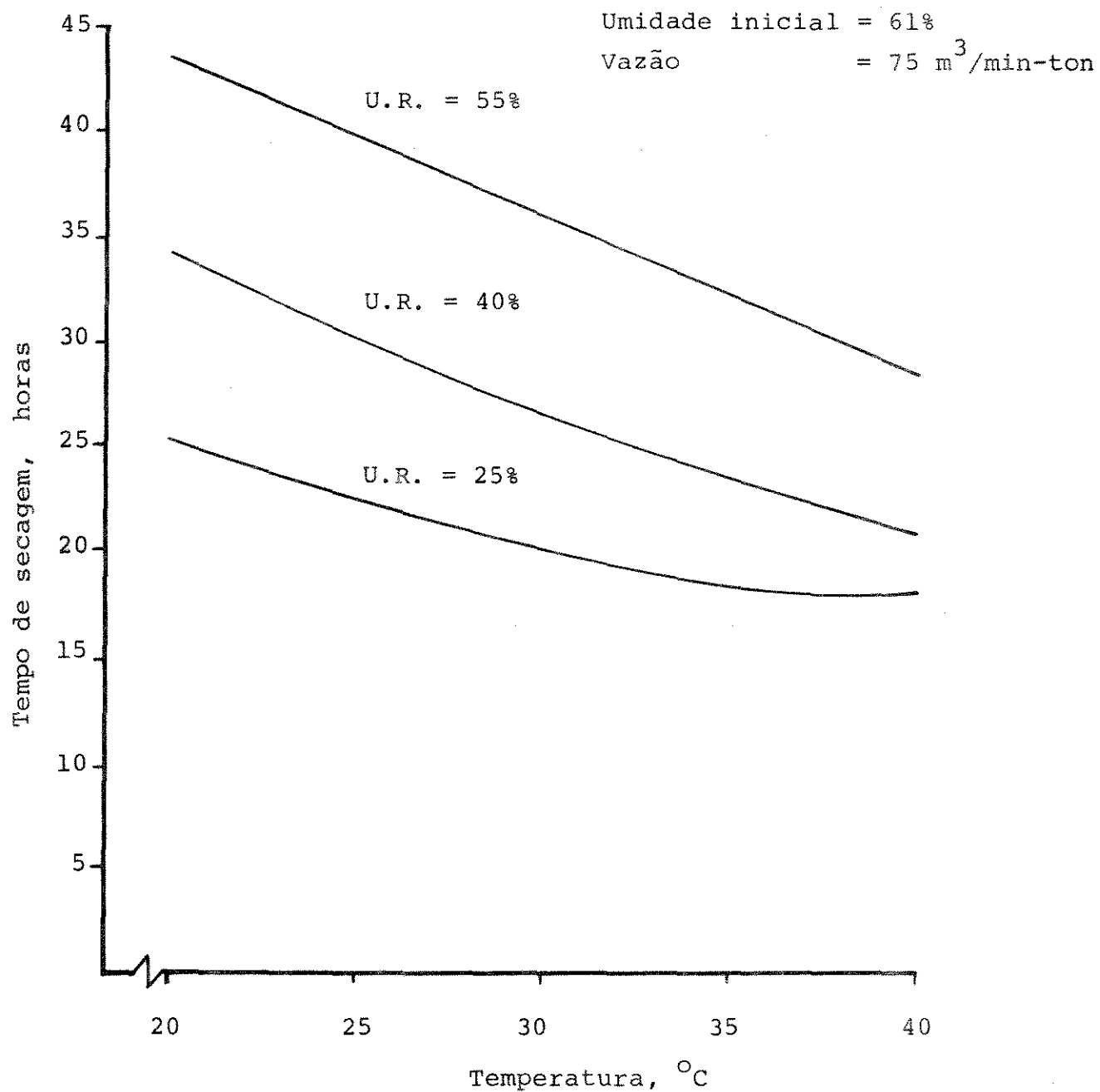


FIGURA E-2 - Tempo de secagem para obter raspas de mandioca com 13% a diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

APÊNDICE E-3

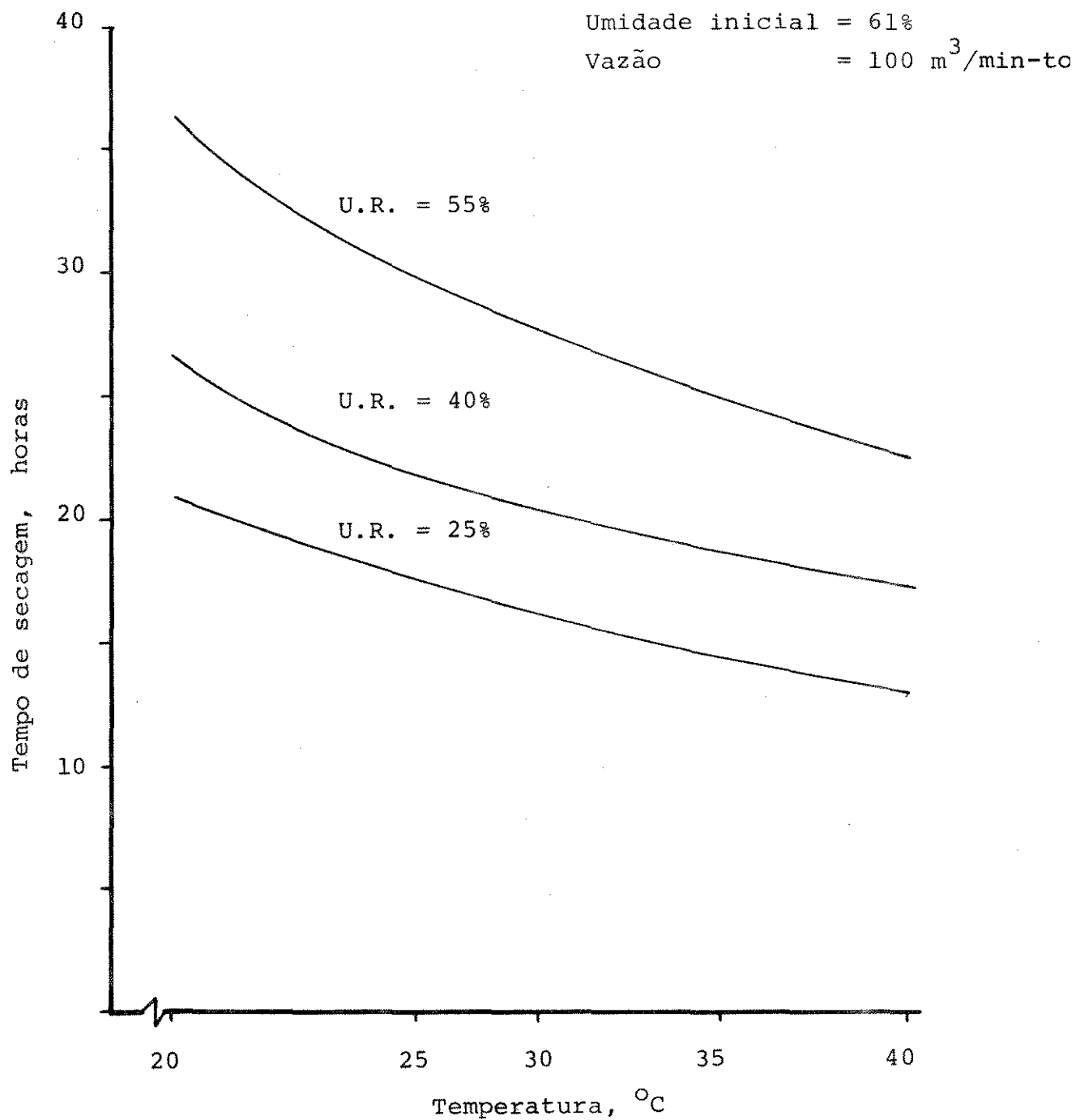


FIGURA E-3 - Tempo de secagem para obter raspas de mandioca com 13% a diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.