UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENG. QUÍMICA

PROCESSAMENTO DE URUCUM EM LEITO DE JORRO

GABRIEL FRANCISCO DA SILVA

CAMPINA GRANDE
OUTUBRO DE 1991

PROCESSAMENTO DE URUCUM EM LEITO DE JORRO

GABRIEL FRANCISCO DA SILVA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: **OPERAÇÕES E PROCESSOS**

ORIENTADOR: **ODELSIA LEONOR SÁNCHEZ DE ALSINA**

CAMPINA GRANDE

1991

S586p Silva, Gabriel Francisco da
Processamento de urucum em leito de jorro / Gabriel Francisco da Silva. - Campina Grande, 1991.
138 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Quimica) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Secagem de Produtos Agricolas 2. Urucum 3. Dissertacao I. Alsina, Odelsia Leonor Sanchez de, Profa. II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 631.563(043)

PROCESSAMENTO DE URUCUM EM LEITO DE JORRO

GABRIEL FRANCISCO DA SILVA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22 / 11 / 1991

ODELSIA LEONOR SÂNCHEZ DE ALSINA

Orientador

MICHEL FRANÇOIS FOSSY

Componente da Banca

ROBERTO MAGNO MEIRA BRAGA

Componente da Banca

Campina Grande

1991

DEDICATÓRIA

A Deus,

A minha companheira,

A minhas filhas,

A meus pais

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

À professora Odelsia Leonor Sánchez de Alsina pela orientação, sugestões e apoio na realização deste trabalho.

À Empresa São Braz pela construção do equipamento e fornecimento do urucum para os experimentos. À Química Industrial Ângela M. L. Melo pela sua dedicação e apreço durante o trabalho e ao Analista de Controle de Qualidade Hélio B. Cavalcanti pela determinação de algumas propriedades do urucum.

À Eliana da Silva Santos aluna de iniciação científica pela ajuda na obtenção dos dados experimentais, característica do urucum, teor de bixina e das curvas de equilíbrio higroscópico, como também à Adrianna da Gama Fernandes Vieira pela obtenção dos dados experimentais em leito fixo.

Aos professores Dalva Siqueira de Queiroz pela leitura da absorbância da bixina no espectrofotômetro e Rui F. Urtiga pela concessão da balança analítica.

Ao professor Mário T. Hattori, ao estudante de Engenharia Elétrica José Nazareno dos Santos e ao estudante do Mestrado de Economia Romildo dos Santos Silva pela ajuda no Script como também aos funcionários do NPD pela dedicação na impressão deste trabalho.

À Coordenação de Pós-Graduação de Engenharia Química na pessoa do professor Kepler Borges França e ao Departamento de Eng. Química.

Ao Núcleo de Tecnologia de Armazenamento nas pessoas dos professores Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata e João Miguel de Moraes Neto pela concessão de equipamentos de laboratório.

Aos professores, colegas e funcionários pela oportunidade de convivência e colaboração.

Enfim, aos amigos e familiares que de uma maneira ou de outra contribuíram para o meu sucesso.

RESUMO

O urucuzeiro (Bixa Orellana L) é um arbusto nativo da América Tropical, suas sementes são cobertas com uma camada vermelha contendo a bixina em maior concentração. A bixina é um corante empregado nas indústrias de produtos alimentícios, cosméticos e farmacológicos, a qual vem largamente substituindo os sintéticos, tendo em vista as restrições impostas pela Organização Mundial da Saúde. O leito de jorro além de produzir um concentrado em bixina, seca o produto a uma umidade adequada para o armazenamento. No Nordeste, na maioria dos casos, a secagem é feita naturalmente por exposição ao sol, o que pode causar perda de corante devido à degradação da bixina por efeito da luz e do calor.

O objetivo deste trabalho é fornecer conhecimentos adequados para a aplicabilidade do leito de jorro na secagem de urucum sem que o produto não sofra desvalorização, fazendo estudos sobre as condições operacionais para se encontrar uma faixa de trabalho adequada. Além de estudar as características físicas para produtos de diferentes regiões, um estudo comparativo entre a secagem em leito de jorro e fixo e aplicação de um modelo difusivo para ajustar os dados experimentais.

O leito de jorro é formado por uma coluna cilíndrica de 100 cm de altura e 60 cm de diâmetro com uma abertura na parte superior e uma base cônica de 60° com abertura na extremidade para entrada do fluido e um ciclone acoplado na parte superior. Os testes foram feitos em bateladas.

Através dos testes realizados foi observado que a umidificação não modificou o comportamento das curvas de secagem, A reprodutibilidade dos dados foi boa. A vazão e o comprimento do tubo centrado não afetaram as curvas e a temperatura, a umidade inicial das sementes, e a carga de processamento causaram efeitos nas mesmas. Em comparação com os dados obtidos em leito fixo, o leito de jorro mostrou-se mais eficiente. O ajuste dos dados ao modelo proposto foi satisfatório, permitindo calcular o tempo teórico para uma determinada umidade.

ABSTRACT

The Annato (Bixa Orellana L) is an arbust native of the Tropical America. Their seeds are covered by a rouge layer that has the higher concentration of bixine. Bixine is a natural dye used in the food, cosmetic and pharmacological industries in substitution of the sintetics dyes restricted by the W.H.O. (World Health Organization). The spouted bed dries the Annato seeds to an humidity level suitable for the storage and produces a powder concentrate in bixine also. In the Northeast of Brazil, in most cases a naturally solar drying is utilized. This procedure may to degradate bixine by the non-controlled exposure to the light and heat.

The objective of this work is to obtain some knowledge about the applicability of spouted bed to the drying of Annato seeds without damage, making studies about the best operational conditions to get the optimal working range. Other objectives are to study the physical properties of Annato seeds from diferents regions, the comparison of the performances of fixed bed and spouted bed and the modeling by diffusional theory to adjust the experimental data.

The spouted bed is composed by a cylindrical column, 100 cm height and 60 cm diameter, opened at top and with a conical base of 60° with the air input in the bottom. A cyclone is conected at the top of the column. The tests were maked in the batch regime.

From the experiences it was observed that the behaviour of the drying courves was not changed by the artificial humidification. The reproductibility was good. The air flow and the central tube lenght d'ont have affected the drying courves. The spouted bed shows a more efficient performance that the fixed bed for the drying of Annato seeds. The proposed model shows a good fitting of the experimental data, so, it may be utilized to calcul the theoretical drying time needed for a specified humidity level.

NOMENCLATURA

a	–	Parâmetro da equação 2.6
A	–	Parâmetro da equação 5.4
b	–	Parâmetro da equação 2.6
B	–	Parâmetro da equação 5.4
C	–	Capacidade térmica do calorímetro (cal/°C)
C_1	–	Parâmetro da equação 2.10
C_2	–	Parâmetro da equação 2.10
Cp_s	–	Capacidade calorífica do sólido (cal/g°C)
Cp_a	–	Capacidade calorífica da água natural (cal/g°C)
$C'p_a$	–	Capacidade calorífica da água gelada (cal/g°C)
$C''p_a$	–	Capacidade calorífica da mistura água gelada e natural no calorímetro (cal/g°C)
d_1	–	Diâmetro da menor circunferência que circunscreve o objeto (cm)
d_2	–	Diâmetro da maior circunferência que inscreve a maior área projetada (cm)
d_3	–	Diâmetro da maior circunferência que inscreve o objeto (cm)
D_{ef}	–	Coeficiente de difusividade efetiva (cm^2/s)
d_p	–	Diâmetro da partícula (cm)
k	–	Parâmetro da equação 2.8
k1	–	Parâmetro da equação 2.8
k2	–	Parâmetro da equação 2.8
l	–	Comprimento da placa (cm)
L_{tc}	–	Comprimento do tubo centrado (cm)
M	–	Carga de sólido para secagem (kg)
m_1	–	Parâmetro da equação 2.9
m_2	–	Parâmetro da equação 2.9
m_a	–	Massa da água (g)

P_1 – Pressão no cilindro 1 (mmHg)

P_2 – Pressão no cilindro 2 (mmHg)

$P_{pó}$ – Peso do pó obtido pelo ciclone (g)

P_{vH2O} – Pressão de vapor da água (mmHg)

P_{vsol} – Pressão de vapor da solução (mmHg)

Q – Vazão do ar de secagem (m^3/h)

R – Raio da esfera (cm)

R_p – Raio da partícula (cm)

t – Tempo de processamento (s)

T – Temperatura de entrada no secador (°C)

T1 – Temperatura da água gelada (°C)

T2 – Temperatura da água natural (°C)

T3 – Temperatura no equilíbrio térmico dentro do calorímetro (°C)

T4 – Temperatura das sementes (°C)

T5 – Temperatura de equilíbrio térmico final (°C)

U – Umidade média volumétrica dos grãos em base seca (decimal)

U* – Relação de umidade $(U - U_e)/(U_o - U_e)$

U_{bs} – Umidade base seca (decimal)

U_{bu} – Umidade base úmida (decimal)

U_e – Umidade de equilíbrio em base seca (%)

U_n – Umidade da monocamada (decimal)

U_o – Umidade inicial do produto em base seca (%)

U_R – Umidade relativa do ar (%)

V – Volume da esfera igual ao objeto (cm^3)

W_i – Peso da amostra inicial (g)

W_f – Peso da amostra final (g)

ε – Porosidade do leito fixo (%)

μ_n – Raiz característica da equação 2.3

ρ_a – Densidade aparente (g/cm^3)

ρ_s – Densidade do urucum (g/cm^3)

φ – Esfericidade média dos grãos do urucum (%)

ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO 01

CAPÍTULO II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 03

2.1 – Considerações Gerais Sobre o Urucum 03
2.1.1 – O Urucuzeiro 03
2.1.2 – Corantes 04
2.1.3 – Empregos 05
2.1.4 – Colheita e Beneficiamento 06
2.1.2 – Mercado 07
2.1.3 – A Solução Proposta 08
2.2 – Secagem 09
2.2.1 – Período de Secagem 11
2.2.2 – Modelos de Secagem 12
2.3 – Propriedades 15
2.3.1 – Capacidade Calorífica 15
2.3.2 – Porosidade e Densidade do Sólido 15
2.3.3 – Diâmetro e Esfericidade 16
2.3.4 – Equilíbrio Higroscópico 16
2.4 – Leito de Jorro 17

CAPÍTULO III EQUIPAMENTOS UTILIZADOS 20

3.1 – Aparelhagem 20
3.2 – Câmara de Secagem em Leito de Jorro 20
3.3 – Câmara de Secagem em Leito Fixo 25
3.4 – Equipamentos Auxiliares 26

CAPÍTULO IV MATERIAIS E MÉTODOS 32

4.1 – Materiais Utilizados 32
4.2 – Determinação da Porosidade e Densidade 32
4.3 – Determinação da Esfericidade e Diâmetro Médio das Sementes 33
4.4 – Determinação da capacidade Calorífica 34
4.5 – Determinação do Teor de Bixina 34
4.6 – Determinação das Isotermas de Equilíbrio Higroscópico 35
4.7 – Preparação do Material para Secagem 36
4.8 – Determinação do Teor de Umidade 37
4.9 – Determinação da Umidade Relativa e Absoluta do Ar de Secagem 38
4.10 – Obtenção dos Dados Experimentais no Secador de Leito de Jorro 38
4.11 – Obtenção dos Dados Experimentais na Câmara de Leito Fixo 39
4.12 – Tratamento dos Dados Experimentais 40

CAPÍTULO V RESULTADOS E DISCUSSÕES 42

5.1 – Características do Urucum 42
5.1.1 – Características Físicas do Urucum . . . 42
5.1.2 – Caracterização do Urucum pelo Teor de Bixina 43
5.1.3 – Características Químicas do Urucum . . 45
5.1.4 – Curvas de Equilíbrio Higroscópico . . . 46
5.2 – Efeito das Condições de Umidificação do Produto 47
5.3 – Reprodutibilidade dos Dados Experimentais . . . 47
5.4 – Efeitos das Variáveis Operacionais sobre as

Curvas de Secagem 51
5.4.1 – Comparação das Curvas de Secagem do Urucum para Diferentes Regiões 52
5.4.2 – Efeito da Vazão do Ar de Secagem . . . 55
5.4.3 – Efeito da Temperatura de Operação . . 55
5.4.4 – Efeito da Umidade Inicial nas Curvas de Secagem 58
5.4.5 – Efeito da Carga de Sólido nas Curvas de Secagem 58
5.4.6 – Efeito do Comprimento do Tubo Centrado nas Curvas de Secagem 61
5.5 – Condições Operacionais de Secagem Recomendadas 61
5.6 – Comparação Das Curvas de Secagem em Leito de Jorro e em Leito Fixo 63
5.7 – Modelagem 64

CAPÍTULO VI CONCLUSÕES 76

CAPÍTULO VII SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 78

BIBLIOGRAFIA 79

APÊNDICE A

APÊNDICE B

APÊNDICE C

APÊNDICE D

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O urucuzeiro (Bixa Orellana L) é um arbusto nativo da América Tropical. Suas sementes são cobertas com uma camada vermelha contendo a bixina em maior concentração. O teor de bixina na semente se altera com a variedade da cultura, solo, clima, tratos culturais, beneficiamento, etc. Pode-se encontrar sementes com menos de 1% e até com mais de 4% de bixina, conforme informação de CARVALHO (1989). A bixina é um corante empregado nas indústrias de alimentos, cosméticos e farmacológicos, a qual vem largamente substituindo os corantes sintéticos, tendo em vista as restrições impostas pela Organização Mundial da Saúde. Com isto, segundo DAMASCENO (1988), a bixina e seus derivados ocupam um lugar proeminente em se tratando do tom amarelo-alaranjado.

A secagem é o processo mais utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Consiste na remoção de grande parte de líquido de um sólido por evaporação. A quantidade de líquido que está no sólido molhado é transferida para uma fase gasosa não saturada. Este processo é considerado um meio direto de combate aos microorganismos e indireto no combate as pragas. O nível de retirada de umidade para uma perfeita conservação dos grãos varia com a espécie, período de armazenamento e tipo de compartimento em que a massa de grãos será estocada.

Em muitos casos a secagem é feita por meio natural em que o produto é exposto ao sol em lonas estendidas ao chão, pisos encimentados ou asfaltados causando a desvalorização do produto através da contaminação de materiais estranhos como grãos de outros produtos, areia, pedras e dejetos de animais domésticos contaminando o urucum com microorganismos causadores de

doenças. Em particular, para o urucum a desvalorização é mais acentuada devido a degradação da bixina pelo contato descontrolado da luz e do calor, MELLO & LIMA (1989).

A secagem artificial é feita por meio de secadores. São classificados em contínuos e descontínuos. Nos secadores descontínuos o produto é seco por batelada e nos contínuos o produto é seco continuamente passando pelo fluxo de ar quente. São vários os tipos de secadores: de esteira, rotatório, a tambor, de leito fixo, leito fluidizado e leito de jorro, etc. A escolha do secador apropriado está relacionada à boa manipulação do material úmido, o produto final seco, os custos inicial e de operação e o produto deve continuar com as mesmas características organolépticas e propriedades físicas desejáveis.

O leito de jorro, por permitir altas taxas de transferência de calor e massa, é utilizado para secagem de cereais, desidratação de pastas e suspensões, granulações de fertilizantes e outras aplicações. Foi introduzido na Paraíba por ALSINA em 1989 em conjunto com a Empresa São Braz para secagem de urucum, o qual além de secar o produto com umidade adequada para o armazenamento, produz um concentrado em pó rico em bixina que pode chegar até 20% em peso, dependendo do produto a ser seco, conforme os trabalhos desenvolvidos por MASSARANI e colaboradores na COPPE/UFRJ.

O objetivo geral deste trabalho é estudar a secagem do urucum em leito de jorro com tubo centrado.

Os objetivos específicos são:

– Verificar os efeitos das variáveis operacionais como: a temperatura de entrada do secador, vazão do ar de secagem, cargas de sólido e comprimento do tubo centrado. Além de fazer estudos com sementes de diferentes regiões e comparação da secagem feita por produto com umidade natural e reumidificado, como também o efeito da umidade inicial.

– Propor um modelo difusional para estimação do coeficiente de difusividade efetiva do urucum.

– Fazer um estudo comparativo da secagem do urucum em leito de jorro e em leito fixo, fazendo o levantamento das curvas de secagem para diferentes condições.

– Calcular as propriedade físicas e químicas do urucum para diferentes regiões como também o estudo da perda de bixina na secagem e o levantamento das curvas de equilíbrio higrocópico para as temperaturas de 15, 30, 40 e 50 °C.

– Propor uma faixa adequada de operação para o equipamento na secagem do urucum.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Considerações Gerais sobre o Urucum

2.1.1 – O Urucuzeiro

O urucuzeiro (Bixa Orellana L) é um arbusto da família bixácea que vegeta em ecosssistemas florestais localizados na América Tropical. É considerado uma planta permanente, de rápido crescimento, pode atingir de 40 a 50 anos com pleno desenvolvimento vegetativo e produtivo, podendo chegar até 4 metros de altura, sem necessitar de muita água. Tem folhas cordiformes, normalmente grandes, de coloração verde ou verde violeta, flores grandes hermafroditas de coloração branca, rósea e lilás, com racemo (cacho), formado por cápsulas das mais diferentes formas e diversas sementes denominadas de urucum.

Na época do descobrimento, os índios já usavam seu corante para pintar suas peles, como meio de ornamentação, proteção dos raios solares e picadas de insetos. É uma planta de cultura Pré-Colombiana e seu cultivo vem sendo desenvolvido de forma empírica, quase sempre prevalecendo a experiência adequada do produtor rural, FALESI (1987).

Existe, no entanto, plantações organizadas no país, especialmente apartir de 1982, com uma expansão agrícola considerável, devido às promissoras condições de mercado internacional de corantes naturais, OLIVEIRA (1989). Cabe citar o caso do estado de São Paulo que, embora produtor recente, em 1981 com pouco mais de 50.000 plantas e embora se conhecia pouco da cultura chegou a possuir em 1989, mais de 1.500.000 plantas, sendo 1.000.000 formadas por sementes selecionadas. Esta expansão, contagiou outros estados da República,

chamou a atenção de outros países e extrapolou a área agrícola, OLIVEIRA (1989).

Segundo CANTO (1989), os principais Estados produtores são: São Paulo, Rio de Janeiro, Espirito Santo, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso, Ceará, Paraíba, Piauí, Bahia, Pará e Amazonas.

De acordo com MELLO & LIMA (1989), o urucuzeiro foi introduzido no brejo paraibano, mais precisamente, no município de Bananeiras pelo agricultor Luiz Bezerra por volta de 1946. A Paraíba, onde o urucum é mais conhecido pela denominação imprópria de açafrão, é o maior produtor do Brasil, chegou a produzi· cerca de 50% do total nacional. Segundo esses autores sua pr(dução vem caindo devido à baixa qualidade das sementes. Citam ainda que os principais municípios paraibanos produtores de urucum da Paraíba são: Pirpirituba, Pilõezinho, Guarabira, Bananeiras, Duas Estradas, Belém, Pilões, Serra da Raiz e Serraria, quase todos localizados na região do brejo paraibano.

Já de acordo com dados de BATISTA (1987), os principais países produtores são: Bolívia, Ceilão, Equador, Guiana, Índia, Jamaica, México, Perú, Republica Dominicana e Brasil, que detém a maior produção mundial.

Existem várias variedades de Urucum segundo CORRIÇO (1987): A Peruana do Perú, a Nova Guinê e as do Brasil, a Papua, a Cabeça de Moleque, a Fucinho de Porco e a Wagner. OLIVEIRA (1987) acrescenta: Bico de Pato, Casca Verde e Bico de Calango.

2.1.2 – Corantes

Na semente do urucum, o pigmento presente em maior concentração é a bixina, um carotenóide de cor vermelha, alcança mais de 80% dos corantes presentes na semente e sua concentração altera com a variedade da cultura, solo, clima, tratos culturais, etc. podendo se encontrar sementes com menos de 1 % e até mais de 4 % de bixina, segundo CARVALHO,(1989). Outro corante do urucum é a norbixina. Estima-se que é a forma de corante do urucum mais usada no Brasil, cerca de 80 %, contra 20 % da bixina, CANTO (1989).

A conversão da bixina em norbixina é facilmente obtida pela diluição da bixina em meio alcalino, que após a separação e secagem é comercializadada na forma de pó ou pasta. A norbixina apresenta um poder corante similar à bixina, na figura 2.1 se mostra a estrutura desses corantes que do ponto de vista químico são classificados como carotenóides.

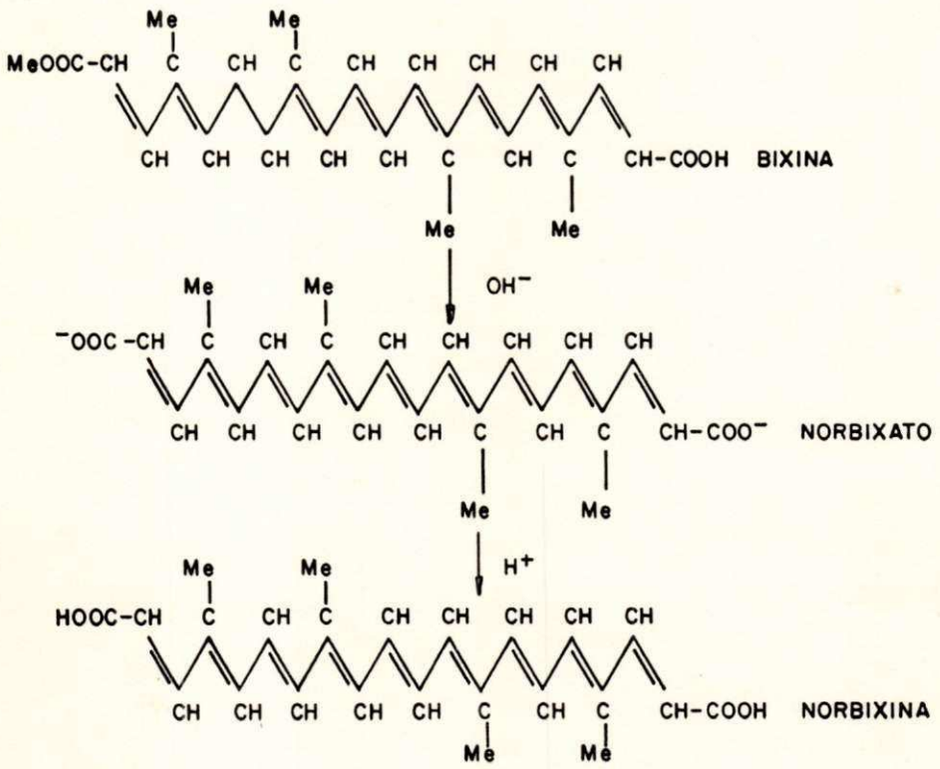


Figura 2.1 – Conversão da bixina em norbixina

2.1.3 – Empregos

A bixina é empregada nas indústrias de alimentos, cosméticos e farmacológicos, as quais vem largamente substituindo os sintéticos, tendo em vista as restrições impostas pela Organização Mundial da Saúde, com isto, a bixina e seus derivados ocupam um lugar proeminente em se tratando do tom amarelo-alaranjado, DAMASCENO (1988).

Dos produtos que utilizam corantes provenientes da semente do urucum, destacam-se: indústria de laticínios, para fabricação de queijos, cremes, manteigas e margarinas; em panificação, seu uso se dá em massa de pães, biscoitos e bolos; produção de bebidas em refrigerantes, vinhos, licores e cervejas; na indústria textil

na coloração de produtos de algodão e seda; na indústria de cosméticos, como óleos para cabelos, shampoos e bronzeadores. Além de ser usada para produção de salsichas, ceras para assoalhos e graxas para sapatos. Serve também como ração para aves poedeiras, já que seus resíduos contém valores protéicos, FALESI (1987).

O principal mercado para as sementes do urucum é a área de condimentos, para fabricação de colorífico, o que representa 75-80 % do volume comercializado no Brasil, OLIVEIRA (1989). A Empresa São Braz processa cerca de 60 toneladas de sementes de urucum mensais, e praticamente detém o mercado de todo o Nordeste, BATISTA (1987).

O uso de corantes do urucum só não é maior no Brasil por falta de melhor qualidade nos produtos, por falta de conhecimento das aplicações pela indústria alimentícia, por falta de exigência do consumidor e pela ausência de legislação, OLIVEIRA (1989).

2.1.4 – Colheita e Beneficiamento

Na região Norte/Nordeste, de uma maneira geral, o urucuzeiro inicia sua produção no primeiro ano após o plantio. Normalmente, a colheita começa logo que os cachos estão secos, é feita manualmente quebrando ou cortando com faca e levando-os para um terreno, em balaios, ou sacos e deixando-os ao relento. Após a secagem das cachopas em terrenos encimentados a céu aberto as sementes são destacadas das cachopas pelo processo de batedura manual ou através de roletes adaptados. Poucas vezes se utiliza descachopamento mecânico. Este procedimento causa a desvalorização do produto, no tocante ao teor de bixina, em virtude de sua exposição descontrolada a luz e ao calor e a maneira como é feito o descachopamento. No processo se retira boa parte dos pigmentos presentes nos grãos e chegando inclusive a quebrá-los, MELLO & LIMA (1989). Por outro lado, para que a semente possa ser armazenada em boas condições, evitando-se o desenvolvimento de fungos e microorganismos, recomenda-se que seu conteúdo de umidade não seja superior a 10-12 % em base úmida, FALESI (1989).

2.1.5 – Mercado

Não se encontra dados precisos da produção nacional de urucum tendo em vista não se ter um controle rigoroso de mercado. Em 1988 estimou-se que a produção brasileira tenha sido da ordem de 5.400 a 7.400 toneladas de grãos de urucum. Dessas, foram exportadas 619 toneladas, estimou-se que 1250 toneladas tenham sido processadas pela indústria de corantes, o restante, estimado como sendo da ordem de 3.500-5.500 toneladas foram destinadas à indústria de colorífico.

As exportações de grãos de urucum apresentaram um crescimento significativo desde 1985, como mostra a tabela 2.1.

Tabela 2.1

ANO	Toneladas	VALOR EM DOLARES
1985	1,8	1.200
1986	261,0	274.000
1987	919,0	1.440.000
1988	619,0	715.000

Fonte: (OLIVEIRA, 1989)

Os maiores importadores são: Estados Unidos, Reino Unido, e Venezuela.

Foram registrados os seguintes preços dos grãos em Dólares por toneladas: US$ 750/t em 1984, US$ 750/t em 1985, US$ 1,860/t em 1986, US$ 2,240/t em 1987.

O preço de corante foi registrado o valor médio de US$ 15.00/Kg do corante com 30 % de bixina, havendo um acréscimo de US$ 0.40-0.50/Kg para cada 1 % de bixina, acima do teor mínimo de 30 %, CANTO (1989).

2.1.6 – A Solução Proposta

Para evitar a exposição prolongada da semente ao sol, o que causa perda de bixina, uma alternativa é a secagem do produto em equipamentos sob condições controladas de temperatura e de processamento. O leito de jorro é o que oferece melhor possibilidade de secagem do urucum, pois além de deixar o produto seco com uma umidade abaixo do valor permitido para o armazenamento, produz um concentrado em pó que pode alcançar até 20 % de bixina.

Os primeiros a introduzir este equipamento para a secagem do urucum foram GUIMARÃES, BARBOSA & MASSARANI (1988), que processando semente até 6 horas conseguiram resultados supreendentes obtendo um concentrado em pó superior a 20 % de bixina. Outros trabalhos foram realizados pelo mesmo grupo da COPPE como: Nota sobre a Produção de Concentrado de Bixina em Leito de Jorro por GUIMARÃES, BARBOSA & MASSARANI (1989), Produção de Concentrado de Bixina em Leito de Jorro II por FRANCO, BARRETO & MASSARANI (1989) e Produção de Concentrado de Bixina em Leito de Jorro III por BARRETO, JAEGER & MASSARANI (1989). Este último é uma continuação de todos os outros, em que além dos testes em leito de jorro, foram utilizados equipamentos não aerados como a betoneira com bolas, fornecendo bons resultados para a obtenção de concentrado.

Em paralelo, em 1989, ALSINA, juntamente com a Empresa São Braz propuseram um projeto de utilização do leito de jorro na secagem do urucum. O primeiro trabalho foi publicado por PINHEIRO, SILVA & ALSINA em 1990. Nele estudaram as perdas causadas na secagem de urucum no secador comparando o colorífico produzido pelo produto processado com o fabricado a partir do urucum original da mesma amostra, observaram que não houve perdas

significativas. No mesmo trabalho proporam o modelo difusivo para estimação dos parâmetros de secagem. O presente trabalho, dá continuidade ao projeto, observando os efeitos das variáveis operacionais, estudo da perda de bixina na secagem do leito de jorro e leito fixo e comparação das cuvas de secagem obtidas nos dois secadores, como também a proposta da aplicação de um modelo difusional.

2.2 – Secagem

A secagem é o processo mais utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Consiste na remoção de grande parte de líquido de um sólido por evaporação. A quantidade de líquido que está no sólido molhado é transferida para a fase gasosa não saturada. Este processo é considerado um meio direto de combate aos microorganismos e indireto no combate as pragas. O nível de retirada de umidade necessário para uma perfeita conservação dos grãos varia com a espécie, período de armazenamento e o tipo de compartimento em que a massa de grãos será estocada.

A extração de umidade contida nos grãos após a colheita comporta-se dois fenômenos diretos:

- o movimento da água contida no interior do grão para a sua superfície externa,
- retirada da umidade da superfície do grão para o meio exterior.

O movimento interno da água que corresponde a primeira fase, depende de mecanismos complexos e acoplados a transferência de calor e massa no grão que por sua vez condicionam a maior ou menor facilidade de deslocamento da água de dentro para fora do grão, como mostra a figura 2.2.

Basicamente pode-se dizer que a secagem consiste na evaporação da água contida nos grãos mediante a ação do calor, podendo realizar-se por meio natural (exposição ao sol) e artificial (por meio de secadores).

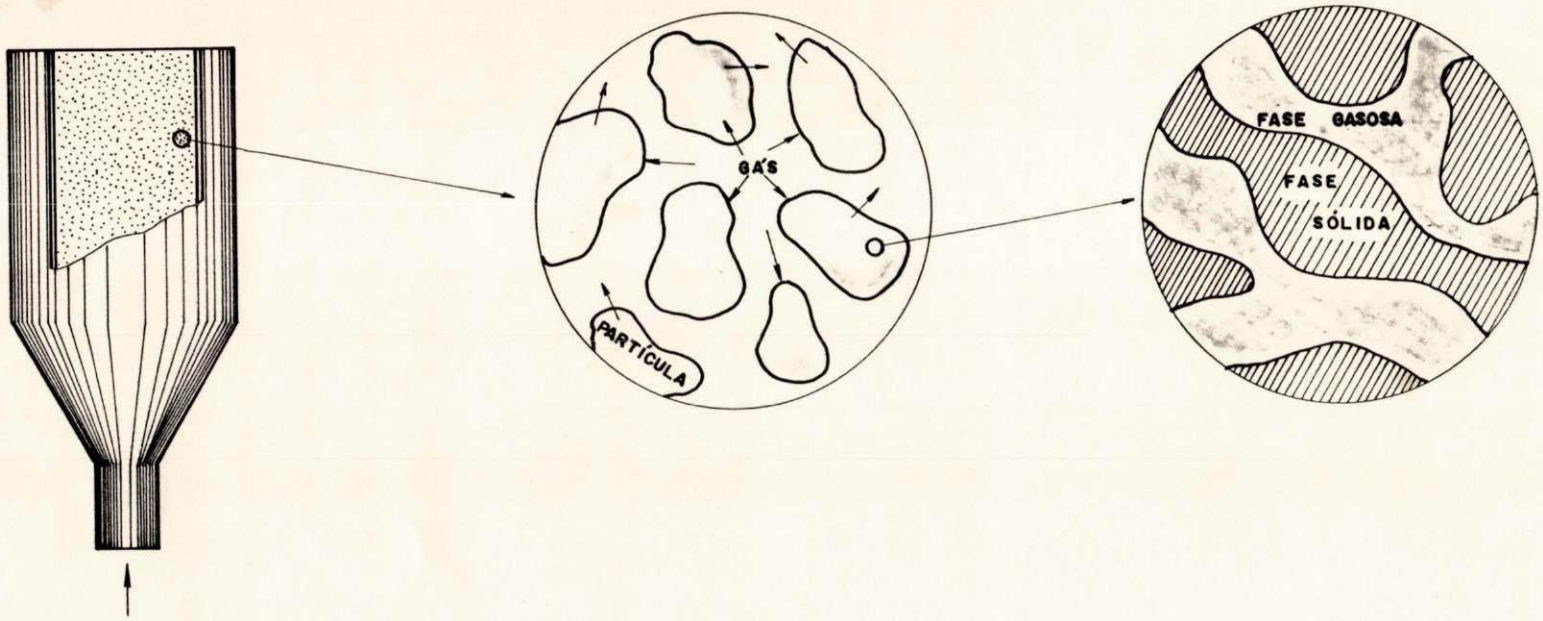


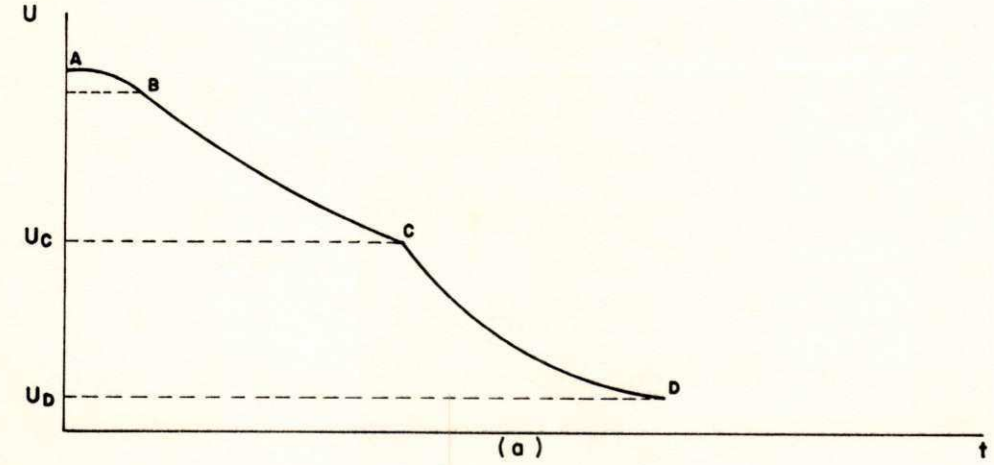
FIGURA 2.2 - MECANISMOS DA SECAGEM

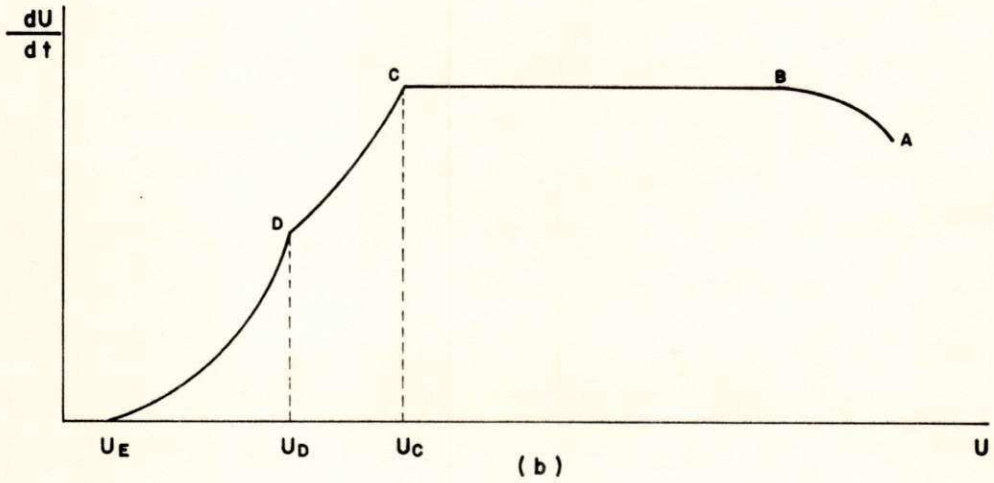
Os secadores são classificados em descontínuos e contínuos. Nos descontínuos, o produto é seco por batelada, no contínuo o produto é seco continuamente passando pelo fluxo de ar quente. De acordo com o movimento do fluxo os secadores podem ser co-correntes, contracorrentes, cruzados e mistos. Os secadores de leito de jorro e fluidizado podem funcionar como contínuos ou descontínuos e neles o tipo de escoamento é misto, com padrão de fluxo extremamente complexo.

A investigação da secagem e o cálculo das dimensões do equipamento de secagem devem levar em conta uma multidão de problemas nas áreas da mecânica dos fluidos, da química das superfícies e da estrutura dos sólidos, além dos problemas de velocidade de transferência.

2.2.1 – Períodos da Secagem

A secagem de sólido úmido mediante um gás a uma temperatura e uma umidade fixa, manifesta-se com um certo tipo de comportamento cinético. Imediatamente depois do contato entre o sólido e o meio secante, a temperatura atinge um regime permanente. Neste regime a temperatura da superfície do sólido molhado é a mesma do bulbo úmido do gás e a taxa de secagem permanece constante. O período termina quando o sólido atinge o teor de umidade crítica. Este teor de umidade depende das características do produto, tais como: forma e tamanho e também das condições de secagem. Além do ponto crítico a temperatura da superfície se eleva, a taxa de secagem cai rapidamente e tende a zero quando o teor de umidade se aproxima do equilíbrio, menor teor de umidade atingível no processo de secagem. Isto acontece quando a pressão de vapor sobre o sólido iguala-se à pressão parcial de vapor do gás de secagem. As figuras 2.3a, 2.3b e 2.3c mostram as curvas típicas de secagem.





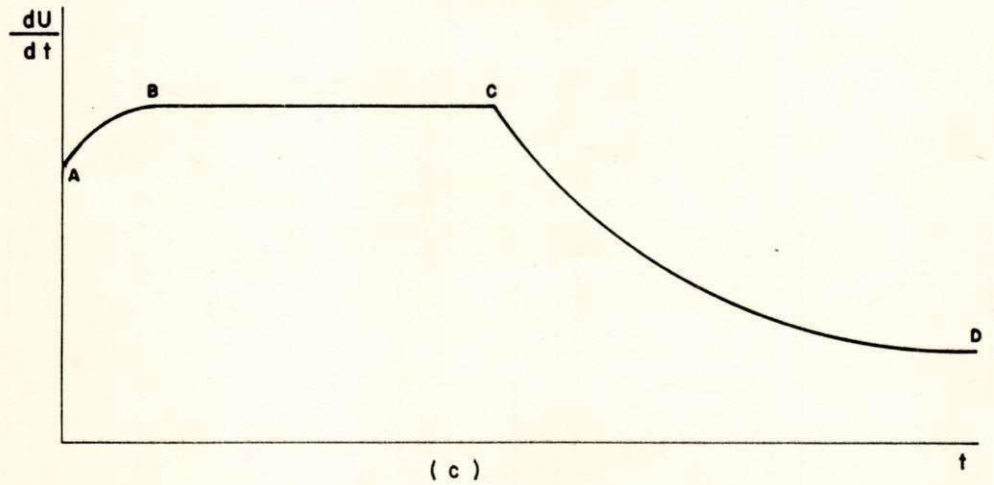


FIGURA 2.3 - CURVAS TÍPICAS DE SECAGEM

O segmento AB representa o período de transição térmica. No segmento BC, o período representa a secagem com taxa constante. O segmento CD representa o primeiro período de taxa decrescente, e o segundo período de taxa de decrente finaliza ao atingir o teor de umidade de equilíbrio.

Os grãos de cereais, geralmente, não apresentam período de taxa constante, a menos que sejam colhidos em estágio imaturo ou tenha havido condensação de umidade ou chovido sobre eles. Entretanto, muitos outros produtos biológicos, tais como batatas e beterrabas, apresentam um comportamento de secagem com taxa constante, quando são desidratados sob condições ambientais constantes.

2.2.2 – Modelos de Secagem

Como cita LUIKOV (1966) os mecanismos propostos para o movimento de umidade em sólidos são: difusão de líquido devido ao gradiente de concentração, difusão de vapor devido ao gradiente de pressão; movimento de água devido as forças capilares, fluxo de líquido e vapor devido ao gradiente de pressão total, difusão superficial e fluxos provocados por evaporação e condensações sucessivas.

Baseando-se nos mecanismos para movimento de água em sólidos, várias teorias foram propostas para explicar estes fenômenos: teoria da difusão líquida, teoria capilar, vaporização condensação, teoria de Luikov, de Philip e Devries, de Berger e Pai e de Fortes e Okos.

Todos os mecanismos propostos podem ser divididos em dois grandes grupos: difusão em fase vapor e transporte em fase líquida. Muitos autores proporam explicitamente que o movimento de umidade dentro de sólido ocorra por mecanismo predominantemente de difusão em fase líquida, permitindo a lei de Fick predizer a velocidade de secagem de materiais sólidos. A equação proposta pode ser escrita para várias geometrias:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \nabla U) \qquad (2.1)$$

Esta teoria tem ganhado a preferência de alguns estudiosos do ramo da secagem como: CALADO, BISCAIA Jr. & MASSARANI (1987), GUNTHER, BRUNELLO & TEIXEIRA (1988), BRUNELLO & NASCIMENTO (1983), PINHEIRO, SILVA & ALSINA (1990) e STEFFE & SINGH (1980), entre outros. Conforme as soluções da Equação 2.1, para várias geometrias, os dados são correlacionados por meio de séries. Alguns autores usaram apenas um termo da série, outros mais termos, dependendo do produto a secar e do sistema de secagem. A forma dos grãos muitas vezes não está inserida no modelo escolhido, cilindro ou placa ou esfera. É o caso do milho e do arroz, para os quais tem sido usado o modelo da difusão em esfera STEFFE & SINGH (1980), GUNTHER, BRUNELLO & TEIXEIRA (1983) e CALADO, BISCAIA & MASSARANI (1987), embora, ela fosse aparentemente melhor para grãos de dimensões mais uniforme como a soja, urucum e outros produtos.

Devido à complexidade dos mecanismos de secagem citados anteriormente e à forma do produto, não se pode esperar um valor constante da difusividade mássica como afirmaram CALADO, BISCAIA & MASSARANI (1987). Alguns autores suporam um coeficiente de difusão constante, outros suporam uma dependência do tipo Arrhenius como a temperatura como também na dependência da umidade. Basicamente em todos os casos consideram isotropia do material e condições de contorno de primeira espécie, KITIC (1982). A difusão da água no estado líquido ou vapor, através do sólido é considerada efetiva, pois não se diferencia se a resistência é ou não intermolecular

Quando o fluxo for apenas na direção radial a Equação 2.1 pode ser escrita para várias geometrias:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{q}{r}\frac{\partial U}{\partial r}\right) \qquad (2.2)$$

Onde: $q = 0$ para placa plana

$q = 1$ para cilindro infinito

$q = 2$ para esfera

As condições inicial e de contorno podem ser escritas:

$$CI \qquad U(r,o) \qquad = \quad U_o$$

$$CC_1 \quad D_{ef} \frac{\partial U}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0$$

$$CC_2 \quad D_{ef} \frac{\partial U}{\partial r} \Big|_{r=R} = h_m(U(R,t) - U_e)$$

As soluções analíticas para as três geometrias, CRANCK (1975), são:

Placa Plana

$$\frac{U - U_e}{U_o - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} EXP\left(-(2n+1)^2\pi^2 \times \frac{D_{ef}\, t}{4\, l^2} \right) \qquad (2.3)$$

Cilindro Infinito

$$\frac{U - U_e}{U_o - U_e} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2} EXP\left(-\frac{\mu_n^2\, D_{ef}\, t}{R_p^2} \right) \qquad (2.4)$$

Esfera

$$\frac{U - U_e}{U_o - U_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} EXP\left(-\frac{n^2\pi^2 D_{ef}\, t}{R_p^2} \right) \qquad (2.5)$$

2.3 – Propriedades

O conhecimento das propriedades de grãos é de fundamental importância para o beneficiamento de produtos agrícolas. O teor de umidade, capacidade calorífica, porosidade do leito fixo, densidade, diâmetro e esfericidade do grão e conhecimento do teor de umidade de equilíbrio com o ambiente a uma temperatura e a uma umidade relativa são necessárias para o dimensionamneto e operação de equipamentos de transporte e processamento de produtos agrícolas.

2.3.1 – Capacidade Calorífica

A capacidade calorífica é o poder que o produto tem de armazenar energia, O método mais usado para obtenção da capacidade calorífica de grãos é o método da mistura. Alguns investigadores utilizam em vez de água, o tolueno que tem densidade de 0,86 g/cm^3 e calor específico aproximadamente 0,39 cal/g°C, para a determinação da capacidade calorífica pelo método da mistura. A densidade mais baixa possibilita as sementes se afundarem mais rapidamente nesta substância do que na água, evitando-se a absorção de líquido pelo grão antes do equilíbrio térmico, Mohsenin (1980) citado por MORAES NETO, 1991.

2.3.2 – Porosidade e Densidade do Sólido

A porosidade é definida pela razão do volume dos espaços vazios e o volume do leito. A densidade aparente é definida como a massa de sólidos por volume do leito e a densidade real é definida pela massa de sólido por volume de sólidos. A porosidade dos materiais sólidos tem a sua importância no que se refere a hidrodinâmica, aerodinâmica e transferência de calor e massa como também a densidade desempenha um importante papel em muitas aplicações, como secagem e armazenagem de produtos agrícolas.

2.3.3 – Diâmetro e Esfericidade

São vários os métodos de determinação do diâmetro médio como: diâmetro da esfera de igual volume do objeto, média geométrica dos diâmetros maior, médio e menor projetados, diâmetro de peneira, bem como diâmetros definidos com base no comportamento dinâmico, como o diâmetro de Stokes.

Para a determinação da esfericidade são utilizados vários métodos como: a razão do volume real do sólido pelo volume da esfera circunscrita, a razão do diâmetro da maior circunferência inscrita na projeção do objeto pelo menor diâmetro que circuscreve o objeto, como também o método dinâmico citado acima.

2.3.4 – Equilíbrio Higroscópico

A umidade de equilíbrio higroscópico é relevante no estudo de secagem de grãos porque determina o teor de umidade mínima até o qual os grãos podem ser secos sob condições de secagem estabelecidas.

Uma substância higroscópica, como é o caso dos grãos e cereais, tende a manter uma certa pressão de vapor a uma dada temperatura e uma umidade relativa.

São usados dois métodos para determinação do teor de umidade de equilíbrio:

- Método estático é o processo em que atmosfera que circunda o produto tende a equilibrar-se com ele sem que haja agitação mecânica do ar.
- Método dinâmico é o processo em que a atmosfera que circunda o produto é movido mecanicamente ou vice-versa.

Vários modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos têm sido propostos para predizer o teor de umidade de equilíbrio de grãos. Entretanto nenhum desses modelos são capazes de ajustar precisamente a umidade de equlíbrio de grãos para uma faixa ampla de temperatura e umidade relativa. A seguir são apresentados alguns modelos matemáticos com os respectivos autores:

Modelo de Henderson

$$(1 - U_R) = EXP\ (a\ U_e^b) \tag{2.6}$$

Modelo de B.E.T

$$U_e = \frac{U_n C\ U_R}{(1 - U_R)} \times \frac{[\ 1 - (n + 1)U_R^n + n\ U_R^{n+1}\ ]}{[\ 1 + (C - 1)U_R^n - C\ U_R^{n+1}\ ]} \tag{2.7}$$

Modelo de Sabbah

$$U_e = k1 - \frac{U_e^k}{(1.8\ T - 459.67)^{k2}} \tag{2.8}$$

Modelo de Chung-Pfost

$$\ln (U_R) = \frac{m_1}{R\ T}\ EXP\ (m_2 \times U_e) \tag{2.9}$$

Modelo de Harkns-Jura

$$\ln (U_R) = C_1 - \frac{C_2}{U_R^2} \tag{2.10}$$

2.4 – Leito de Jorro

O leito de jorro foi proposto inicialmente por Mathur & Girhler em 1955, com a finalidade de promover o contato entre o fluido e partículas sólidas de dimensões relativamente grandes, acima de 2 mm de diâmetro, que apresentassem uma fluidização de baixa qualidade. Esta técnica facilita o manejo de sólido como também fatores que proporcionam temperatura relativamente homogênea. É um equipamento de elevada eficiência térmica, ocupa área reduzida, baixo custo operacional e de manutenção como também o investimento inicial é reduzido e oferece produtos de alta qualidade. Tem despertado especial interesse devido a sua aplicabilidade em processos que envolvem altas taxas de transferência de calor e massa. Já a partir da década de 60 foram implantadas unidades para secagem de materiais granulados, suspensões e pastas.

MATHUR & EPSTEIN (1974), citam que só depois da publicação do livro de Leva sobre fluidização, o qual reservou um capítulo para o leito de jorro, foi que o interesse na técnica se estendeu para outros países. A tradução do livro para o Russo em 1961 e a publicação em 1963 do livro de Zabrodsky, no qual foi feito um excelente capítulo sobre leito de jorro, resumindo os trabalhos feitos inicialmente no Canadá o qual fez expandir esta técnica a nível de pesquisas nos Centros da União Soviética. Eles citam que a primeira unidade de leito de jorro comercial no Canadá foi instalada em 1962 para secagem de ervilhas, lentilhas e linhos. Outras unidades tem sido construídas em diversos países para uma variedade de funções, como na secagem, incluindo cristalização, evaporação, como também para granulação, resfriamento e revestimento de materiais sólidos. Citam ainda, estudos a nível de laboratório em escala piloto para aplicação dessa técnica na redução de minério de ferro, carbonização, cristalização de carvão, na moagem e mistura de sólidos e na pirólise do xisto.

O leito de jorro é formado por uma coluna cilíndrica com abertura na parte superior e base cônica com abertura na extremidade inferior, para a movimentação do fluido. Geralmente possui um ciclone para coleta dos resíduos

ou pó, arrastados pelo fluido provenientes da atrição dos sólidos. Raramente pode ser apenas cónico.

Considerando, inicialmente, o secador com partículas no estado fixo, em seguida, injeta-se fluido pela abertura inferior, na base central, com vazão alta, com a velocidade do jato causa uma corrente de partículas para subirem rapidamente no interior do núcleo central do leito de sólidos. Estas partículas após serem arrastadas pneumaticamente através do leito, passarão por uma região central, de alta porosidade denominada de jorro, e ao atingirem o ponto em que a velocidade se anula, passarão a ter um movimento descendente através de uma região de menor porosidade, localizada entre a parede da coluna e o jorro denominada de região anular, onde as partículas deslizam através da base cônica e retorna pela região do jato caracterizando assim um movimento cíclico das partículas. A Figura 2.4 apresenta um esquema típico para secagem de grãos em leito de jorro.

As experiências mostraram a existência de uma altura máxima do leito onde é possível obter um jorro heterogêneo ou um movimento empistonado, em que o jorro é função da geometria do sistema e das propriedades das partículas envolvidas no processo, foi introduzido um tubo no centro, visando superar parte dos problemas. Sua função principal é permitir o aumento de carga no leito, formação na região anular de um leito fluidizado aplicando o contato sólido-fluido, melhorando as condições de transferência de calor e de massa, COUTINHO (1983).

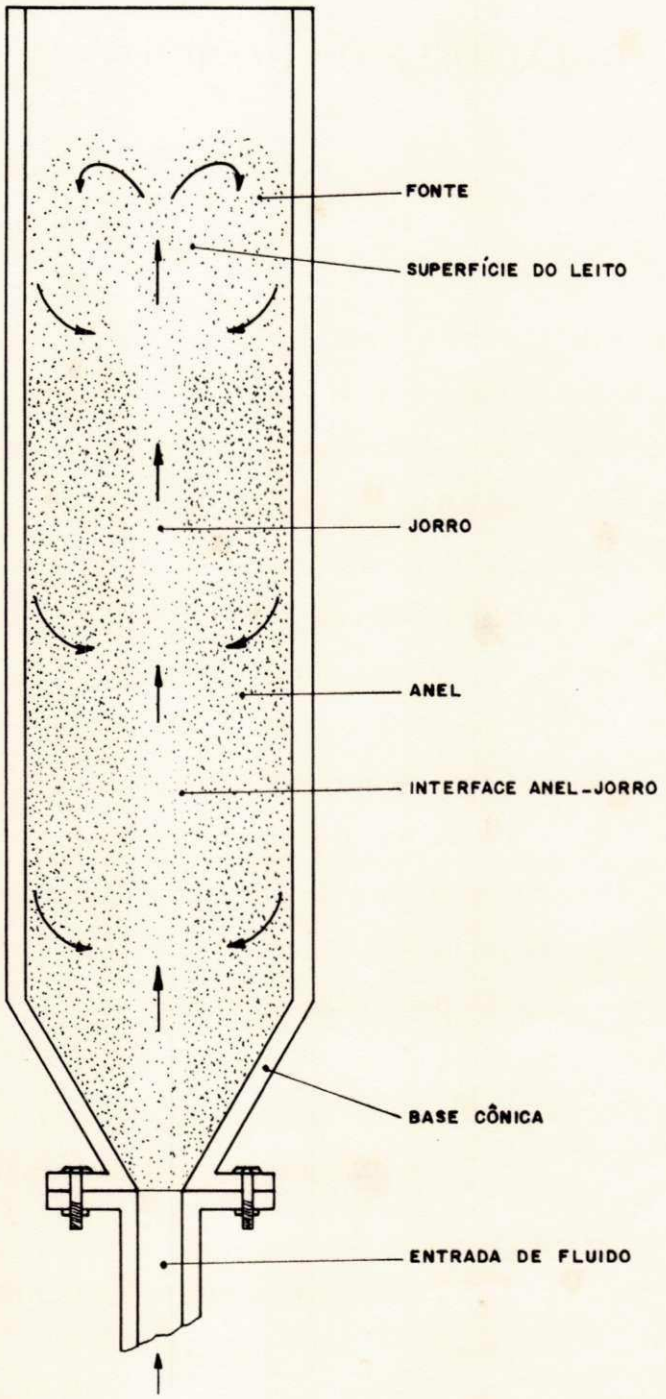


FIGURA 2.4 - LEITO DE JORRO

CAPÍTULO III

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

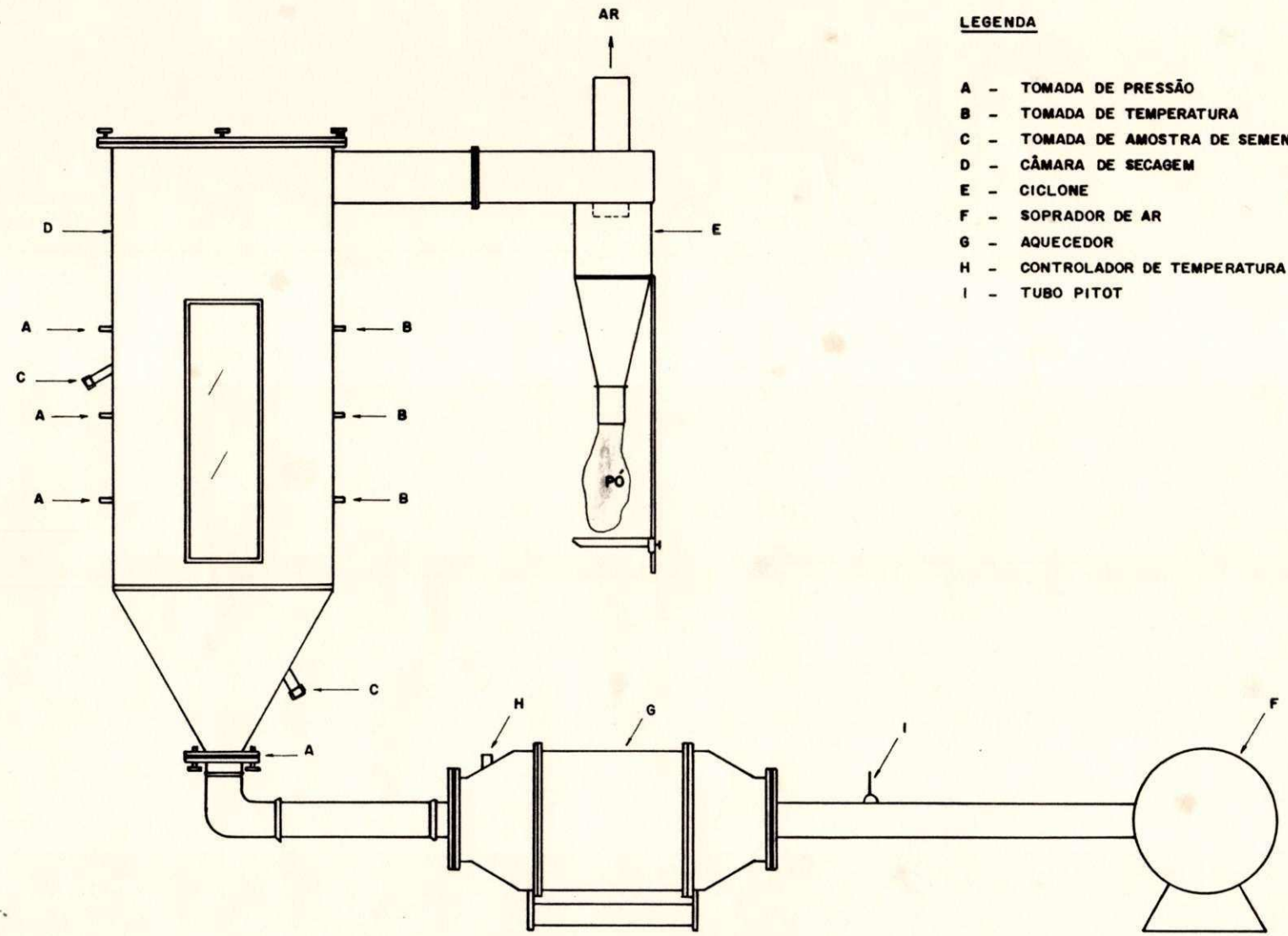
3.1 – Aparelhagem

O secador de leito de jorro, como mostra a Figura 3.1, consta de um soprador rotatório para impulsionar o ar através de um motor monofásico de 3 CV, um trocador de calor para aquecer o ar com três resistências elétricas de 2 kW cada uma e acoplado ao mesmo um controlador de temperatura, a câmara de secagem com tomadas de temperatura e pressão na entrada e na saída, um medidor de vazão na linha entre o soprador e o trocador de calor do tipo Tubo de Pitot e um milivoltímetro utilizado para leitura de sinal das temperaturas em milivolts. As medidas de temperatura foram feitas com termopares tipo Ferro-constantan e as pressões de entrada no interior da câmara de secagem foram obtidas através de manômetro de tubo em U.

Para obtenção dos dados na câmara de leito fixo foi utilizado um conjunto de equipamentos mostrado na Figura 3.2, consiste de um compressor radial para impulsionar o ar, um rotâmetro para medir a vazão do ar de secagem, um aquecedor elétrico com nove resistências de potência 2,5 kW cada, uma câmara de secagem, um controlador de temperatura, chave seletora e milivoltímetro para leitura do sinal enviado pelos termopares.

3.2 – Câmara de Secagem de Leito de Jorro

A câmara de secagem de leito de jorro, como mostra a Figura 3.3, consiste de uma base cônica de aço inoxidável com ângulo de 60° acoplado a uma coluna cilíndrica também de aço inoxidável de 60 cm de diâmetro e 100 cm de altura. A



LEGENDA

A - TOMADA DE PRESSÃO
B - TOMADA DE TEMPERATURA
C - TOMADA DE AMOSTRA DE SEMENTES
D - CÂMARA DE SECAGEM
E - CICLONE
F - SOPRADOR DE AR
G - AQUECEDOR
H - CONTROLADOR DE TEMPERATURA
I - TUBO PITOT

FIGURA 3.1 - SISTEMA DE LEITO DE JORRO

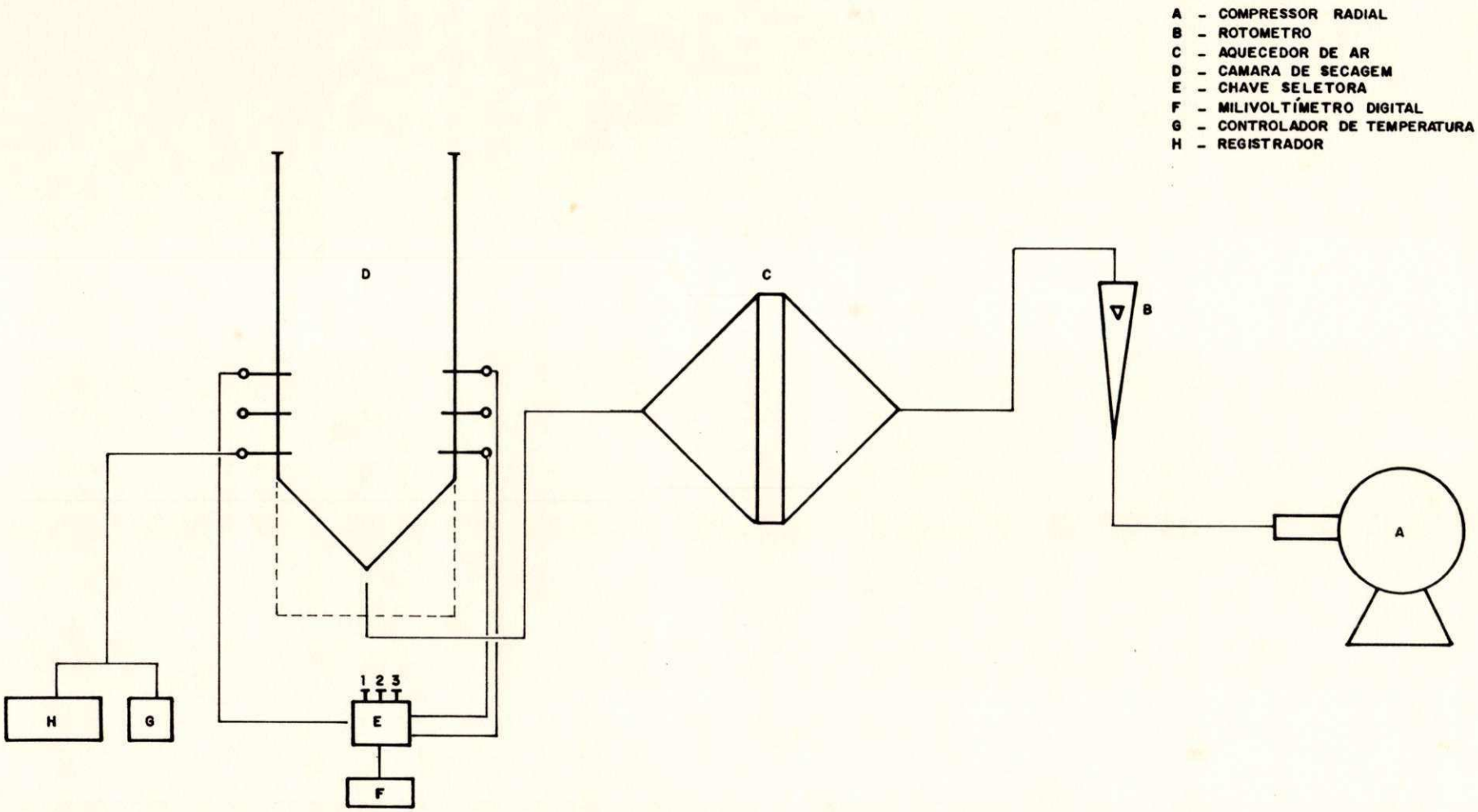
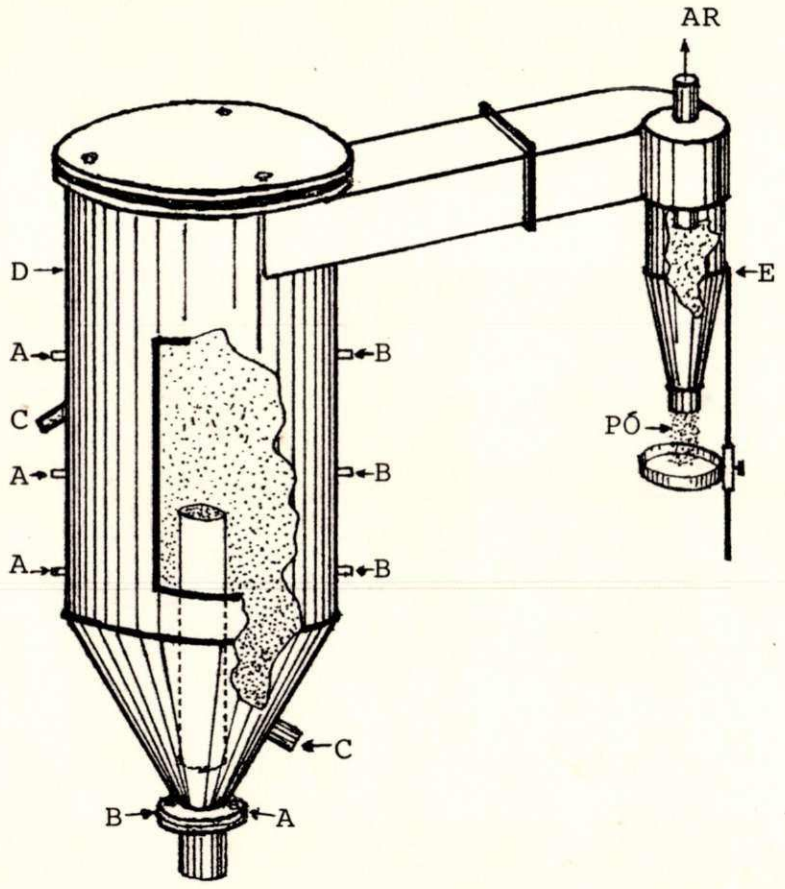


FIGURA 3.2 - SISTEMA DE LEITO FIXO

relação diâmetro da coluna (Dc) e diâmetro do orifício de entrada do ar (Do) é de 8,3. A coluna possui um tubo centrado com a finalidade de melhorar a dinâmica do jorro. Para os experimentos foram utilizados tubos de 25, 35, 55, e 65 cm de comprimento e 7,3 cm de diâmetro colocados ao longo do eixo da coluna. A câmara possui dois visores em acrílico por onde foi feito o controle visual da secagem; um ciclone acoplado na parte superior da mesma, para coleta do pó proveniente da atrição das sementes; quatro tomadas de temperatura, três na lateral direita e uma na esquerda e duas tomadas de pressão na lateral esquerda. A parte cônica possui uma tomada de amostra, pela qual foram retiradas sementes para a determinação da umidade durante o processo de secagem. A entrada do ar de aquecimento possui uma junção presa por três parafusos, uma junta de borracha e uma tela de arame na abertura por onde foram feitos os descarregamentos. A conexão, entre o trocador de calor e a junção do secador, contém uma tomada de temperatura e uma de pressão.

3.3 – Câmara de Secagem de Leito Fixo

A câmara de secagem de leito fixo mostrada na Figura 3.4, consiste de uma coluna cilíndrica de 18 cm de diâmetro e 60 cm de altura com um distribuidor tronco-cônico do ar de secagem contendo esferas de vidro. A câmara possui seis furos, três em cada lado. Nos dois primeiros da base são colocados os termopares de controle de temperatura, temperatura de bulbo seco e bulbo úmido na entrada, nos dois furos após o suporte são colocados os termopares de bulbo seco e bulbo úmido na saída do leito. As temperaturas são lidas no milivoltímetro distribuídas por meio de uma chave seletora através de sinal enviado pelos termopares.



LEGENDA

A - TOMADA DE PRESSÃO
B - TOMADA DE TEMPERATURA
C - TOMADA DE AMOSTRA DE SEMENTES
D - CÂMARA DE SECAGEM
E - CICLONE

FIGURA 3.3 - CÂMARA DE SECAGEM DE LEITO DE JORRO

LEGENDA

A - COLUNA DE AÇO GALVANIZADA
B - CAMADA DE AMIANTO (1,5 cm)
C - ESPUMA DE POLIURETANO (1,0 cm)
D - DISTRIBUIDOR TRONCO-CÔNICO
E - SUPORTE DE ALUMÍNIO CONTENDO A AMOSTRA
F - TUBULAÇÃO GALVANIZADA DE 2"
G - CHAVE SELETORA
H - MILIVOLTÍMETRO DIGITAL
I - CONTROLADOR DE TEMPERATURA
J - REGISTRADOR

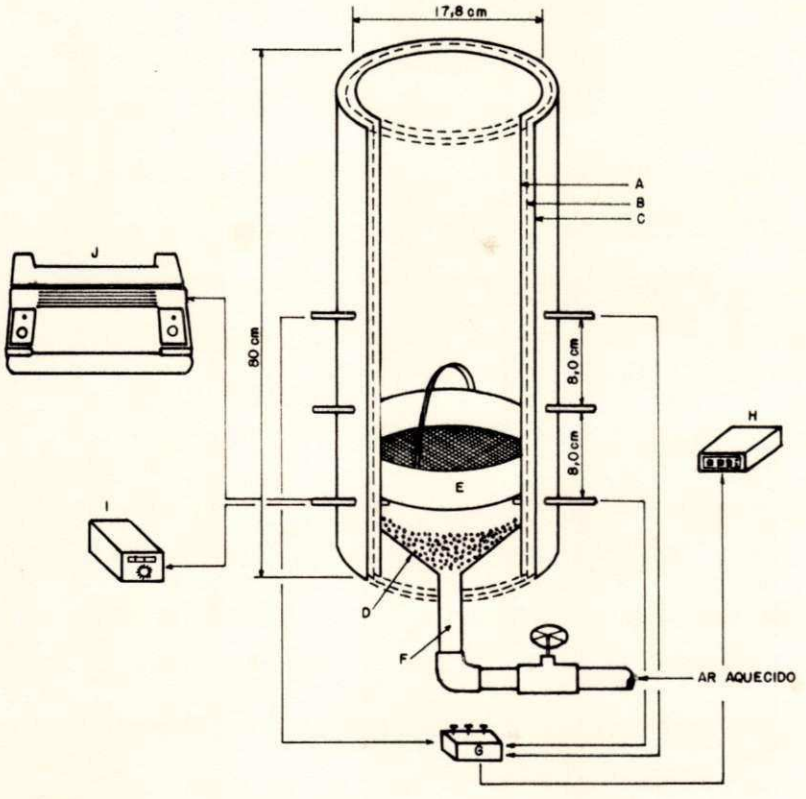


FIGURA 3.4 - CÂMARA DE SECAGEM DE LEITO FIXO

3.4 – Equipamentos Auxiliares

Durante a realização dos experimentos foram utilizados os equipamentos listados abaixo:

01 - Auto-transformador Variável, tipo 216 B, com IN V 240 e OUT V 0 - 280, fabricado por The Superior Electric Co. Bristol Conn - USA. Utilizado para controlar a temperatura da estufa variando a tensão de entrada.

02 - Anemômetro de Molinete, leitura em m/min aos 50 segundos de medição, fabricado pela VEB Anemometer**bau** Dresden - Suíça, representante Renê Graf - São Paulo-SP. Foi utilizado para calibrar o medidor de vazão tipo Tubo de Pitot.

03 - Balança Analítica Sartorius, tipo Sartorius GMBH Göttingen, capacidade 160 gramas, com precisão de leitura 0,0001 gramas, fabricada pela Sartorius, Alemanha Federal. Utilizada para as pesagens das amostras durante os ensaios na obtenção das curvas de equilíbrio higroscópico.

04 - Balança Mettler, tipo PC 440, capacidade 440 gramas, precisão de leitura 0,001 gramas, fabricada pela Mettler Instrumente AG - Suíça. Usada para pesagem das amostras na obtenção das umidades.

05 - Balança Sartorius, tipo Sartorius GMBH Göttingen, capacidade 1000 gramas, com precisão de leitura 0,1 gramas, fabricada pela Sartorius, Alemanha Federal. Foi usada para determinar o peso do produto nos ensaios de caracterização, para pesar a massa inicial e final das sementes e do pó obtido pelo ciclone durante o processo de secagem.

06 - Calorímetro, fabricado pelo Núcleo de Tecnologia em Armazenamento / UFPb / CCT / Campus II. Utilizado para determinação da capacidade calorífica do urucum. É composto por uma garrafa térmica acoplada dentro de um tubo de PVC, tendo ao seu redor lã de vidro com espessura de 2,0 mm, como se mostra na Figura 3.5.

07 - Célula para Medida de Dados de Higroscopicidade, fabricada pelo Grupo de Pesquisa do Urucum do DEQ / UFPb / CCT Campus II. Utilizada para obter dados de desorção do urucum para levantamento das curvas de equilíbrio higroscópico. É composta de vidro com tampa hermética, no interior contém uma cesta de polipropileno para colocar o produto e uma solução de ácido sulfúrico para produzir no ambiente interno a umidade relativa adequada, como mostra a Figura 3.6

08 - Cronômetro, marca Gallenkamp, referência TKM - 340Y, fabricado pela Gallenkamp - Suíça. Usado para cronometrar o tempo durante o processo de secagem.

09 - Dessecador Infra-Vermelho, tipo LP-15, escala 1-12, temperatura máxima aproximadamente 170 °C, fabricado pela Mettler Instrumente AG - Suíça. Usado na obtenção do peso seco do produto em estudo. O princípio básico consiste em fornecer energia irradiante ao produto, o qual se aquece, com isto as substâncias voláteis são evaporadas, tornando-se a secagem mais rápida. O tempo de secagem depende do grau de aquecimento ajustado, do peso da amostra, da distribuição e da cor do produto.

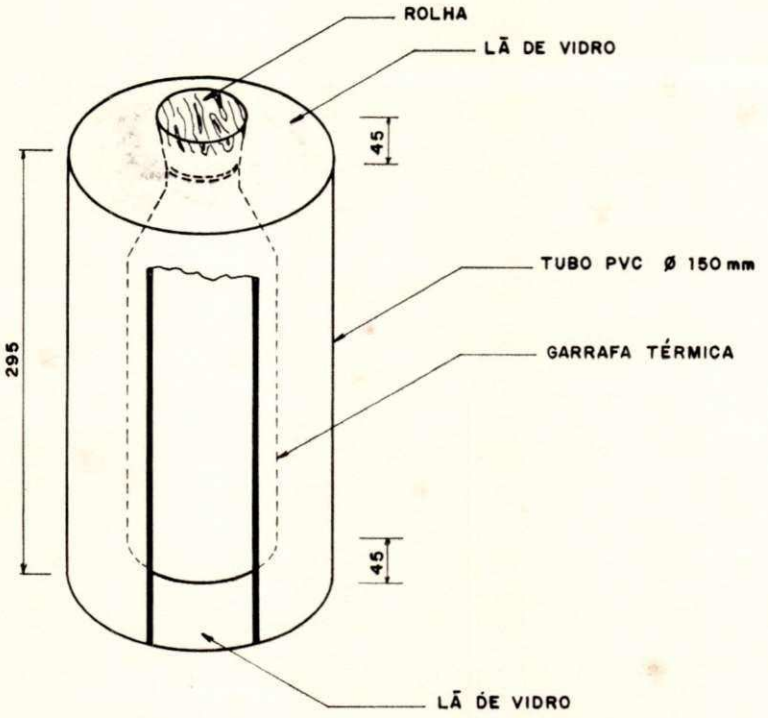


FIGURA 3.5 - CALORÍMETRO

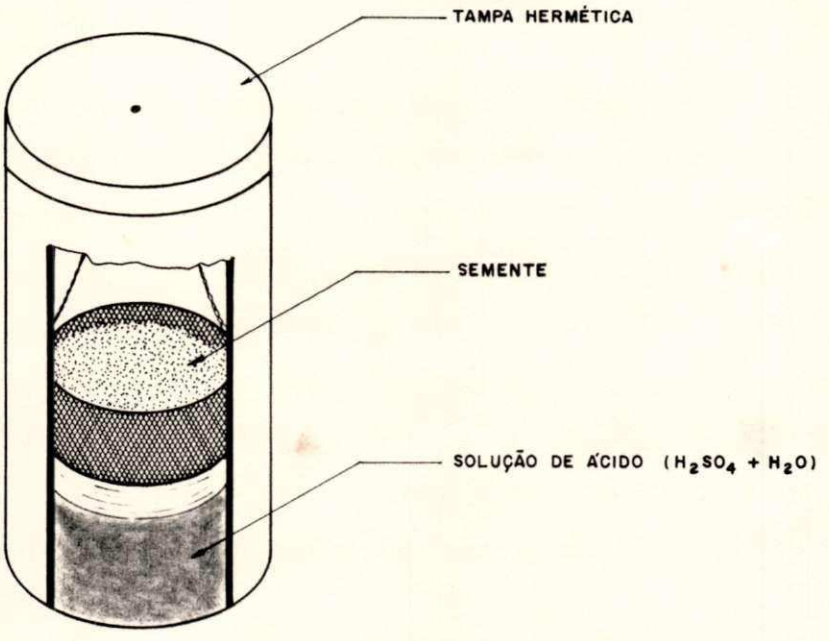


FIGURA 3.6 - CÉLULA PARA MEDIDA DE DADOS DE HIGROSCOPICIDADE

10 - Espectrofotômetro, tipo EF1, fabricado pela Metronic Instrumento Científico Ltda, Indústria Brasileira. Usado na leitura da absorbância para se calcular o teor de bixina.

11 - Estufa de Secagem e Esterilização, modelo 315 SE, escala 0-10, temperatura máxima 180 °C fabricada pela FANEM - São Paulo, Indústria Brasileira. Usada na obtenção do peso seco das amostras do urucum retiradas durante o processo de secagem.

12 - Higrômetro, escala 0-100% em umidade relativa, fabricado pela Haenni - Suíça, representante Renê Graf - São Paulo-SP. Usado para leitura da umidade relativa do ar atmosférico.

13 - Milivoltímetro, tipo MD-045, capacidade de leitura até 199,99 mV, com precisão de leitura 0,01 mV, fabricado pela ECB - Equipamentos Científicos do Brasil, Indústria Brasileira. Usado para leitura do sinal dos termopares em milivolts.

14 - Picnômetro de Comparação a Ar, com capacidade em cada cilindro de 1,89 litros, fabricado pelo Núcleo de Tecnologia em Armazenamento da UFPb / CCT / Campus II. Usado para determinação da porosidade. Como se mostra na Figura 3.7. O aparelho é formado de dois cilindros, uma base de apoio, uma placa presa por um parafuso na parte superior dos cilindros apoiado por duas borrachas e um manômetro de tubo em U com enchimento de mercúrio acoplado a um dos cilindros.

15 - Refrigerador, capacidade 360 litros, fabricado pela Gelomatic, Indústria Brasileira. Usado para colocar o produto depois da umidificação e para a obtenção da curva de equilíbrio higroscópico a 15 °C.

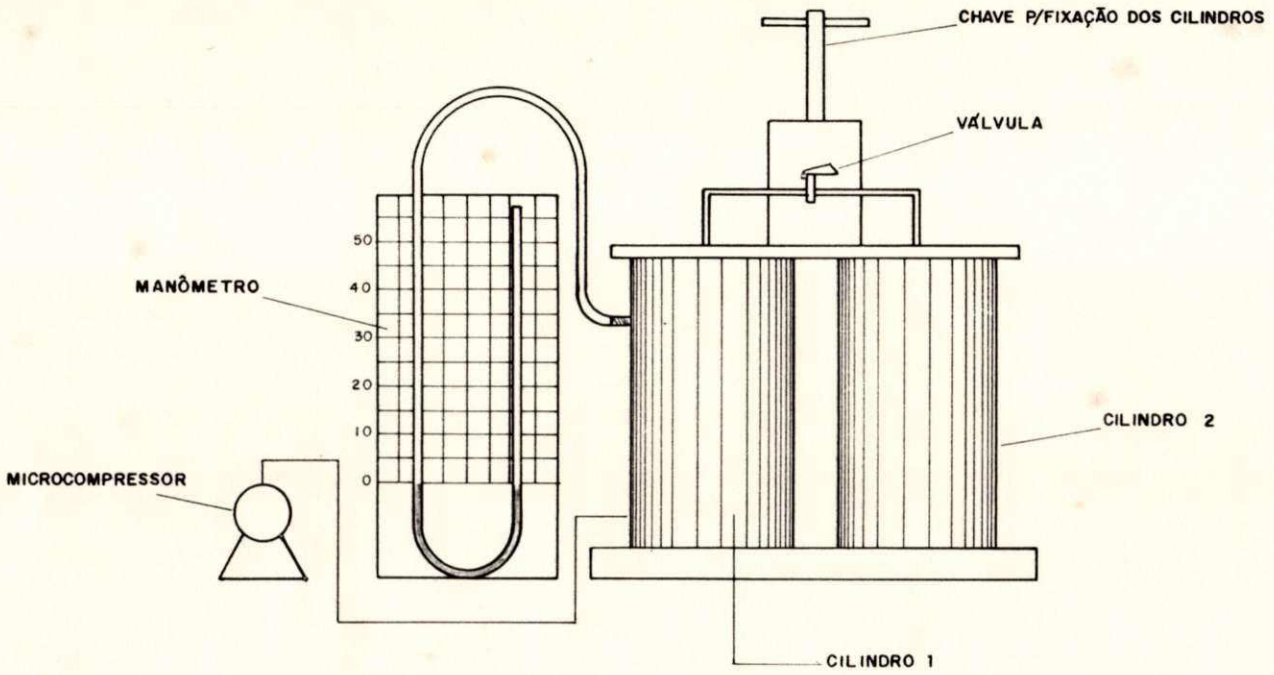


FIGURA 3.7 - PICNÔMETRO DE COMPARAÇÃO A AR

16 - Registrador, tipo H/CG, fundo de escala 1-1000 mV, rotação do papel gráfico 6-63 mm/min, fabricado pela Instrumentos Científicos CG Ltda, Ind. Brasileira. Usado para registrar o sinal dos termopares em milivolts.

17 - Termômetro Químico, tipo Arba, faixa de leitura -10 a 110 °C, div. 1/1 °C, enchimento de Mercúrio, fabricado pela Arba Termômetros do Brasil S.A., Indústria Brasileira. Usado na leitura da temperatura na estufa.

18 - Termômetro, tipo Inco/Herm, faixa de Leitura -30 a 50 °C divisão 1/2 °C, enchimento de álcool. Usado na leitura da temperatura ambiente.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Materiais Utilizados

O material utilizado para o estudo da secagem em leito de jorro foi o urucum proveniente do Sudeste e Nordeste cedidos pela empresa São Braz. A umidade natural dos grãos variou de 13 a 18% em base seca, dependendo dos lotes recebidos e da região. A porosidade e a densidade foram determinadas pelo método do picnômetro de comparação a ar, a capacidade calorífica foi determinada pelo método das misturas calorimétricas, o diâmetro médio foi determinado pelo diâmetro da esfera de igual volume, a esfericidade foi determinada pela razão do diâmetro médio e o diâmetro da menor circunferência circunscrita e o teor de bixina pelo método analítico da extração por clorofórmio e leitura em espectrofotometria recomendado pela 8ª Reunião do Grupo de Estudos do Urucum do Instituto Aldolfo Lutz.

4.2 – Determinação da Porosidade e Densidade

A porosidade é a razão entre o volume dos espaços vazios e o volume do leito. A densidade aparente é a massa de sólido pelo volume do leito. A porosidade e a densidade do material podem ser relacionadas pela equação:

$$\rho_a = \rho_s(1 - \varepsilon) \qquad (4.1)$$

Para a determinação da porosidade, foi utilizado o picnômetro de comparação a ar mostrado na Figura 3.7.

O método se baseia nas suposições de que o ar se comporta como um gás ideal e condições isotérmicas. A equação para a porosidade pode ser escrita:

$$\varepsilon = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \qquad (4.2)$$

Inicialmente o sistema se encontra a pressão atmosférica, coloca-se as sementes no cilindro 2, em seguida injeta-se ar no cilindro 1 até a pressão P_1 com a válvula da conexão fechada, por fim, abre-se a chave e registra-se a pressão P_2.

A densidade aparente é determinada pesando-se a massa de grãos contida no cilindro do picnômetro, onde o volume vale 1,89 litros. A densidade real do sólido é determinada pela equação 4.1.

4.3 – Determinação da Esfericidade e do Diâmetro Médio das Sementes

No campo da investigação de processamento e armazenamento de grãos o conhecimento da esfericidade e do diâmetro médio dos grãos são características físicas importantes no que diz respeito à projetos de engenharia.

O método usado para a determinação do diâmetro médio do produto foi o da esfera de igual volume: consiste em medir o deslocamento de volume de água contida numa proveta, produzido pela introdução de um número conhecido de sementes. O volume médio das partículas pode ser calculado pela razão do volume total deslocado e o número de partículas. De posse do volume médio das partículas calcula-se o diâmetro médio pela equação:

$$d_p = \left(\frac{6\,V}{\pi}\right) 1/3 \qquad (4.3)$$

A esfericidade foi determinada pela razão do diâmetro médio geométrico do comprimento (d_1), largura (d_2) e espessura (d_3) das áreas maior e menor projetadas e o diâmetro de menor circunferência que circunscreve a partícula. A equação pode ser escrita:

$$\varphi = \frac{(d_1 d_2 d_3)^{1/3}}{d_1} \qquad (4.4)$$

4.4 – Determinação da Capacidade Calorífica

Inicialmente coloca-se 100 gramas de água destilada a T1 no calorímetro junto com 100 gramas de água gelada a T2 e agita-se o aparelho até o equilíbrio T3. Com esses dados calcula-se a capacidade calorífica do calorímetro pela fórmula:

$$C = \frac{m_a Cp_a(T3 - T1) + m_a Cp'_a(T3 - T2)}{(T1 - T3)} \qquad (4.5)$$

Coloca-se imediatamente 100 gramas de grãos a T4, agitando-se por certo tempo, até atingir o equilíbrio térmico entre o líquido e o sólido à T5. Por fim, com os dados, calcula-se a capacidade calorífica do produto pela fómula:

$$Cp_s = \frac{m_a Cp''_a(T5 - T3) + C(T5 - T3)}{m_p (T1 - T3)} \qquad (4.6)$$

4.5 – Determinação do Teor de Bixina

A bixina é um pigmento de cor vermelha que se encontra na superfície das sementes do urucum. O teor em peso pode variar de 1 a 4%, dependendo do tipo de cultura, solo, clima, tratos culturais e beneficiamento. Foi utilizado o método de extração por clorofórmio, aprovado pela 8ª Reunião do Grupo de Estudos do Urucum do Instituto Aldolfo Lutz.

Inicialmente pesa-se uma amostra de 2 gramas de sementes trituradas, transfere-se para um erlemeyer de 300 ml, adiciona-se 100 ml de clorofórmio e agita-se vagarosamente por três vezes. Em seguida filtra-se em lã de vidro para um balão volumétrico de 250 ml, completa-se o volume e transfere-se 10 ml para um balão de 100 ml, repete-se a diluição de 10/100 ml até a solução ficar adequada para a leitura da absorbância em espectrofotômetro. A faixa de leitura é de 350 a 550 nm com comprimento de onda máximo para a bixina de 470 nm no qual se faz a leitura. É aconselhado fazer os testes em duplicata. A equação para o cálculo do teor de bixina é:

$$C_{Bix} = \frac{100}{m} \times \frac{V}{1000} \times \frac{V_1}{d_1} \times \frac{V_2}{d_2} \times \ldots \times \frac{V_n}{d_n} \times \frac{A}{E} \times \frac{1}{d_c} \qquad (4.7)$$

Onde:

- m = Massa da amostra (2,0 g)
- V = Volume inicial na extração (250 ml)
- V_i = (i = 1,2,...,n) volume de diluição (100 ml)
- d_i = (i = 1,2,...,n) alíquota de volume para diluição (10 ml)
- A = Absorbância lida pelo espectrofotômetro
- E = Absortividade da bixina (282,6)
- d_c = Diâmetro da célula de medição (1,55 cm)

4.6 – Determinação das Isotermas de Equilíbrio Higroscópico

O método empregado no presente trabalho foi o estático, citado no Capítulo II para a determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico.

Inicialmente foram colocadas cerca de 2 gramas de grãos em uma cesta de polipropileno no interior de uma célula contendo aproximadamente 50 ml de solução de ácido sulfúrico. Foram utilizadas várias células com diferentes concentrações para o estudo das isotermas com as temperaturas de trabalho, 15 °C controlada num refrigerador e as de 30, 40 e 50 °C em estufa. As cestas foram pesadas periodicamente a cada 72 horas até atingir o equilíbrio, considerando-se que as sementes encontravam-se em equilíbrio com o ar quando duas pesagens sucessivas diferenciavam em menos de 0,0001 gramas. Logo após, as sementes eram pesadas e colocadas em estufa a 105 ±5 °C por 24 horas para determinar a umidade. As soluções de ácido foram tituladas com uma solução padrão de bicarbonato de sódio a 0,1N para o conhecimento das concentrações finais. Com as concentrações foi utilizada a tabela de pressão de vapor para soluções aquosas de ácido sulfúrico, PERRY & CHILTON (1980), para se obter as umidades relativas de cada temperatura de trabalho e concentração de ácido através da fórmula:

$$U_R = \frac{P_{vSol}}{P_{vH2O}} \qquad (4.8)$$

Por fim, de posse dos dados foram feitos os gráficos $ln(U_e)$ versus $ln[-ln(1-U_R)]$ e através de regressão linear foram estimados os parâmetros a e b do modelo proposto por Henderson conforme Equação 2.6.

4.7 – Preparação do Material para a Secagem

As sementes eram borrifadas de 4 a 12 vezes, duas vezes ao dia até atingirem a umidade desejável para o trabalho. Após borrifamentos as sementes eram expostas ao ambiente por 30 minutos, em seguida eram colocadas na

geladeira a 10 °C em saco plástico. Ao final da umidificação os grãos ficavam mais de 72 horas na geladeira à mesma temperatura.

4.8 – Determinação do Teor de Umidade

As umidades utilizadas neste trabalho foram em base seca, gramas de água por gramas de sólido seco. Foram determinadas utilizando-se a média de duas alíquotas do produto para cada tomada de amostra. Foram retiradas amostras no início e durante a secagem para se determinar o teor de umidade. As amostras foram colocadas em um recipiente para homogenizar. Em seguida, foram tomadas duas alíquotas de cada amostra e pesadas em balança Mettler PC 440, com precisão de leitura 0,001 gramas, peso inicial (W_i).

Para determinação do peso seco (W_f) foram utilizados dois métodos: o da estufa a temperatura de 105 $\pm$5 °C, durante 24 horas, o dessecador infra-vermelho a uma temperatura de 110 $\pm$2 °C, em que a estabilização do peso era alcançada em torno de uma hora. O último foi recomendado por MARIZ (1986) e COSTA (1988) tendo em vista a sua eficiência na secagem. Um outro método, proposto por COSTA (1988), é o composto estufa/dessecador, em que o produto é secado pela estufa e em seguida tratado no dessecador.

O método utilizado nos experimentos foi o da estufa tendo em vista o número grande de amostras o que dificultaria o manuseio dos dados. O método do dessecador foi usado para testes preliminares na obtenção da umidade inicial do produto natural trazido pela São Braz, ou da obtenção da umidade adequada pelo procedimento de umidificação descrito na seção 4.7.

As equações das umidades em base seca e em base úmida são escritas abaixo respectivamente:

$$U_{bs} = \frac{W_i - W_f}{W_f} \qquad (4.9)$$

$$U_{bu} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \qquad (4.10)$$

4.9 – Determinação da Umidade Relativa e Absoluta do Ar de Secagem

A umidade absoluta e a umidade relativa do ar de secagem na entrada e saída do secador foram determinadas apartir do modelo proposto por WILHELM (1976) para cálculos das propriedades psicrométricas em unidades SI através de um programa computacional elaborado por SILVA (1990). O programa é composto por duas sub-rotinas: uma que tem como entrada a temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar e saída da umidade absoluta; a outra tem como entrada a umidade absoluta do ar e a temperatura de operação e como saída a umidade relativa dentro do secador. O programa se encontra no Apêndice C como os devidos dados de entrada e saída para todos os experimentos em leito de jorro.

A umidade relativa de operação foi usada para o cálculo da umidade de equilíbrio do produto de secagem, considerando-se que as condições de operação permanecessem constante durante o processamento. A umidade relativa do ar ambiente foi determinada mediante leitura em higrômetro, a temperatura ambiente em termômetro de mercúrio e a temperatura de operação foi determinada pela média de todas as temperaturas lidas durante o processo de secagem.

4.10 – Obtenção dos Dados Experimentais no Secador de Leito de Jorro

Para o estudo da secagem do urucum em leito de jorro foi realizada uma série de experiências para o levantamento das curvas de secagem. A determinação experimental foi feita no sistema mostrado na Figura 3.1, conforme o seguinte procedimento:

01 - Inicialmente pesa-se o material para o processo de secagem e retira-se uma amostra para determinação do teor de umidade inicial.

02 - Faz-se o ajuste da vazão mediante a válvula e da temperatura através do controlador nos valores escolhidos para o processamento.

03 - Liga-se o soprador de ar e o aquecedor e deixa-se a temperatura estabilizar.

04 - Em seguida, desliga-se o soprador, ao mesmo tempo, abre-se a câmara de secagem, coloca-se o produto na mesma, liga-se novamente o soprador e aciona-se o cronômetro. O que dá a formação do jorro com as sementes circulando através do tubo central e retornando pela região do anel.

05 - Em intervalos regulares lê-se as temperaturas e as pressões de entrada e saída como também retira-se uma amostra das sementes em processamento para determinar a temperatura calorimetricamente e a umidade do produto.

As temperaturas de entrada e saída foram lidas em milivolts através de sinal enviado pelos termopares de tipo Ferro-Constantan ao milivoltímetro e as pressões foram lidas através de manômetro de tubo em U. As umidades foram determinadas pelo procedimento descrito na seção 4.8.

4.11 – Obtenção dos Dados Experimentais na Câmara de Leito Fixo

A determinação dos dados experimentais para o levantamento das curvas de secagem em leito fixo foi realizada no equipamento mostrado na Figura 3.2, conforme o seguinte procedimento:

01 - Inicialmente retira-se uma amostra do produto e divide-se em duas, uma coloca-se num suporte cilíndrico com malhas metálicas nas bases, previamente pesado e a outra é utilizada para a determinação da umidade inicial.

02 - Faz-se o ajuste da vazão mediante a válvula e da temperatura pelo controlador, nos valores escolhidos para o processamento.

03 - Liga-se o compressor e o aquecedor do ar e deixa-se a temperatura estabilizar.

04 - Em seguida coloca-se o suporte com a amostra previamente pesada dentro da câmara de secagem e aciona-se o cronômetro.

05 - Em intervalos regulares retira-se o suporte da câmara, pesa-se e imediatamente coloca-se dentro da mesma. Ao mesmo tempo registra-se as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar na entrada e na saída do leito.

As pesagens foram feitas em balança Mettler PC 440, com precisão de leitura de 0,001 g. As leituras das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido foram feitas em milivoltímetro através de termopares conectados à câmara de secagem. A umidade inicial foi determinada pelo procedimento descrito na seção 4.8. O peso seco foi determinado pela fómula:

$$W_f = \frac{W_i}{1 + U_o} \qquad (4.11)$$

O cálculo da evolução da umidade com o tempo foi determinado pela equação 4.9 usando o peso seco calculado pela equação 4.11.

4.12 – Tratamento dos Dados Experimentais

O tratamento dos dados experimentais foi feito através de um programa computacional o qual se encontra no Apêndice A. O programa tem como entrada os pesos das amostras iniciais obtidas durante o processamento e das amostras

finais depois da secagem em estufa para obtenção do peso seco e das temperaturas em milivolts.

O programa trasforma as temperaturas de milivolts para grau Celsius, calcula as umidades em base seca pela equação 4.9 para as duas alíquotas e faz a média para cada tomada de leitura.

Com as umidades de equilíbrio e as umidades iniciais o programa calcula a relação de umidade para cada experiência dada pela equação abaixo:

$$U^* = \frac{U - U_e}{U_o - U_e} \qquad (4.12)$$

Na saída o programa fornece as umidades médias decimal em base seca, as temperaturas em graus Celsius e as relações de umidades calculadas pela equação 4.12. Os dados se encontram no Apendice B. As curvas de secagem foram construídas na forma de U versus tempo de secagem como também *l*n(U*) versus tempo de secagem. Este último foi feito para o estudo da modelagem.

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho restringiu-se a estudar a secagem do urucum em leito de jorro com tubo centrado verificando-se os efeitos das variáveis operacionais como: umidade inicial da amostra, temperatura de entrada do ar, vazão do ar de secagem, carga de sólido, tubo centrado, secagem com produto de diferentes regiões e condições de umidificação do produto. Com base nas curvas de secagem foi proposto um modelo difusional para estimação do coeficiente de difusividade efetiva do urucum. Ainda neste trabalho foi feito um estudo comparativo das curvas de secagem obtidas em leito de jorro e em leito fixo, caracterização do produto como também o estudo da perda da bixina tanto do produto processado em leito de jorro como em leito fixo.

Com base neste estudo foi proposto uma faixa de operação adequada para o processamento do urucum sem que haja decomposição da bixina provocando a desvalorização do produto.

5.1 – Características do Urucum

5.1.1 – Características Físicas do Urucum

Foram utilizados produtos da região Nordeste e Sudeste para o estudo da secagem em leito de jorro e em leito fixo. Dos lotes recebidos, fornecidos pela empresa São Braz, foi feita uma amostragem para a determinação das propriedades físicas do urucum como: porosidade do leito fixo, densidade aparente, densidade do sólido, diâmetro médio, esfericidade, capacidade calorífica

e umidade do produto. Os resultados das determinações, realizadas pelos métodos descritos no Capítulo IV, estão mostrados na Tabela 5.1. Foi observado que não há diferença considerável de um produto para outro, entretanto o produto nordestino apresentou propriedades algo maiores, salvo a esfericidade que foi um pouco menor, pois o produto nordestino é mais longo e com distribuição granulométrica menos uniforme. Na observação visual o produto do Sudeste apresenta ser de melhor qualidade, mais homogêneo, cor mais avermelhada e com menos impurezas. Isto acontece por que o produtor dessa região tem mais cuidado com adubação, beneficiamento e utiliza variedades selecionadas enquanto que a maioria dos produtores nordestinos utilizam métodos tradicionais para a colheita, descachopamento e secagem.

Tabela 5.1 – Caracterização Física do Urucum

PRODUTO	U_o (%)	ε (%)	ρ_a (g/cm³)	ρ_s (g/cm³)	d_p (cm)	φ (%)	Cp (cal/g°C)
Nordeste	18,86	55,2	0,666	1,487	0,346	69,7	0,513
Sudeste	18,51	55,0	0,662	1,471	0,343	72,0	0,500

5.1.2 – Caracterização do Urucum pelo Teor de Bixina

Foi estudado o teor de bixina para diversos produtos de diferentes regiões, no colorífico produzido pelo produto original e processado em leito de jorro e a verificação da degradação durante o processo de secagem em leito de jorro e em leito fixo.

Foi feita uma comparação entre o teor de bixina do urucum recebido de diferentes estados brasileiros pela empresa São Braz. Na Tabela 5.2, observa-se diferenças consideráveis entre os produtos de diferentes origens. Como o teor de bixina depende da variedade da cultura, clima, solo, tratos culturais, etc, as defasagens que existem de um estado para outro podem ser atribuidas a estes

efeitos, principalmente os tratos e beneficiamento dos produtos. O estado do Paraná foi quem apresentou maior teor de bixina seguido por Minas Gerais e Rio de Janeiro. Os dados foram a média de uma amostragem feita pela empresa São Braz para cada estado.

Tabela 5.2 – Teor de Bixina do Urucum de Diferentes Estados

PRODUTO	TEOR DE BIXINA (%)
Paraíba	1,646
São Paulo	1,749
Rio de Janeiro*	2,030
Minas Gerais	2,046
Paraná	2,529

Para comparação da degradação causada nas sementes pela secagem em leito de jorro e em leito fixo foram feitas duas experiências a diferentes temperaturas como se mostra na Tabela 5.3

Tabela 5.3 – Degradação de Bixina pela Secagem em Leito de Jorro e Leito Fixo

T	LEITO DE JORRO			LEITO FIXO	
	Inicial	Final	Pó	Inicial	Final
(°C)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	1,902	1,769	3,450	1,470	1,371
65	1,371	1,238	5,131	1,371	1,061

*Dado publicado por BARRETO, JAEGER & MASSARANI (1989)

Não foi verificada perda considerável no teor de bixina tanto no secador de leito de jorro como em leito fixo. Todavia, o secador de leito de jorro mostrou uma pequena queda no teor de bixina com relação ao leito fixo no produto final de secagem, mas, este fato pode ser justificado porque devido à atrição das sementes, é produzido um concentrado em pó no secador de leito de jorro que contém um alto teor de bixina. Portanto no balanço global de massa, as diferenças observadas entre os grãos de urucum secos em leito de jorro não se devem à degradação térmica, mas as perdas por atrição, que são recuperadas no ciclone.

Foram feitos dois ensaios para a comparação entre o teor de bixina do colorífico produzido pelo produto processado no secador de leito de jorro e o original. Como se mostra na Tabela 5.4, não foram verificadas diferenças significativas do teor de bixina no produto fabricado com grãos processados em secador de leito de jorro, quando comparado com o colorífico produzido pelo produto original, PINHEIRO, SILVA & ALSINA (1990).

Tabela 5.4 –Comparação do Teor de Bixina no Colorífico produzido pelo Produto Original e Processado em Leito de Jorro

ENSAIOS	PRODUTOS	T (°C)	U_o (%)	Q (m^3/h)	M (kg)	X_i (%)	X_f (%)	X_{col} (%)
01	Processado	59,5	7,0	161,6	10,0	1,59	1,37	0,079
	Original	-	7,0	-	-	1,59	-	0,100
02	Processado	68,5	9,2	161,6	10,0	1,68	1,68	0,96
	Original	-	9,2	-	-	1,68	-	0,103

Na empresa São Braz foi feita análise sensorial. De acordo com as informações fornecidas, não houve diferenças significativas, do ponto de vista sensorial, entre o colorífico obtido com sementes originais e o produto produzido a partir da mesma amostra processada em leito de jorro.

5.1.3 – Características Química do Urucum

Na empresa São Braz foi feito análise para determinação da composição do urucum em lipídios, proteínas e cinzas, MELO & CAVALCANTI (1991), tomando uma amostra dos lotes recebidos pela empresa. Os dados se encontra na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Características Química do Urucum

COMPONENTES	COMPOSIÇÃO EM PESO ÚMIDO (%)
Lipídios	3,66
Proteínas	10,27
Cinzas	5,20
Umidade	9,51

5.1.4 - Curvas de Equilíbrio Higroscópico

Os dados do teor de umidade de equilíbrio higroscópico dos grãos de urucum foram determinados para as temperaturas de 15 °C, 30 °C, 40°C e 50 °C de acordo com o procedimento descrito na seção 4.6. Foram submetidos a análise de regressão linear e ajustados ao modelo proposto por Henderson, através da relação $ln(U_e)$ versus $ln(-ln(1 - U_R))$. Os parâmetros a e b do modelo são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 5.6 – Parâmetros do Modelo de Henderson

T (°C)	a	b	R^2
15	0,137	0,160	92,3
30	0,123	0,186	95,3
40	0,120	0,201	89,8
50	0,114	0,352	94,9

Através dos resultados mostrados na Tabela 5.6 pode-se observar que o parâmetro a decresce e b cresce com o aumento da temperatura. O coeficiente de correlação em todos está numa faixa aceitável.

A Figura 5.1 mostra os dados experimentais e as curvas de equilíbrio higroscópico obtidas pelo modelo de Henderson das sementes de urucum para as temperaturas em estudos. Como se pode observar o modelo ajustou satisfatoriamente os dados experimentais.

5.2 – Efeito das Condições de Umidificação do Produto

Foram feitas duas experiências para o estudo do efeito da umidificação das sementes do urucum nas curvas de secagem. Uma das corridas foi realizada com grãos com umidade natural e a outra, com produto reumidificado conforme o procedimento apresentado na seção 4.7. As variáveis operacionias foram constantes para as duas experiências, a temperatura foi de 55 °C, a vazão de 190 m^3/h, umidade inicial de 18,4 %, tubo centrado de 55 cm de comprimento e carga de 10 kg. Como se pode observar na Figura 5.2 as curvas praticamente se sobrepõem. A conclusão é que a umidificação não causa efeito nas curvas de secagem quando se utiliza o procedimento de reumidificação descrito neste trabalho.

UFPb/BIBLIOTECA/PRAI

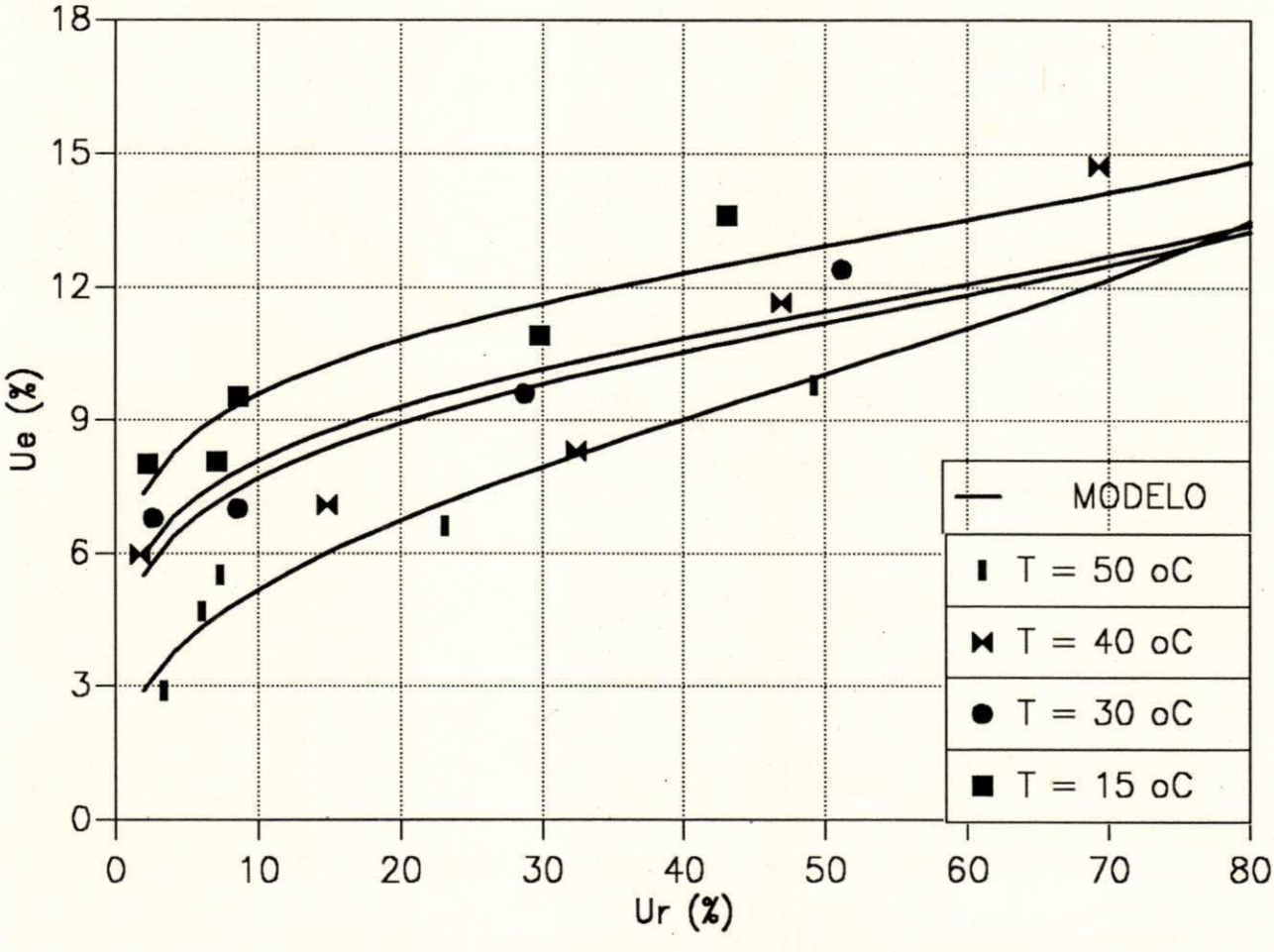


Figura 5.1 - Curvas de Equilibrio Higroscopico

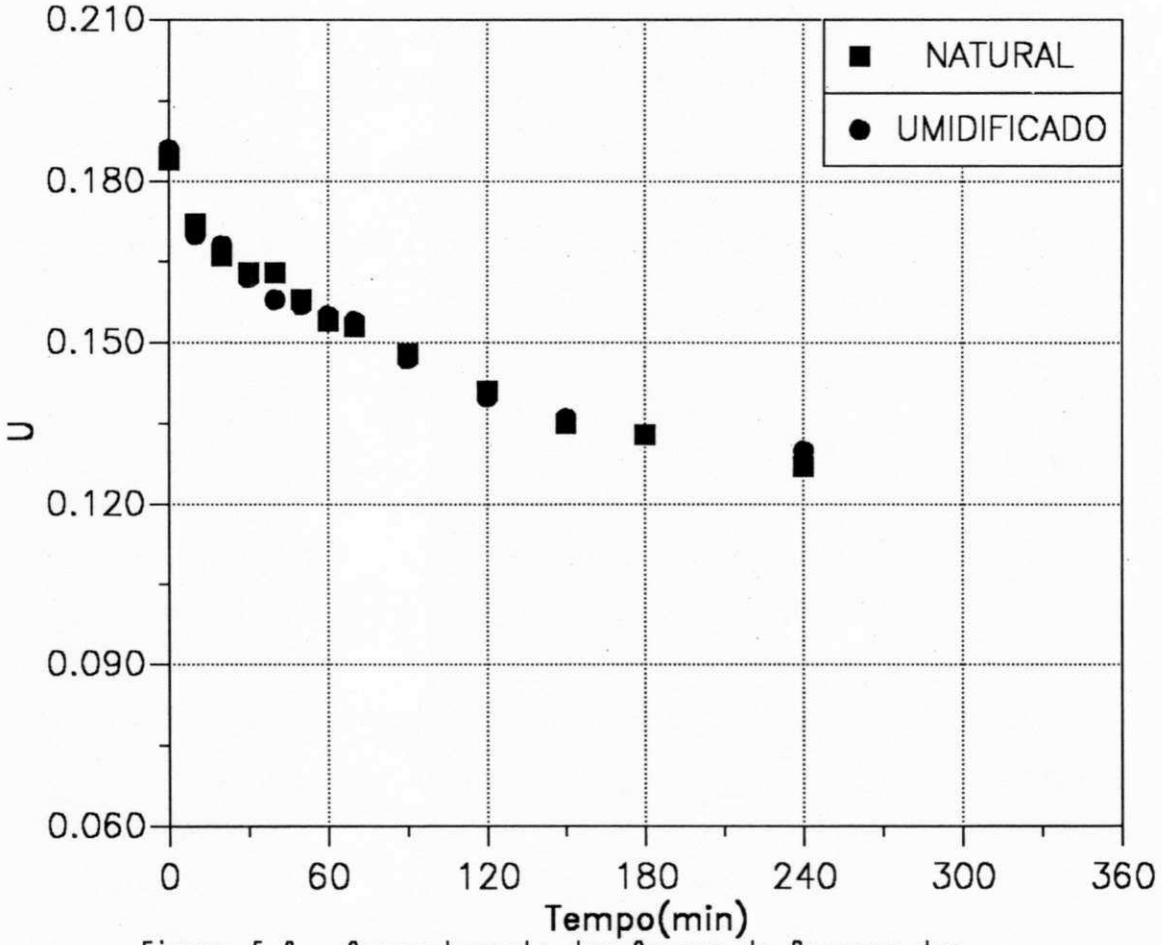


Figura 5.2 - Comportamento das Curvas de Secagem das Sementes do Urucum Natural e Umidificado

5.3 – Reprodutibilidade dos Dados Experimentais

Para verificar a reprodutibilidade dos dados experimentais foram feitas duas experiências em leito de jorro. A Figura 5.3 apresenta as curvas de secagem correspondente às duas corridas realizadas com grãos do mesmo lote. A temperatura foi de 55 °C, a vazão de 146 m^3/h, umidade inicial de 18,4 %, tubo centrado de 55 cm de comprimento e carga de 10 kg. Como se pode observar na figura, a reprodutibilidade foi boa, praticamente as curvas se sobrepõem, levando a afirmar que os dados experimentais são confiáveis.

5.4 – Efeitos das Variáveis Operacionais sobre as Curvas de Secagem

Foram realizadas 19 experiências para o estudo da secagem em leito de jorro com tubo centrado. A Tabela 5.7 mostra as condições operacionais utilizadas: a temperatura de entrada do ar variou de 45 a 65 °C, a umidade inicial das sementes de 13 a 36%, o comprimento do tubo centrado variou de 25 a 65 cm com diâmetro constante de 7,3 cm, a carga de 10 a 30 kg e a vazão de 146 a 190 m^3/h.

Além das variáveis operacionais foi estudado o efeito da umidade inicial das sementes nas curvas de secagem, como também o comportamento de produtos de diferentes regiões.

O comportamento típico da evolução da umidade do urucum no secador de leito de jorro foi predominantemente à taxa decrescente. Nos gráficos das Figuras 5.2 a 5.10 observa-se que a taxa de secagem, dada pela inclinação da tangente à curva, diminui com o tempo e pode-se comprovar a ausência do período de taxa constante. Esta afirmativa está de acordo com os resultados apresentados na bibliografia por PINHEIRO, SILVA & ALSINA (1990), para a secagem de urucum em leito de jorro.

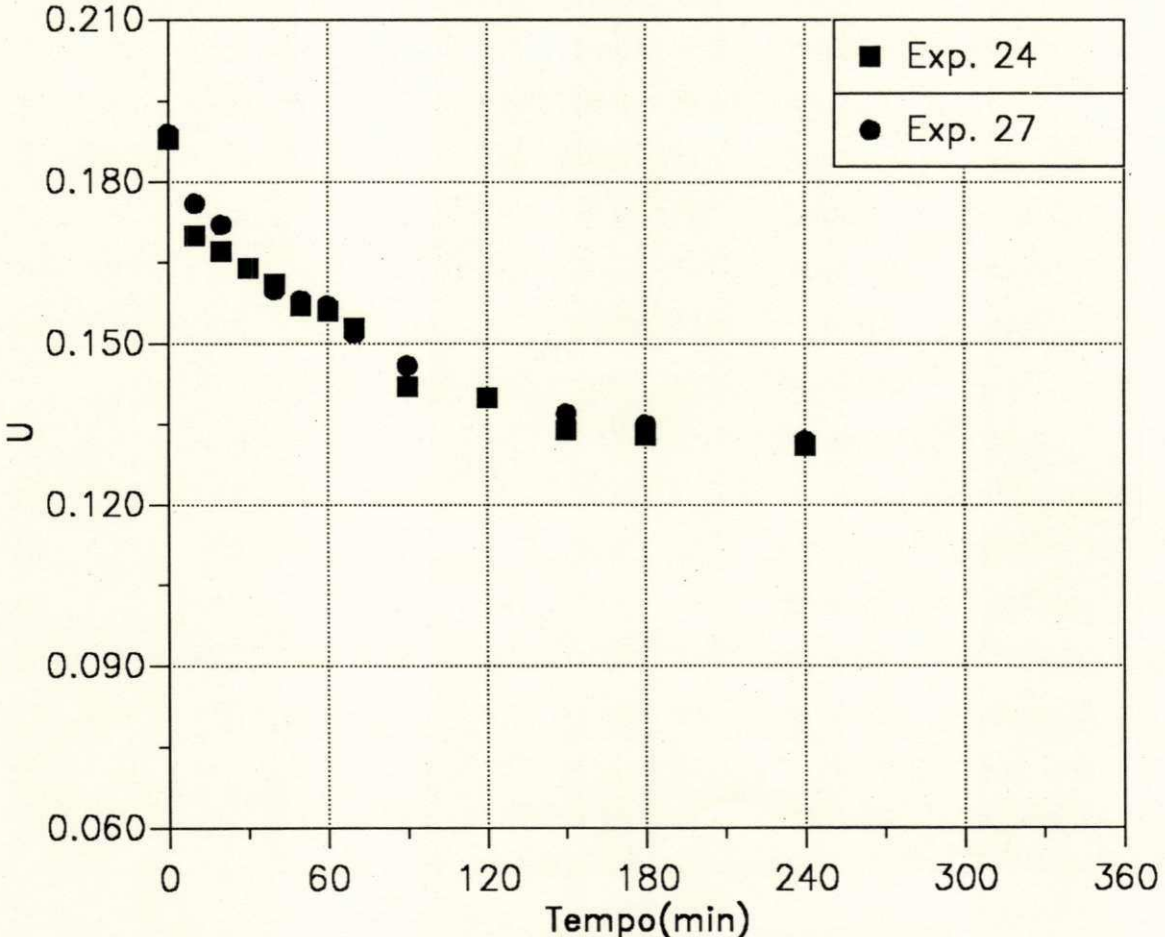


Figura 5.3 - Estudo da Reprodutibilidade dos Dados Experimentais

Tabela 5.7 – Condições Operacionais do Secador de Leito de Jorro

Exp	T (°C)	U_o (%)	U_e (%)	L_{tc} (cm)	Q (m^3/h)	M (kg)	$P_{pó}$ (g)	Origem do Produto	Condição de Umidificação
1	55	18,4	4,2	55	167	10,0	33,4	Sudeste	Natural
2	55	18,4	4,8	55	190	10,0	65,5	Nordeste	Artificial
3	55	18,8	4,3	55	146	10,0	33,7	Sudeste	Natural
4	55	18,6	4,0	55	167	10,0	28,1	Sudeste	Artificial
5	55	18,8	4,2	25	167	10,0	37,3	Sudeste	Natural
6	55	18,9	4,4	55	146	10,0	39,1	Sudeste	Natural
7	55	18,4	4,8	55	190	10,0	55,5	Sudeste	Natural
8	55	24,1	4,3	55	167	10,0	31,9	Sudeste	Artificial
9	55	24,4	4,7	55	167	20,0	53,8	Sudeste	Artificial
10	55	24,6	4,4	55	167	30,0	67,4	Sudeste	Artificial
11	55	19,0	4,3	55	167	10,0	49,3	Nordeste	Artificial
12	55	25,4	4,7	55	167	10,0	43,3	Nordeste	Artificial
13	55	12,8	4,3	55	167	10,0	57,7	Nordeste	Reprocessado
14	55	35,8	4,1	55	167	10,0	24,0	Nordeste	Artificial
15	55	18,9	4,2	65	167	10,0	15,9	Sudeste	Artificial
16	55	18,3	4,4	35	167	10,0	21,4	Sudeste	Artificial
17	50	18,7	6,1	55	167	10,0	39,2	Sudeste	Natural
18	45	18.4	7,6	55	167	10,0	36,6	Sudeste	Natural
19	65	18,7	3,6	55	167	10,0	41,6	Sudeste	Natural

Outros autores encontraram o mesmo comportamento para outros produtos e outros tipos de secadores como: secagem de soja em leito fluidizado KITIC (1982), secagem de milho em secador a vácuo BRUNELLO, & NASCIMENTO (1983), secagem de arroz com casca em monocamada GUNTHER, BRUNELLO & TEIXIRA (1983), secagem de casca de caroço de algodão em leito fixo MARIZ (1986), secagem de bagaço de cana em leito fixo

COSTA (1988). Já outros autores encontraram dois períodos de taxa decrescente; é o caso da secagem de sabugo de milho por convecção natural ALSINA e QUIRINO (1983a), secagem de fatias de cebola em leito vibro-fluidizado FINZER & KIECHBUSCH (1986), secagem de proteína texturizada de soja em leito deslizante MORENO & MENEGALLI (1988) e muitos outros. Por outro lado é muito mais fácil que o período de taxa constante se apresente em material com elevado conteúdo de água KITIC (1982). Para as experiências realizadas neste trabalho a umidade inicial mais alta foi de aproximadamente 0.36 g de água/g de sólido seco. Evidentemente, a umidade crítica deve-se situar acima desse patamar.

5.4.1 – Comportamento das Curvas de Secagem do Urucum de Diferentes Regiões

Foram feitas quatro experiências para estudo do comportamento da secagem do urucum das regiões Nordeste e Sudeste para dois níveis de umidade, com as outras variáveis constantes, veja as experiências 2 e 7 plotadas na Figura 5.4 e as experiências 8 e 12 plotadas na Figura 5.5. O urucum nordestino secou mais rapidamente que o do Sudeste, isto nos leva a crer que o produto nordestino, que pelo aspecto visual, aparentemente tem qualidade inferior, mais rugoso, menos homogêneo e esfericidade menor, tem mais facilidade de liberar as moléculas de água do produto.

5.4.2 - Efeito da Vazão do Ar de Secagem

O efeito da vazão do ar no comportamento cinético da secagem do urucum em leito de jorro foi estudado apartir dos resultados, experimentais 4, 6 e 7 representados na figura 5.6. As vazões utilizadas foram de 146,0, 167,0 e 190 m^3/h com as outras variáveis constantes, como se indica na Tabela 5.7.

Observando a figura citada acima verificou-se que a vazão não exerce influência nas curvas de secagem. Praticamente os pontos estão sobrepostos, o que

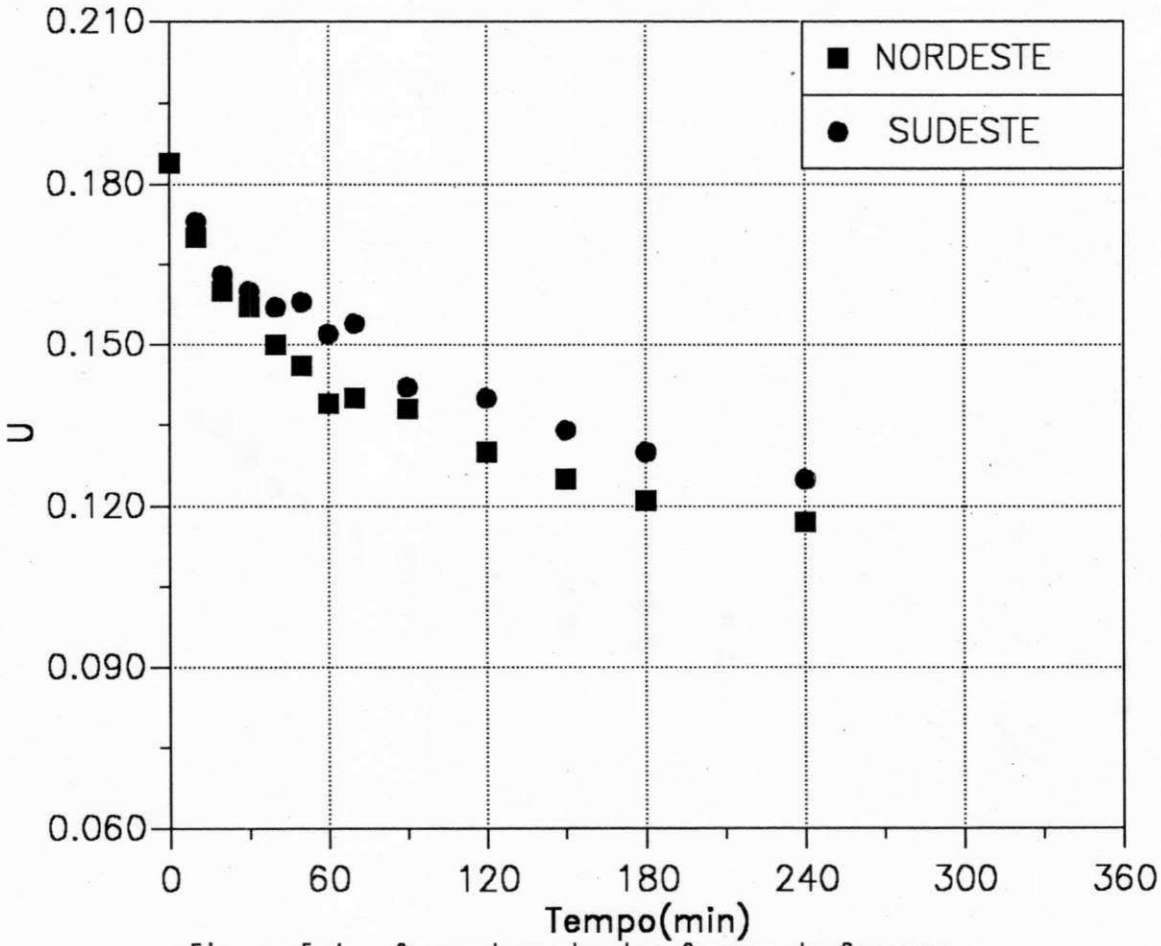


Figura 5.4 - Comportamento das Curvas de Secagem para Produtos de Diferentes Regioes

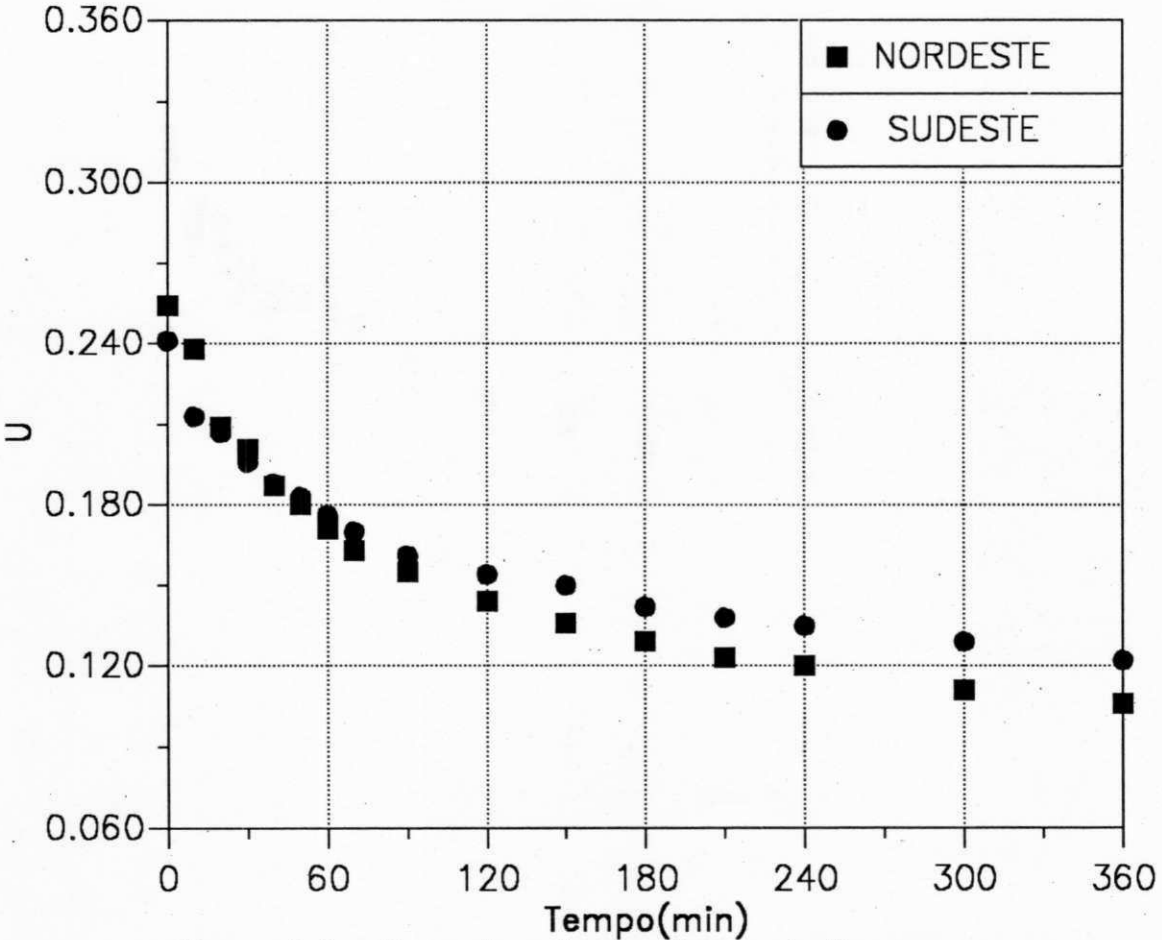


Figura 5.5 - Comportamento das Curvas de Secagem para Produtos de Diferentes Regioes

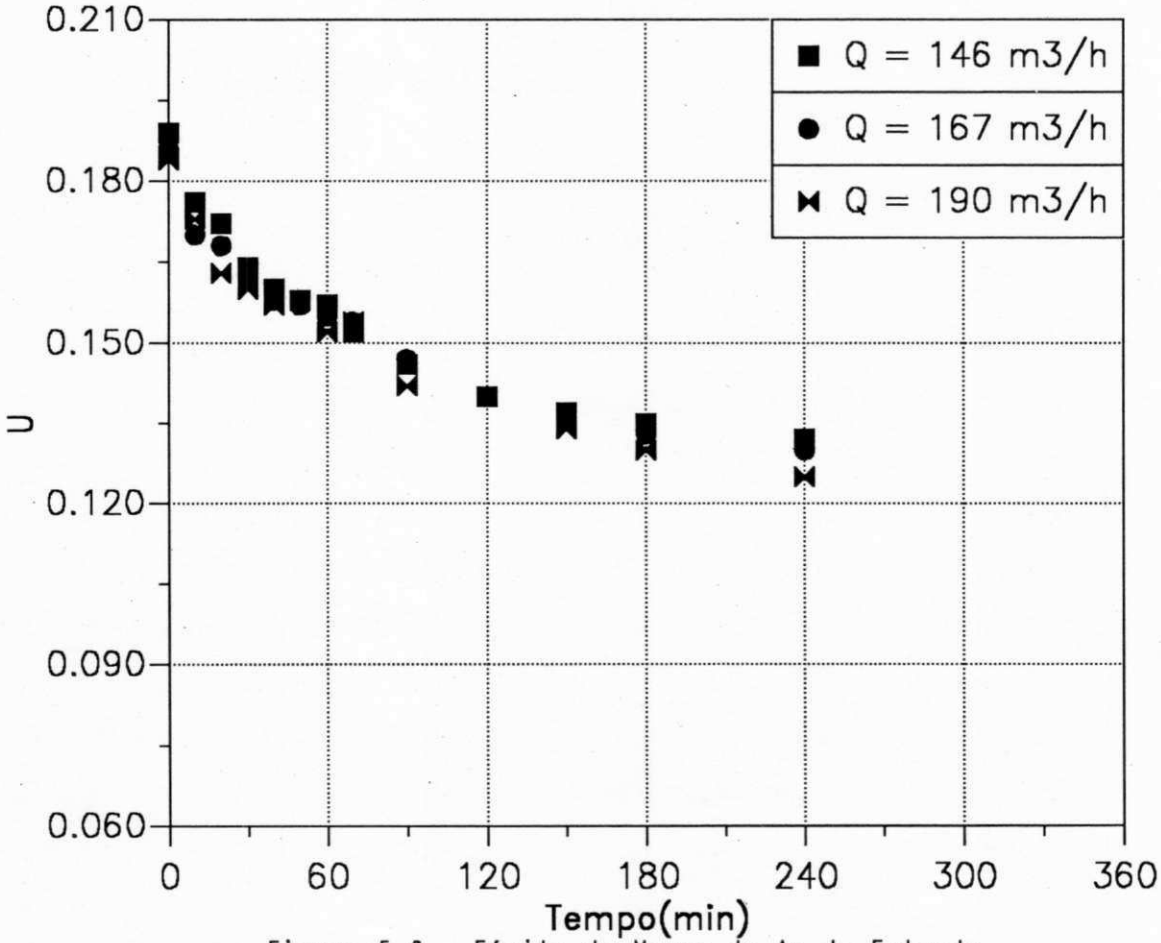


Figura 5.6 - Efeito da Vazao do Ar de Entrada no Secador

indicaria uma resistência externa à transferência de massa desprezível, ou seja, o controle da transferência é predominantemente difusional interno na faixa operacional utilizada. Resultados similares para diferentes secadores e diferentes produtos foram encontrados por KITIC (1982) na secagen de soja em leito fluidizado e COURA e ALSINA (1985) para secagem de casca de caroço de algodão em camada fina. Trabalhando no mesmo secador de leito de jorro PINHEIRO, SILVA & ALSINA (1990) encontraram o mesmo comportamento para o urucum.

5.4.3 - Efeito da Temperatura de Operação

Foram realizadas quatro experiências com as temperaturas 45 °C, 50 °C, 55 °C e 65 °C para o ar de secagem. As outras condições permaneceram constantes durante o processamento como mostra a Tabela 5.7. A figura 5.7 mostra as curvas de secagem das experiências 4, 17, 18 e 19 apresentadas na Tabela 5.7. Observa-se um significativo efeito da temperatura na taxa de secagem, quanto maior a temperatura maior a queda de umidade para um determinado tempo. Foi verificado que a temperatura exerce pouca influência nos primeiros minutos de secagem, o que foi atribuído à rapidez com que a secagem se processa neste período. Este fato acontece porque, o grão de urucum contém duas camadas, a externa mais porosa em que há maior facilidade da difusão, a qual possui a maior parte do corante e a interna, formada pela semente, mais densa, provocando maior resistência à difusão da umidade na parte interna do grão.

5.4.4 - Efeito da Umidade Inicial nas Curvas de Secagem

Foram feitas quatro experiências para o estudo dos efeitos da umidade inicial nas curvas de secagem. As experiências 11, 12, 13 e 14 da Tabela 5.7 estão representadas na Figura 5.8, onde se mostra que quanto maior a umidade maior

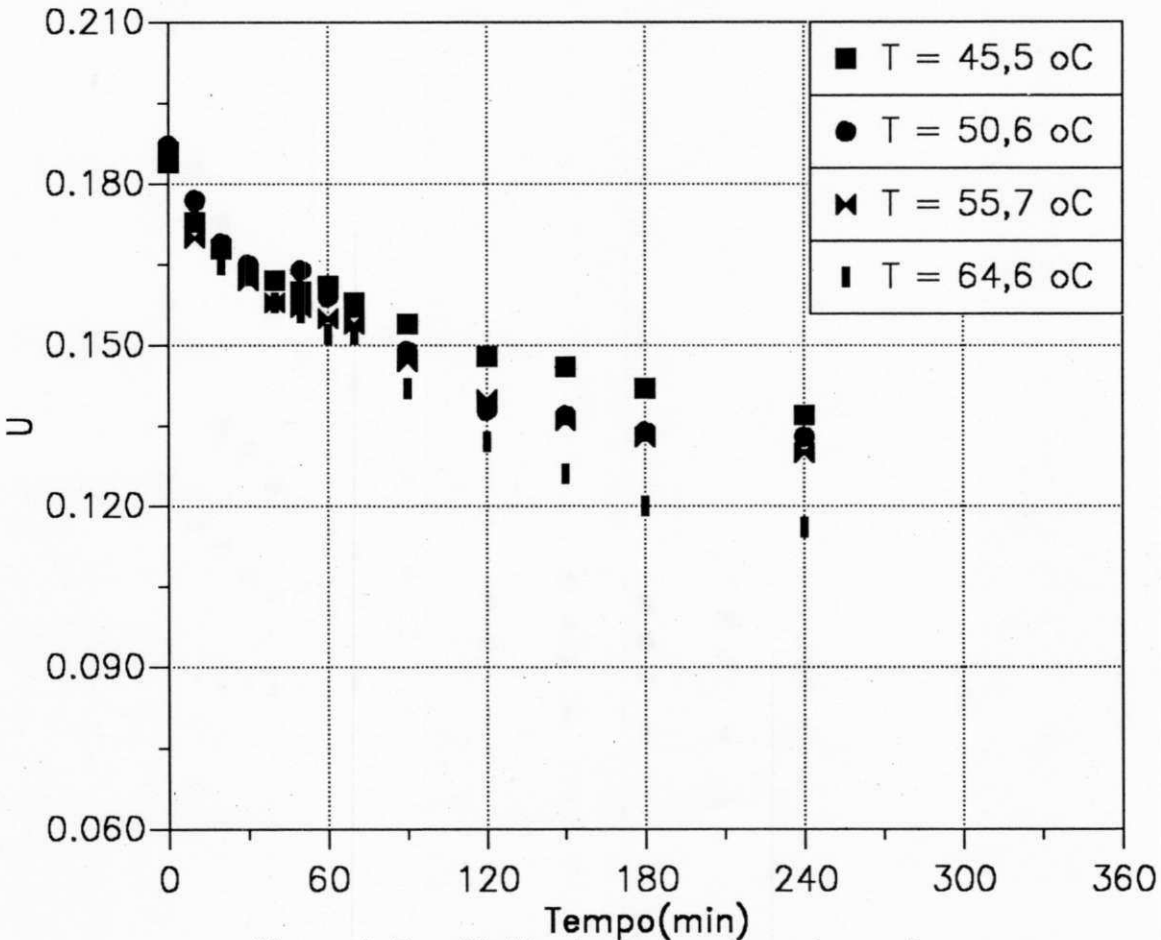


Figura 5.7 - Efeito da Temperatura do ar de Entrada no Secador

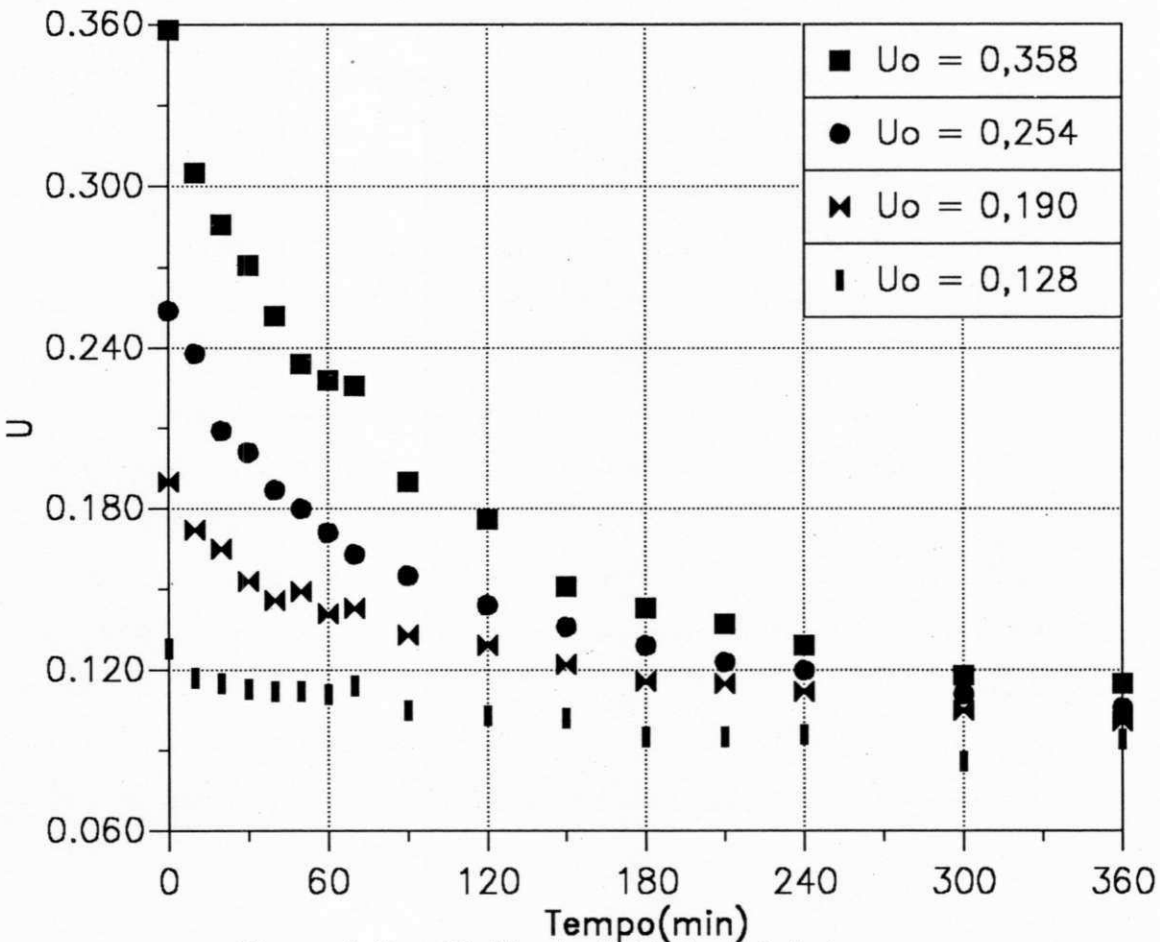


Figura 5.8 - Efeito da Umidade Inicial nas Curvas de Secagem do Urucum

a taxa de secagem do urucum. Para as umidades inferiores a 25% foi observado que com duas horas de processamento o produto já se encontrava com uma umidade adequada para o armazenamento, com menos de 14% em base seca. Para umidades elevadas, nos primeiros minutos a taxa de secagem teve um queda considerável.

5.4.5 - Efeito da Carga de Sólido nas Curvas de Secagem

Para analisar o efeito da carga de sólido nas curvas de secagem em leito de jorro foram realizadas três experiências, com 10, 20 e 30 kg de urucum. As outras variáveis que foram mantidas constantes durante o processo, estão mostradas na Tabela 5.7 pelas experiências 8, 9 e 10. Na Figura 5.9 estão plotadas as curvas de secagem. Pode-se observar que houve efeito significativo, sendo que para maiores cargas a secagem se processa mais lentamente. Isto foi atribuido em que a circulação de sólidos no jorro se dá mais rapidamente para menores cargas. Como mostra a figura 5.9 as diferenças menos significativas ocorrem nos primeiros momentos do processo. Para tempos maiores as curvas são praticamente paralelas o que indica iguais taxas de secagens. Pode-se concluir que o aumento da carga apenas retarda a secagem do produto nos primeiros instantes, precisamente quando a diminuição de umidade é mais acentuada. A conclusão é que não seria muito vantajoso operar com carga máxima e que a carga ótima se obteria com um compromisso entre capacidade e tempo de processamento para um dado nível final de umidade.

5.4.6 – Efeito do Comprimento do Tubo Centrado nas Curvas de Secagem

O efeito do tubo centrado nas curvas de secagem do urucum foi estudado através de quatro experiências utilizando os tubos de 25, 35, 55 e 65 cm de comprimento e 7,3 cm de diâmetro. Como pode-se observar na figura 5.10 a mudança de tubo não mostrou efeito significativo nas curvas de secagem do

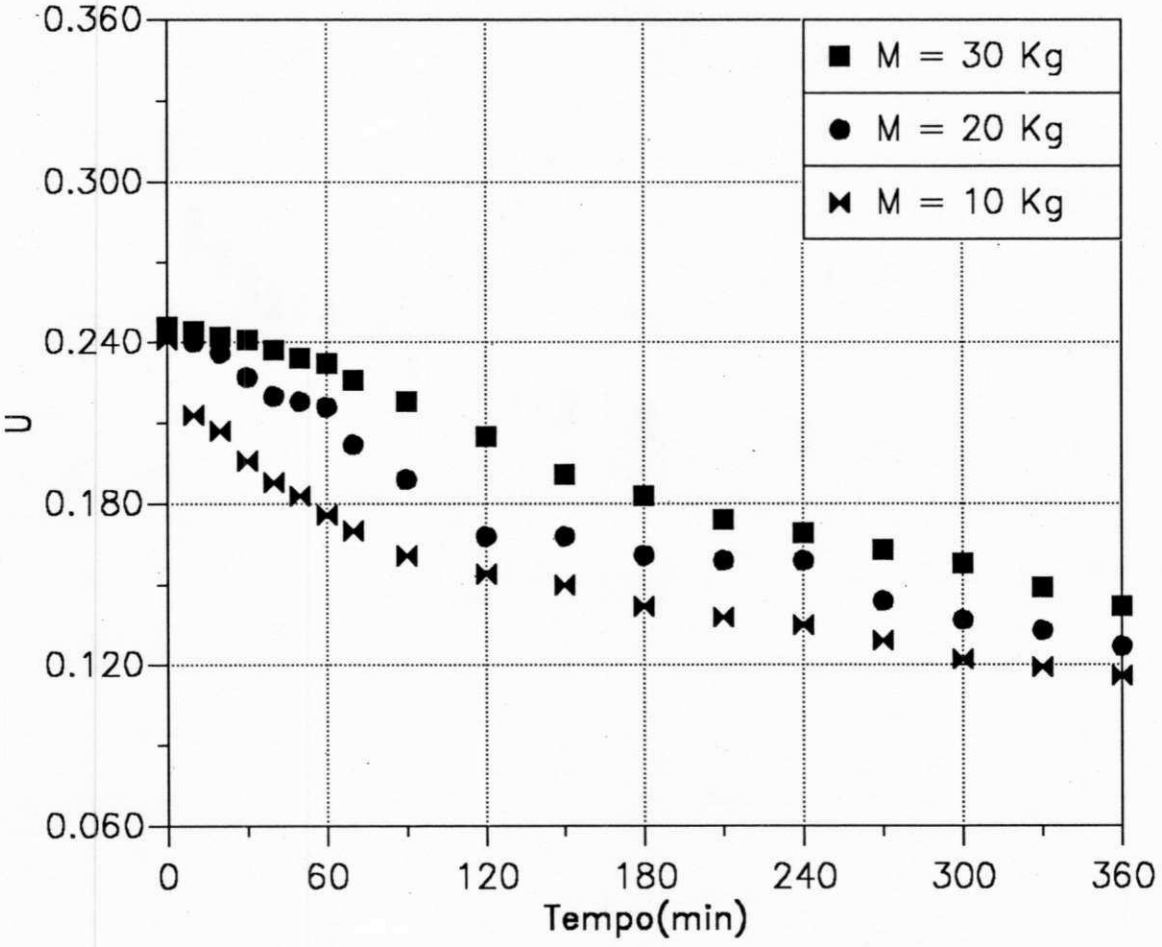


Figura 5.9 - Efeito da Carga de Solidode Secagem

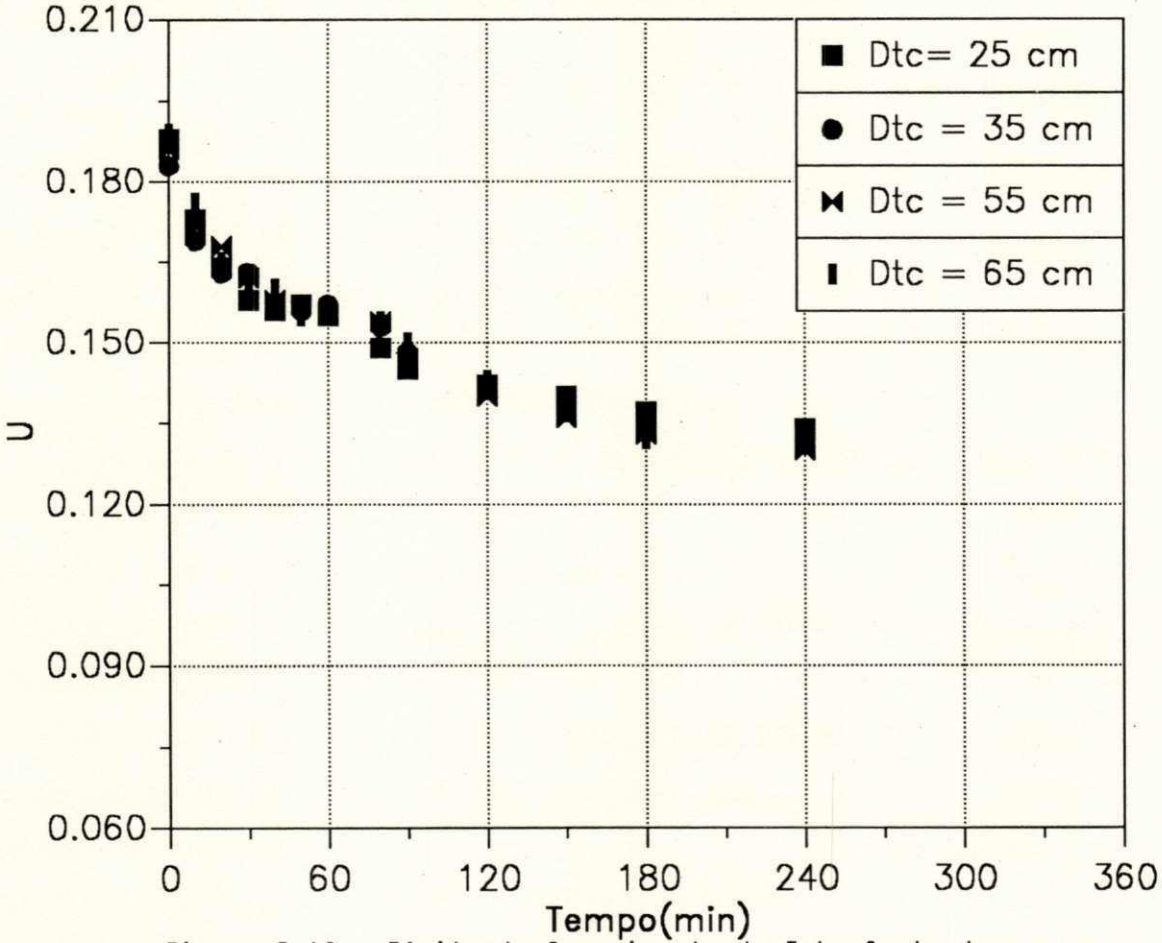


Figura 5.10 - Efeito do Comprimento do Tubo Centrado nas Curvas de Secagem do Urucum.

urucum, os pontos praticamente se sobrepõem. A vantagem de se usar o tubo centrado é de proporcionar uma maior circulação de sólidos, aumentando a capacidade do secador, com o mínimo de potência do compressor. A maioria das experiências foram feitas com tubo de 55 cm de comprimento, isto justifica o fato de que o secador pudesse utilizar cargas de até 50 kg.

5.5 – Condições Operacionais de Secagem Recomendadas

Como o controle da transferência de massa é difusional interna, verificado na Figura 5.6 a independência da vazão nas curvas de secagem, não é aconselhado trabalhar com vazões altas, a vazão deve ser a "ótima de jorro", valor mínimo no qual o secador não se entope e funciona em condições de jorro estável. Para o protótipo em estudo a vazão foi de 146 m^3/h.

A temperatura é uma das variáveis que deve ser mais controlada, pois foi observado pela Figura 5.7 que quanto maior a temperatura mais rápida se processa a secagem. No entanto, o produto final deve ter uma boa qualidade, a perda de bixina deve ser mínima, o urucum deve permanecer com as mesmas propriedades físicas e químicas; cheiro, cor e sabor devem ser os próprios e os grãos não devem apresentar deformações. Estas características são afetadas com temperaturas altas, é aconselhado trabalhar com temperaturas de até 55 °C. Os estudos mostraram que as temperaturas de 50 a 55 °C são as melhores para o trabalho, já que nessas condições não foi verificado alterações consideráveis nas características do urucum. A carga é uma variável que depende das dimensões do equipamento e da capacidade do compressor. Foi verificado pela Figura 5.9 que as curvas de secagem são afetadas com a carga de sólido, pois o processamento é mais rápido para cargas menores. A maioria das experiências foi feita com carga de 10,0 kg, a qual não causava problemas na operação, como entupimento e tempo de secagem mínimo para que o produto atingisse a umidade adequada para o armazenamento.

Quanto ao comprimento do tubo centrado não foi verificado efeitos nas curvas de secagem, portanto qualquer comprimento pode ser utilizado, desde que não seja menor que a altura do leito de sólido ou muito longo, o qual causa a má distribuição do jorro em que as partículas se chocam na parte superior do secador. Foi observado que o tubo de 55 cm de comprimento ofereceu boas condições de circulação para as cargas de sólidos utilizadas.

5.6 – Comparação das Curvas de Secagem em Leito de Jorro e em Leito Fixo

Foram feitas 7 experiências em leito fixo MARIZ et alii (1991) para comparação com os resultados obtidos em leito de jorro. A Tabela 5.8 mostra as condições operacionais das mesmas.

Tabela 5.8 – Condições Operacionais da Experiências em Leito Fixo

Exp	T (°C)	U_o (%)	Q (m^3/h)	Origem do Produto	Condição de Umidificação
1	50	18,4	81	Sudeste	Natural
2	50	18,4	146	Sudeste	Natural
3	50	18,8	165	Sudeste	Natural
4	45	18,4	165	Sudeste	Natural
5	65	18,7	165	Sudeste	Natural
6	50	13,9	165	Sudeste	Reprocessado
7	50	32,5	165	Sudeste	Artificial

A temperatura variou de 45 a 65 °C, a umidade inicial de 13,9 a 32,5 %, a vazão de 81 a 165 m^3/h e foi utilizado produto de mesma região para os testes.

Pela Figura 5.11 não foi verificado efeito da vazão nas curvas de secagem do urucum em leito fixo, comprovando os resultados obtidos no secador de leito de jorro, o que implica controle da transferência de massa difusional interna. Com a temperatura de operação foi verificado que quanto maior a temperatura maior a taxa de secagem, da mesma forma foi observado nas curvas de secagem obtidas no secador de leito de jorro, como mostra a Figura 5.12. A Figura 5.13 mostra o efeito da umidade inicial o que comprova o mesmo comportamento obtido em leito de jorro.

As curvas de secagem das Figuras 5.14, 5.15 e 5.16 ilustram o comportamento da evolução da umidade das sementes do urucum nos secadores de leito de jorro e em leito fixo para as temperaturas de 50, 45 e 65 °C respectivamente. Em todas as figuras se pode observar a superioridade da secagem no equipamento de leito de jorro.

O melhor desempenho do secador de leito de jorro foi atribuido ao maior contato do ar de aquecimento com as partículas, permitindo maior transferência de calor e massa no interior do secador.

5.7 – MODELAGEM

Admitindo geometria esférica para o urucum, fase sólida homogênea, temperatura uniforme durante o processo, fluxo por capilaridade desprezível, propriedades físicas constantes e que o transporte difusional seja apenas na direção radial, a equação difusiva da segunda lei de Fick pode ser escrita:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = D_{ef}\left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial U}{\partial r}\right) \qquad (5.1)$$

As condições inicial e de contornos são:

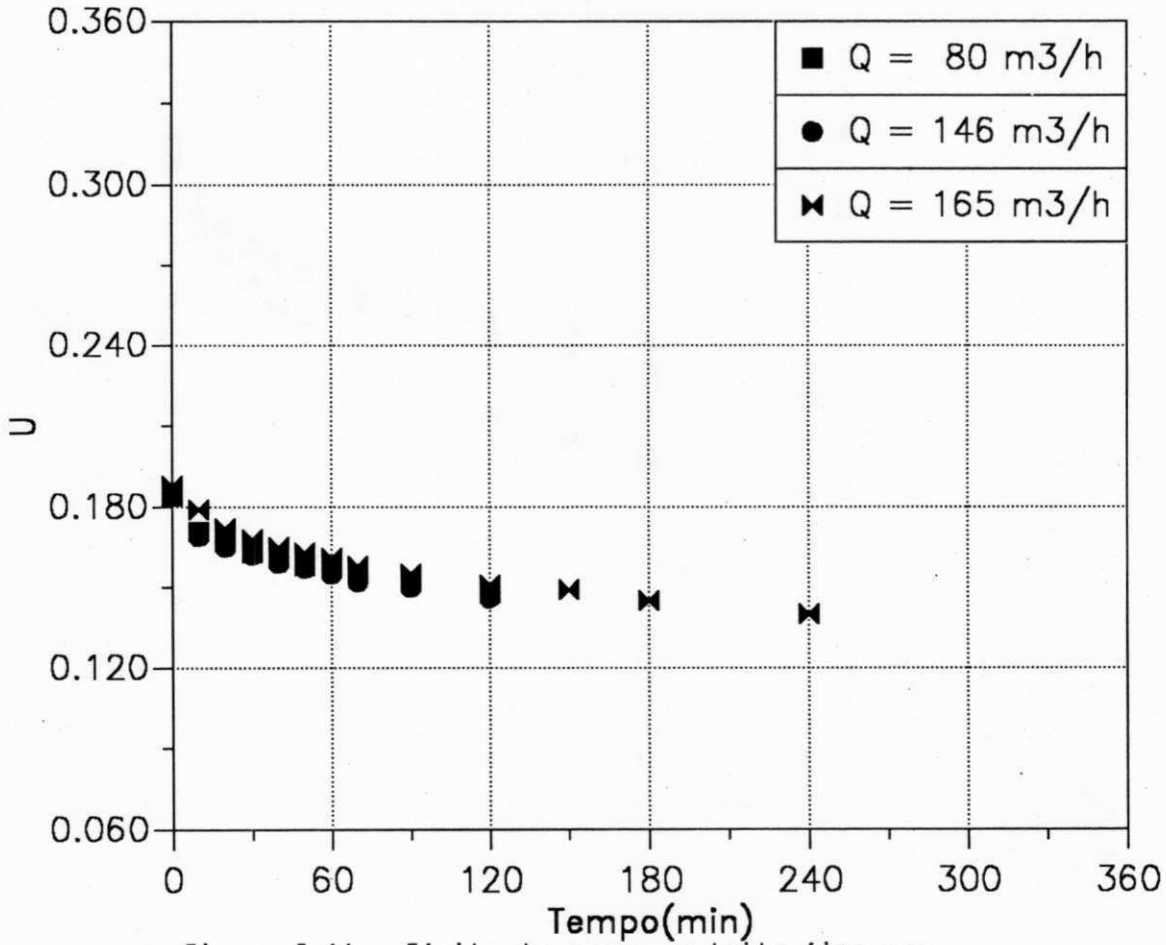


Figura 5.11 - Efeito da vazao em leito fixo nas Curvas de Secagem do Urucum

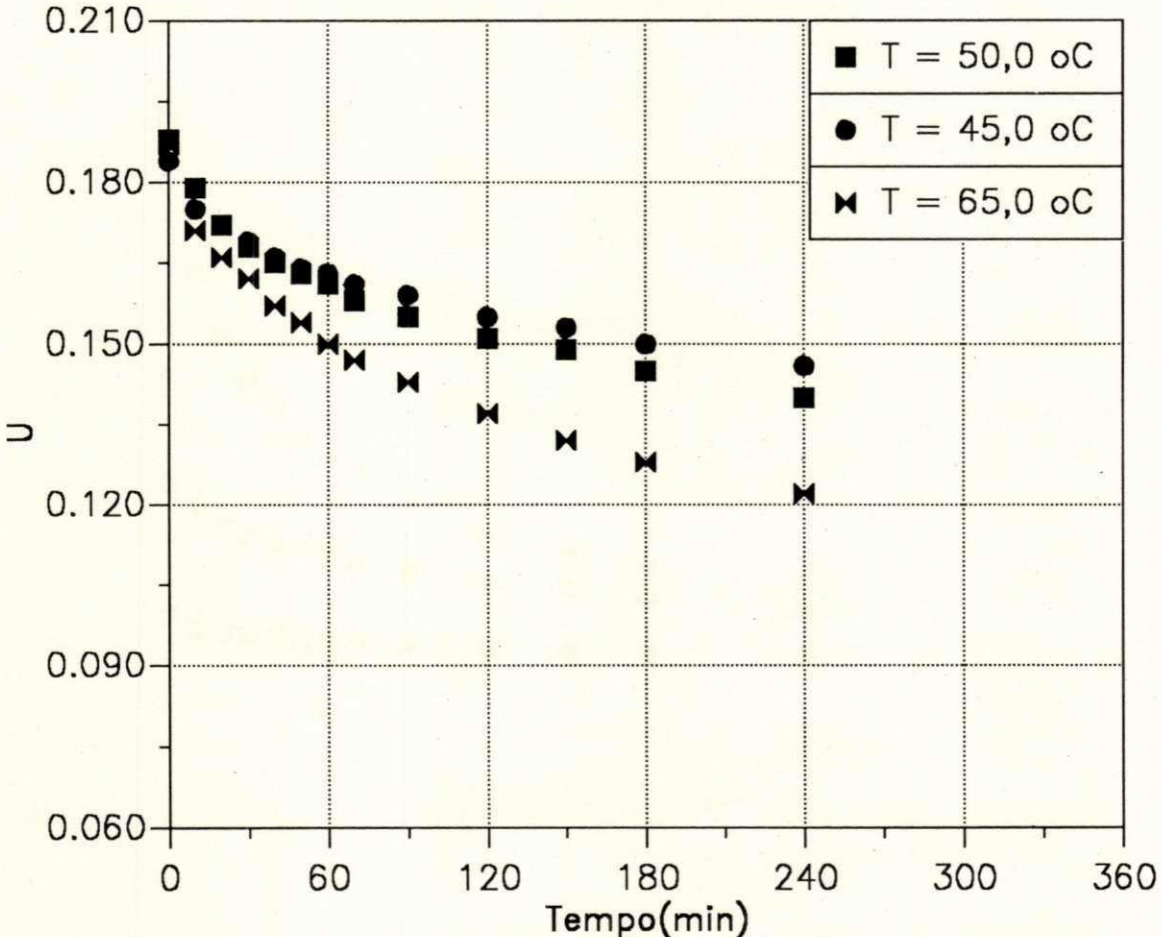


Figura 5.12 - Efeito da Temperatura do Ar de Entrada nas Curvas de Secagem em Leito Fixo

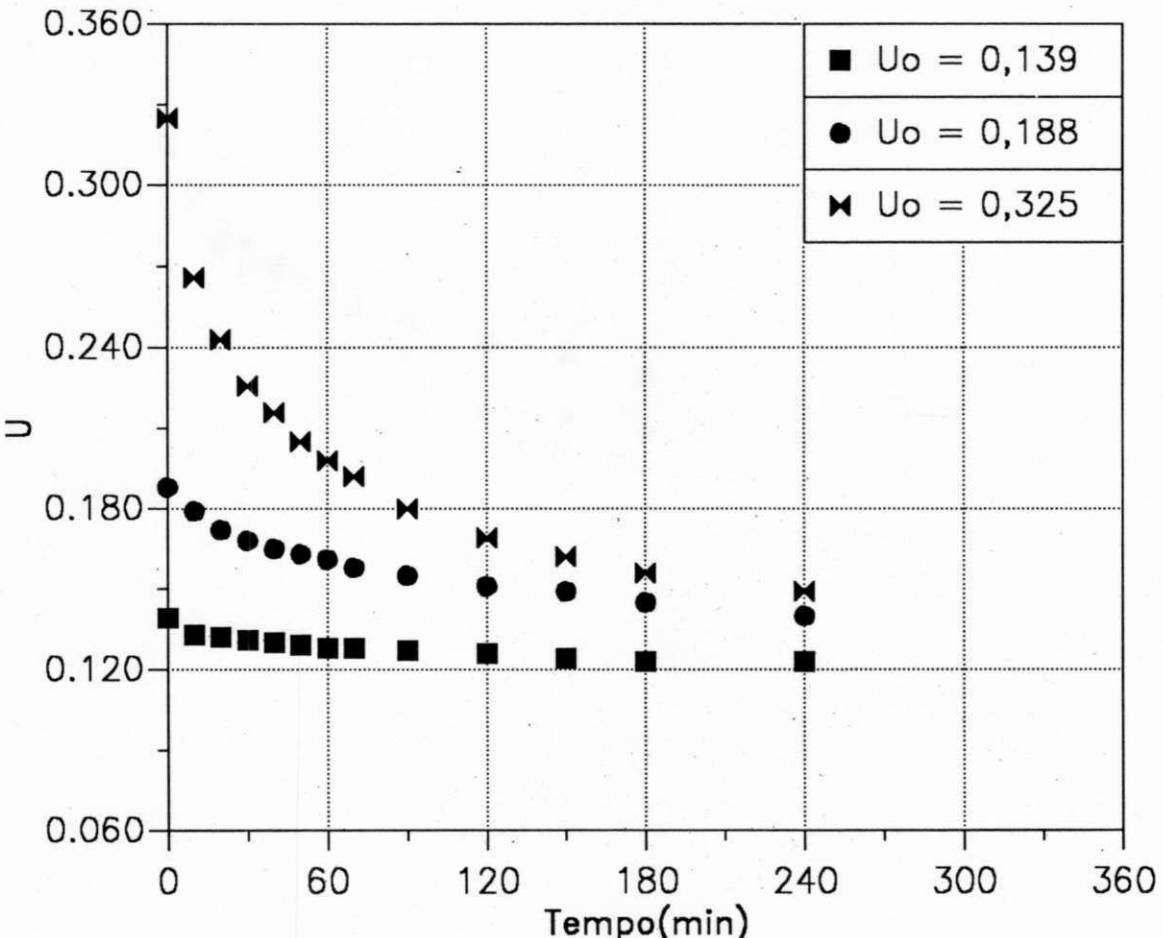


Figura 5.13 - Efeito da Umidade Inicial nas Curvas de Secagem em Leito Fixo

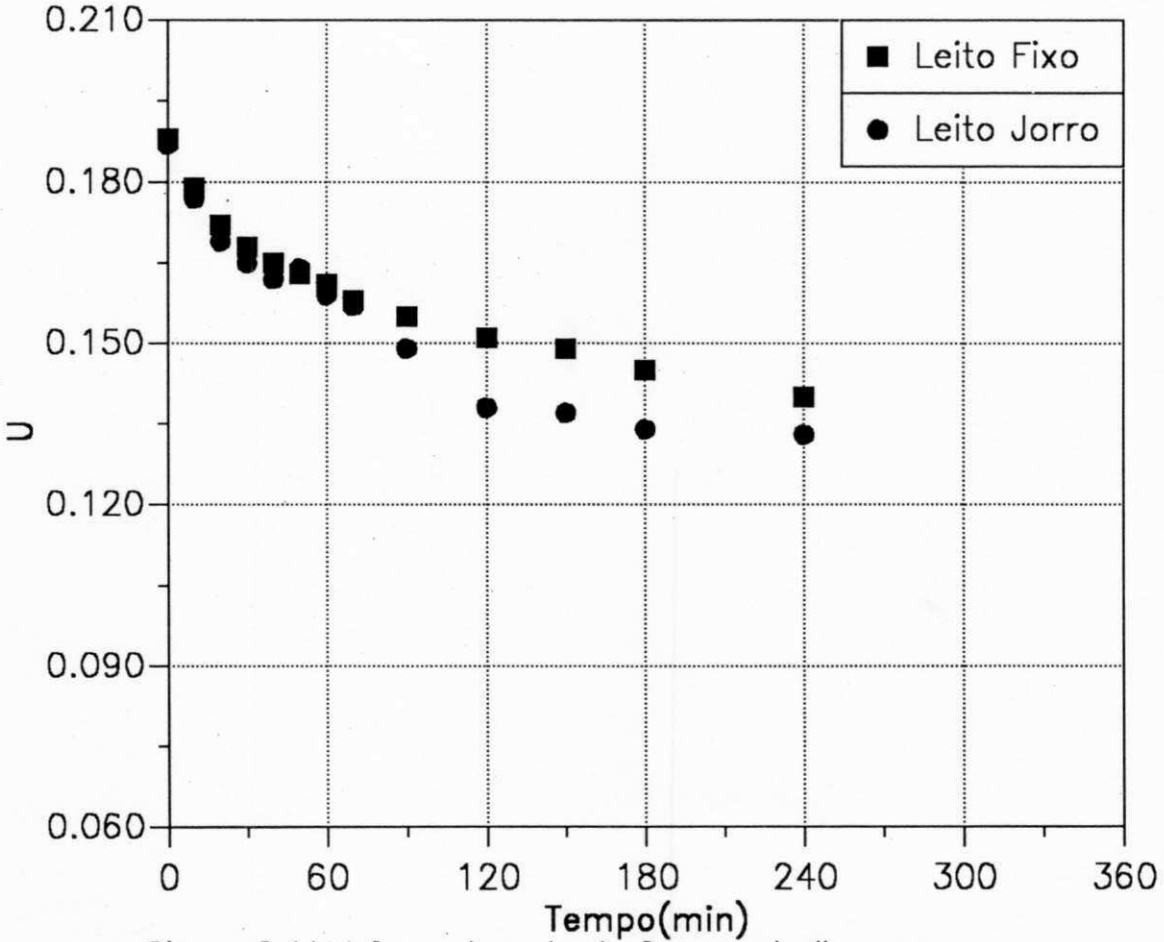


Figura 5.14 - Comportamento da Secagem de Urucum em Leito de Jorro e Leito Fixo (T=50 oC)

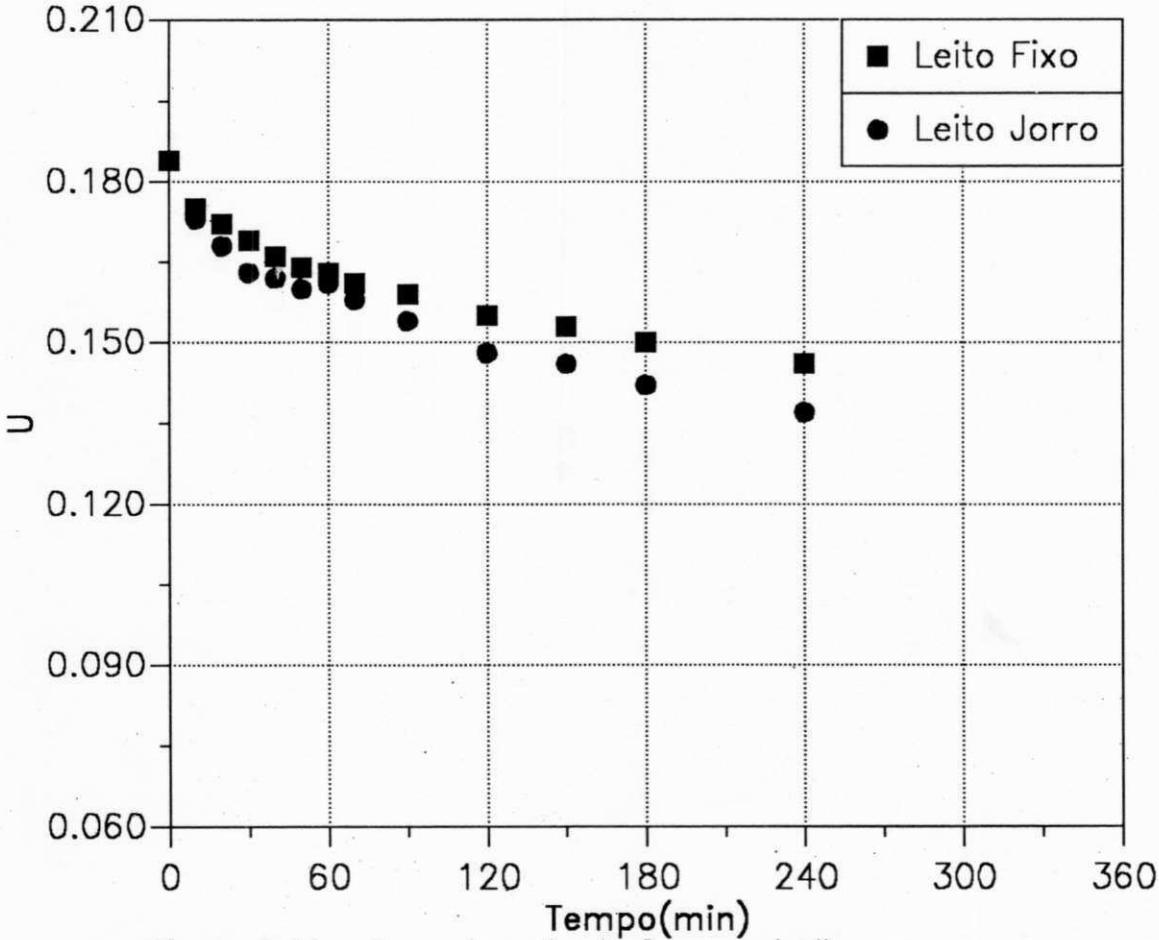


Figura 5.15 - Comportamento da Secagem de Urucum em Leito de Jorro e Leito Fixo (T=45 oC)

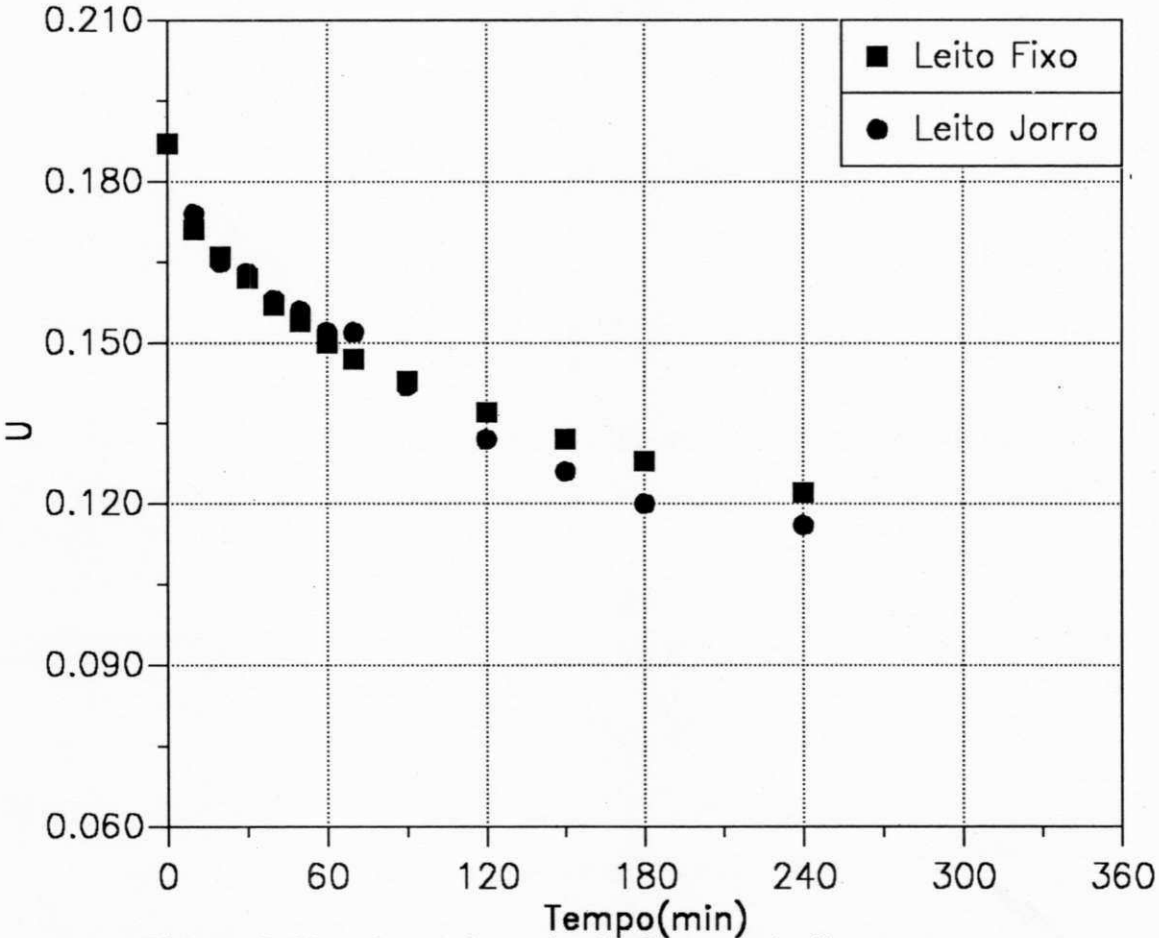


Figura 5.16 - Comportamento da Secagem do Urucum em Leito de Jorro e Leito Fixo (T=65 oC)

$$CI \qquad U(r,o) = U_o$$

$$CC_1 \qquad D_{ef} \frac{\partial U}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0$$

$$CC_2 \qquad D_{ef} \frac{\partial U}{\partial r} \Big|_{r=R} = h_m(U(R,t) - U_e)$$

A média volumétrica da umidade admensional pode ser escrita:

$$\frac{U - U_e}{U_o - U_e} = \frac{\int_V \left(\frac{U - U_e}{U_o - U_e} \right) dV}{\int_V dv} \tag{5.2}$$

A solução da equação 5.1 que satisfaz as condições inicial e de contorno CI, CC_1 e CC_2, temos:

$$\frac{U - U_e}{U_o - U_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} EXP \left(- \frac{n^2 \pi^2 D_{ef} t}{R_p^2} \right) \tag{5.3}$$

Onde U, U_o e U_{eq} são as umidades média volumétrica durante o tempo de secagem, umidade inicial e umidade no tempo infinito, respectivamente.

Para tempos suficientes grandes pode-se tomar apenas o primeiro termo da série, pois os demais são considerados desprezíveis em consequência das raízes da equação características crescerem quando o tempo aumenta, temos a equação:

$$\frac{U - U_e}{U_o - U_e} = A \; EXP \; (-Bt) \tag{5.4}$$

Aplicando a regressão por mínimos quadrados nos dados de *ln* U* contra o tempo, para tempos não muito próximos de zero foram determinados os valores da interseção (A) e da inclinação (B) da equação 5.4. Onde B é dado pela relação $\pi^2 D_{ef}/R_p^2$ e D_{ef} é a difusividade efetiva do urucum. O intervalo de regressão foi tomado na parte linear do gráfico a qual é considerada a região de regime regular, LUIKOV (1966). Na Tabela 5.9 são mostrados as condições operacionais e os resultados da interseção e da difusividade efetiva.

Tabela 5.9 – Resultados do Modelo Difusional

Exp	T (°C)	U_o (%)	Q (m^3/h)	Interseção	$D_{ef} \times 10^7$ (cm^2/s)
2	55	18,4	190	0,750	0,900
4	55	18,6	167	0,841	0,723
6	55	18,9	146	0,810	0,692
7	55	18,4	190	0,845	0,905
11	55	19,0	167	0,730	0,930
12	55	25,0	167	0,647	1,243
13	55	12,8	167	0,842	0,662
14	55	35,8	167	0,640	1,602
17	50	18,7	167	0,823	0,915
18	45	18,4	167	0,856	0,905
19	65	18,7	167	0,861	1,132

Quando o controle à transferência é difusional interna, a velocidade do ar não afeta as curvas de secagem, como mostra a Figura 5.17, nesse caso, o $Bi_m -> \infty$ e a interseção da reta no gráfico *l* n(U*) versus tempo é igual a $6/\pi^2$ para esfera. Na Figura 5.18 observa-se as curvas para diferentes umidades iniciais e na Figura 5.19 para diferentes temperaturas de entrada no secador. Como mostram as figuras, aumentando a umidade inicial e temperatura o coeficiente

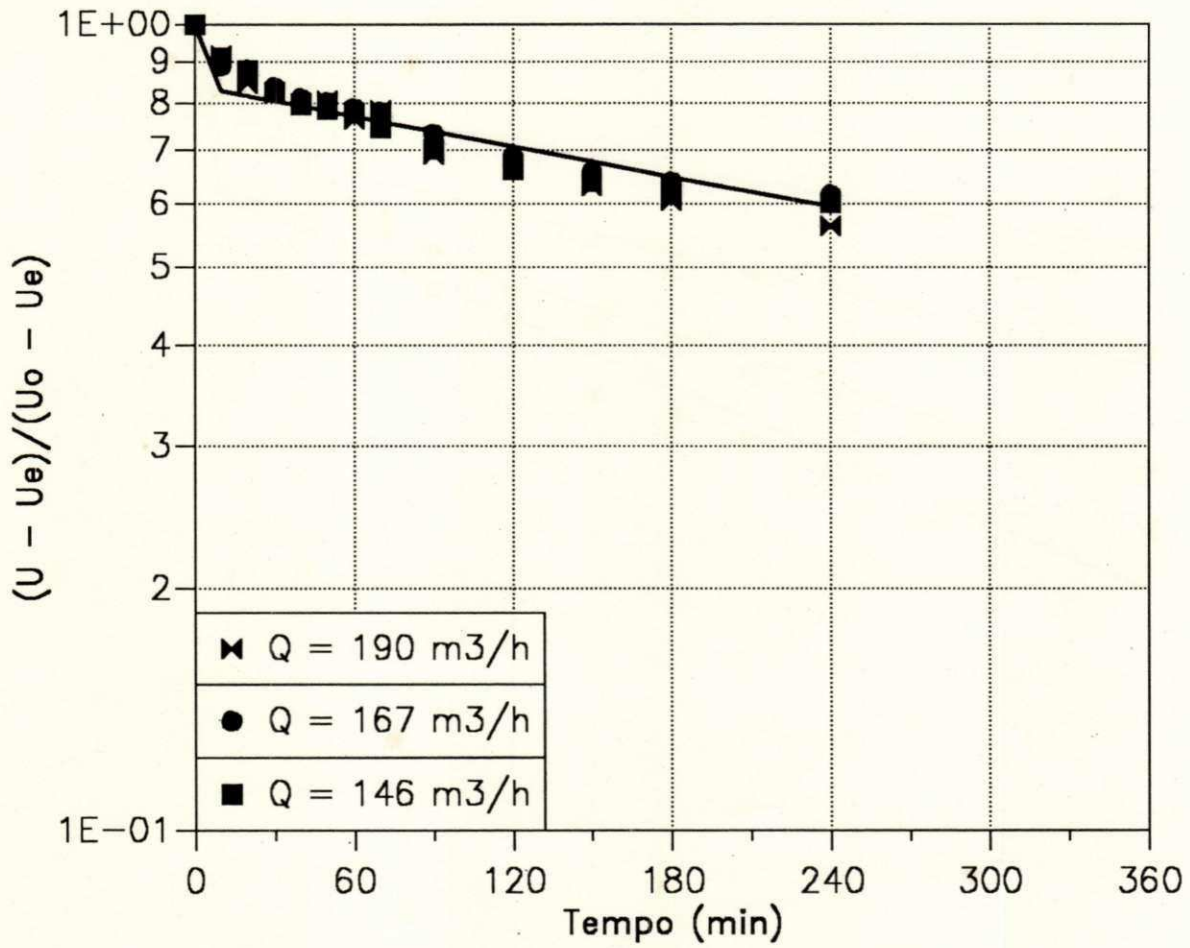


Figura 5.17 - Efeito da Vazao do Ar de Secagem

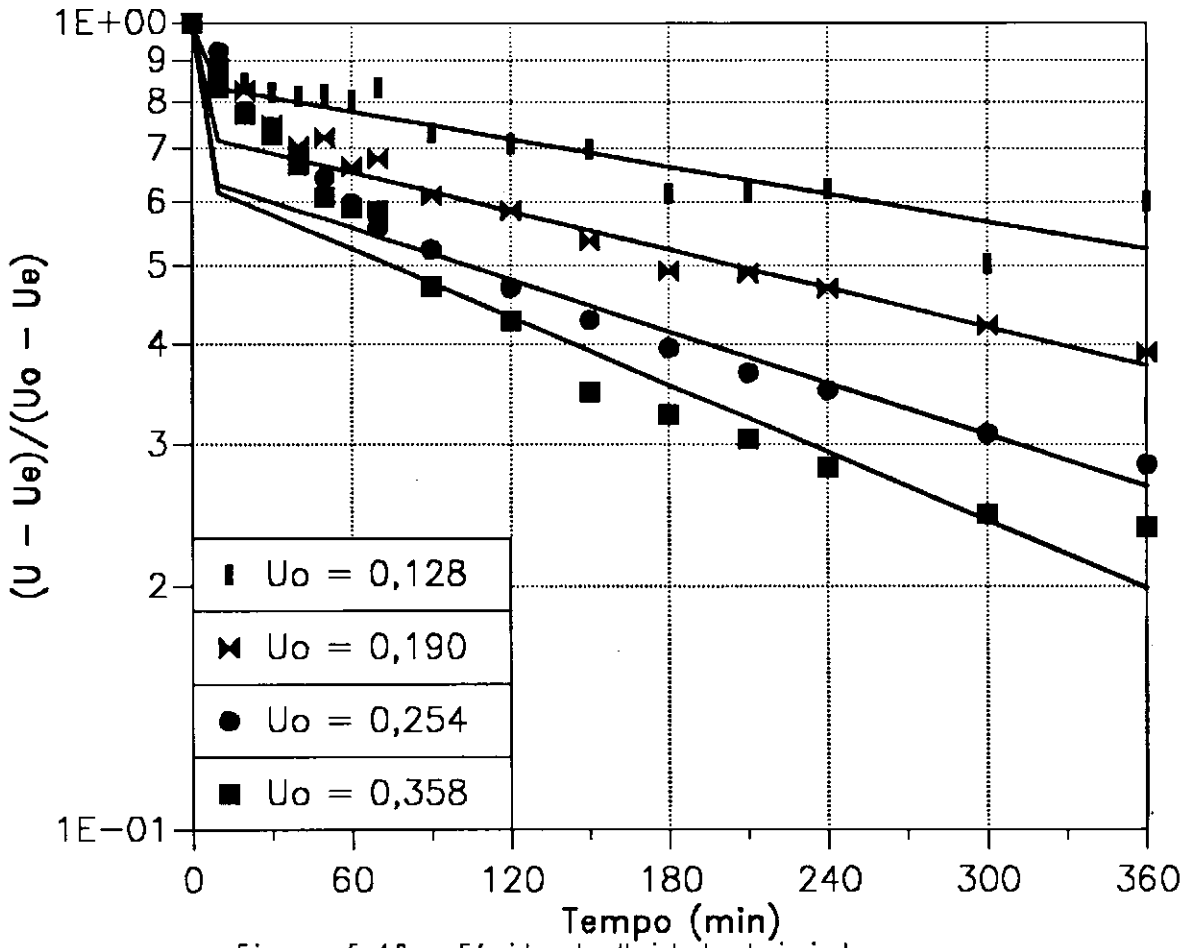


Figura 5.18 - Efeito da Umidade Inicial nas Curvas de Secagem do Urucum

de difusividade aumenta. Os valores das interseções conforme Tabela 5.8, variaram de 0,64 a 0,86, afastando-se do valor previsto 0,608 para esfera. Esta oscilação talvez tenha sido causada pela heterogeneidade do urucum ou porque os grãos não são perfeitamente esféricos. No entanto deve-se levar em conta que o erro desse parâmetro pode ser considerado nesta faixa.

A Figura 5.20, plotada difusividade efetiva versus umidade inicial do Urucum, comprova o que foi observado na Figura 5.18; o aumento da umidade inicial implica num aumento da difusividade, ou seja, a taxa de secagem aumenta. A Figura 5.21 foi plotada em escala logaritmica da difusividade mássica efetiva versus o inverso da temperatura absoluta, com intúito de ajustar os dados com a equacão de Arrhehius. Como podemos observar os pontos teóricos são praticamente lineares, sendo assim, podendo ajustar os dados com a mesma. Para a faixa de temperatura de operacão estudada não houve muita diferença nas difusividades calculadas pelo modelo difusional, pois a influência da temperatura não é muito acentuada.

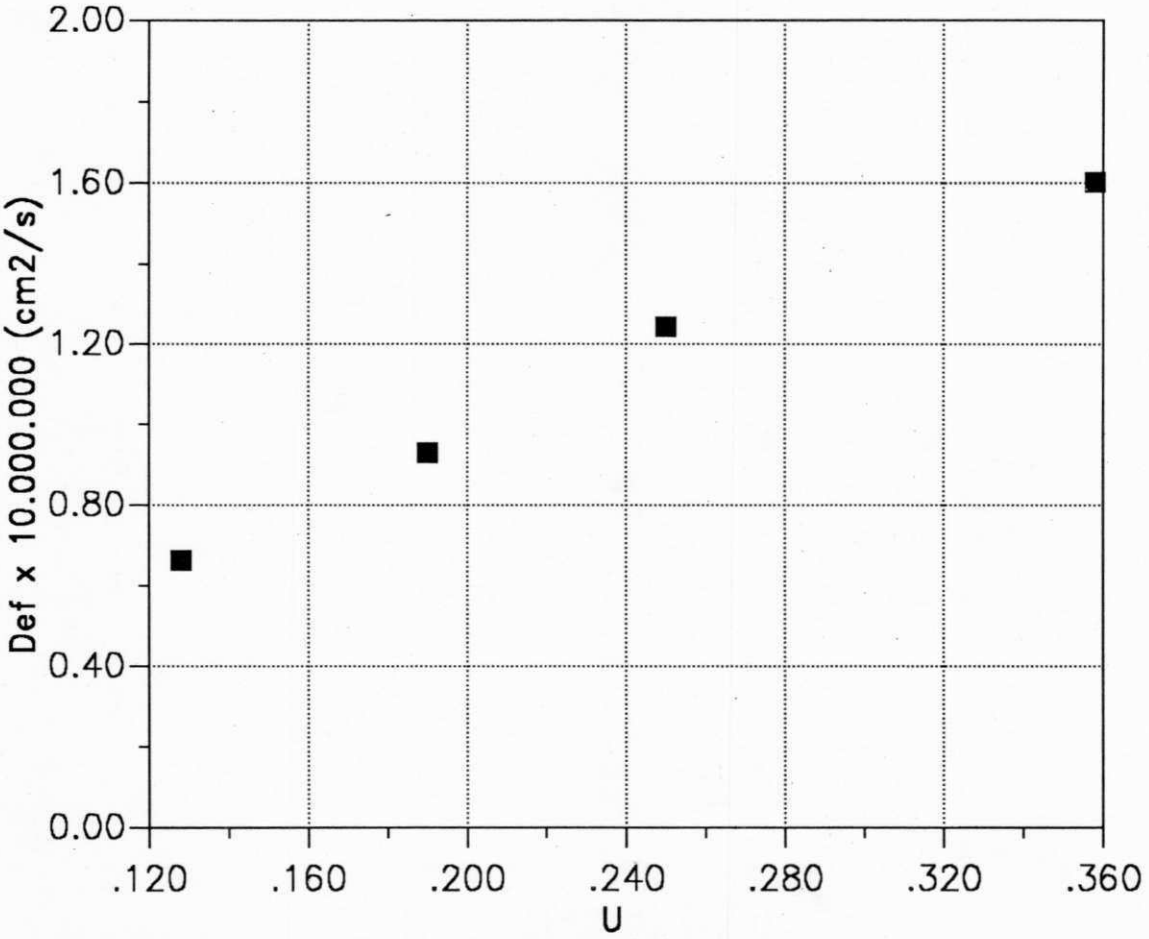


Figura 5.20 - Efeito da Umidade Inicial do Urucum no Coeficiente de Difusividade

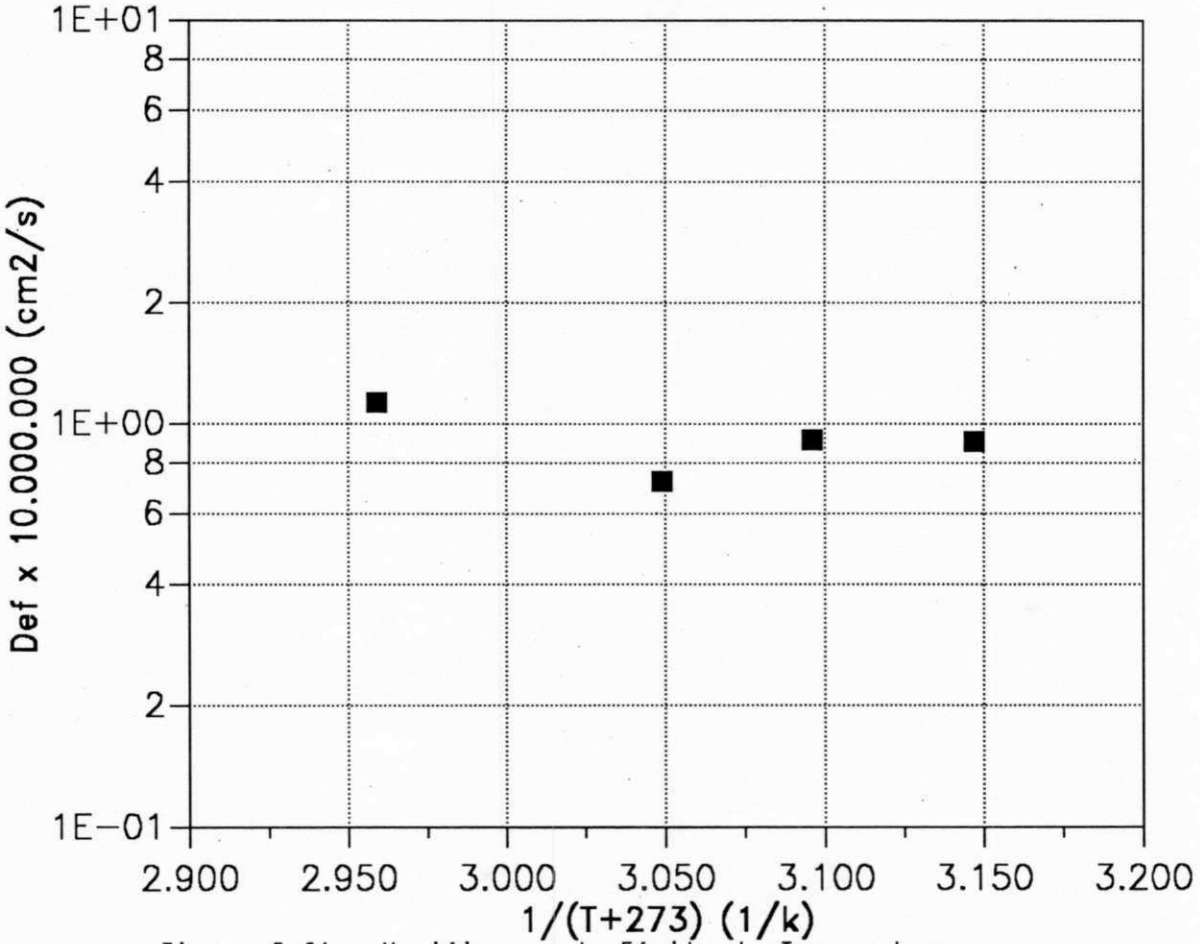


Figura 5.21 - Verificacao do Efeito da Temperatura no Coeficiente de Difusao

CONCLUSÕES

Para estabelecer uma faixa de operação do equipamento de leite de jorro, foram estudados os dados experimentais obtidos no secador nas diversas situações operacionais. Foi verificado que a reumidificação do produto pelo procedimento indicado, não causou efeito no comportamento da secagem. Quanto a reprodutibilidade dos dados, pode-se afirmar que foi boa, pois os dados obtidos no equipamento são confiáveis.

Com relação ao efeito das condições de operação, foi observado o seguinte:

- A secagem ocorre no período de taxa decrescente, com controle interno à transferência de massa, pois a vazão não afeta as curvas de secagem.

- A taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura de operação e da umidade inicial do produto.

- Não foi observado efeito do comprimento do tubo centrado sobre as curvas de secagem.

- Foram observadas diferenças na evolução de umidade dos grãos oriundos das regiões Nordeste e Sudeste. O urucum do Nordeste apresentou uma tendência a secar mais rapidamente.

As curvas de secagem obtidas em leito fixo tiveram o mesmo comportamento: praticamente não houve efeito da vazão. Em comparação com as curvas obtidas em leite de jorro, pode-se afirmar que houve um pequeno desvio. Isto se justifica, pois há um maior contato do ar de aquecimento com as partículas dentro do secador de leite de jorro, permitindo assim, uma maior transferência de calor e de massa.

Quanto ao modelo, foi verificado um bom ajuste das curvas teóricas com os pontos experimentais, no entanto, os interseptos oscilaram entre 0,64 e 0,86, afastando do valor previsto de 0,608 para esfera. Mas, pode-se levar em conta o erro desse parâmetro que pode ser considerado na mesma faixa.

O equipamento proposto mostrou-se adequado para o processamento do urucum em termos do seu desempenho na secagem e da qualidade do produto final, conforme a faixa de operação: temperaura de entrado do secador de 55 °C, carga de sólido 10 Kg, vazão deve ser a ótima de jorramento e o comprimento do tubo centrado deve ser o suficiente para não ficar inferior ao nível de sólidos no secador.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A título de prosseguimento deste trabalho, sugere-se:

– Modificar o secador para alimentação contínua.

– Propor outro modelo para predizer os dados experimentais, que seja mais amplo e realístico, tomando o coeficiente de difusão em função da temperatura e da umidade das sementes.

– Estudar a hidrodinâmica do secador, estabelecendo as perdas de pressão para diversas cargas e altura máxima e mínima de jorro.

– Fazer análise de custos de operação como também seu desempenho, otimizando assim o processo.

– Estudar o rendimento do concentrado em pó obtido durante a secagem como também seu teor em bixina.

BIBLIOGRAFIA

ALSINA, O. L. S. Comunicação Pessoal.

ALSINA, O. L. S. & QUIRINO, M. H., Estudos dos Períodos de Secagem de Sabugo de Milho por Convecção Natural, Anais do XI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Rio de Janeiro, 1983a, p. 216-228.

ALSINA, O. L. S. & QUIRINO, M. H., Secagem de Resíduos Agrícolas em Bandeja, Anais do XI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Rio de Janeiro, 1983b, p. 229-237.

BARRETO, P. W., JAEGER, L. M. & MASSARANI, G., Produção de Concentrado de Bixina em Leito de Jorro III, Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, São Carlos, 1989, p. 205-213.

BATISTA, F. A. S., Urucuzeiro: Instruções Práticas para Implantação e Condução de um Plantio, EMEPA/EMATER-Pb, João Pessoa, 1988.

BATISTA, F. A. S., Urucum: Uma Planta de Muito Futuro, Reclamo, nº 20 julho, 1987.

BROOKER, D. B., BAKER-ARKEMAR, F. W. & HALL, C. W., Drying Cereal Grains, Westport, Cown, Avi, 1974.

BRUNELLO, G. & NASCIMENTO, C. A. O., Secagem de Milho em Secador A Vácuo, XI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Rio de Janeiro, 1983, p.192-201.

BRUNELLO, G., PECK, R. E. & DELLANIN, G. The Drying of Barley Malt in a Spouted Bed Dryer, Can J. Chem. Eng., 52, p. 201

CALADO, V. M. A., BISCAIA Jr., E. C. & MASSARANI, G., Secagem de Grãos em Leito de Jorro: Aplicação de um Modelo de Difusão, Anais do XV Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Vol. II, Uberlândia, 1987, p. 174-381.

CARVALHO, P. R. N., Extração de Corante do Urucum, Seminário: Corantes Naturais para Alimentos, Campinas, 1989.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M., ALMEIDA, F. A. C., & MARTINS, J. H. Curvas de Equilíbrio Higroscópico em Sementes de Algudão, Revista Nordestina de Armazenagem, NTA/CCT/UFPb, Campina Grande, 1985, p. 3-21.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M., ARAGÃO, R. F., SANTANA, E. F. & SILVA, F. A. S., Estudos da Morfologia Geométrica em Grãos, Revista Nordestina de Armazenagem, NTA/CCT/UFPb, Campina Grande, 1986, p. 3-30.

COSTA, L. D., Secagem de Bagaço de Cana em Leito Fixo, Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Química/CCT/UFPb, Campina Grande, 1988.

CORRIÇO, J. P., Urucum: O Ouro Vermelho, Manchete Rural, Nº 6 setembro, 1987.

COURA, T. L. B. & ALSINA, O. L. S., Secagem de Casca de Caroço de Algodão: Estudo Cinético em Camada Fina, Anais do V Encontro Nacional de Secagem, Lavras, 1985.

COUTINHO, P. L. A., Secagem de Soja em Leito de Jorro, Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1983.

COUTINHO, D. L. A., & MASSARANI, G., Secagem de Soja em Leito de Jorro, Revista Brasileira de Engenharia, Vol. 1, Nº1, 1982, p. 31-40.

CREMASCO, M. A. & MASSARANI, G., Secador em Batelada de Leito de Jorro para arroz III, Anais do II Congresso Latino-Americano de Transferência de calor e matéria, Volume III, São Paulo, 1986, p. 1556-1564.

CREMASCO, M. A. ROCHA, S. C. S & MASSARANI, G., Secagem de milho em Leito de Jorro, Anais do XV Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Vol II, Urbelândia, 1987, p. 382-393.

DAMASCENO, Y., Corantes: Guerras aos Sintéticos Ressuscitas os Naturais, Química e Derivados, março, (10) 1988.

FALESI, I. C., Urucuzeiro: Recomendações Básicas para Seu Cultivo, UAPAE de Belém, EMBRAPA, 1987.

FINZER, J. R. D. & KIECKBUSCH, T. G., Efeito da Vibração na Secagem de Fatias de Cebola, Anais do II Congresso Latino-Americano de Transferência de calor e matéria, Volume III, São Paulo, 1986, p. 1545-1555.

FLOOD Jr., C. A., SABBRAH, M. A., MEEKER, D. & PEART, R. M., Simulation of a Natural-Air Corn Draing System, Transaction, Vol. 15, Nº1, p. 156-159.

FOUST, A. S., WENZEL, L. A., CLUMP, C. W., MAUS, L. & ANDERSON, L. B., Princípios das Operações Unitárias, Ganabara Dois, Rio de Janeiro, 1982.

FRANCO, E. P. M., BARRETO, E. P. M. & MASSARANI, G., Produção de Concentrado de Bixina em Leito de Jorro II, Painel no XXIX Congresso Brasileiro de Química, S. Paulo, 1989.

FREIRE, J. T. & GUBULIN, J. C., Tópico Especiais de Sistema Particulados, Vol. 2, São Carlos, 1986.

FREIRE, J. T., GUBULIN, J. C. & TOBINAGA, S., Laboratório Didático de Fenômenos de Transporte para o Curso de Engenharia Química, Anais do II Congresso Latino-Americano de Transferência de calor e matéria, Volume III, São Paulo, 1986, p. 1739-1752.

GUIMARÃES, I. S., Bixina I: Aproveitamento do Resíduo do Beneficiamento do Urucum, EMBRAPA, Comunicação Técnica, Rio de Janeiro, 1983.

GUIMARÃES, I. S., BARBOSA, A. L. S. & MASSARANI, G. "Nota sobre a Produção de Concentrado de Bixina em Leito de Jorro", Anais do XVI Encontro Nacional sobre Escoamento em Meios Porosos, Petrópolis, 1988, p. 253-257.

GUNTHER, P. A. S., BRUNELLO, G. & TEIXEIRA, M. H., Secagem de Grãos de Arroz com Casca em Monocamada, Estudo de Modelo Cinético,

Anais do XI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Rio de Janeiro, 1983, p.202-215.

LUIKOV, A. V., Heat end Mass Transfer in Capillary Porous Bodies, Pergamon Press, New York, 1966.

KITIC, D. Estudo sobre Trasferência de Calor y Materia en el Secador en Lecho Fluidizado, Tese de Doutorado, Universidade de Buenos Aires, 1982.

KULKE, K. R. & GUBULIN, J. C., Leito de Jorro com Aeração Complementar, Aspectos de Secagem, Anais do XV Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Vol II, Urbelândia, 1987, p. 363

MARIZ, T. F. Secagem de Casca de Caroço de Algodão em Leito Fixo, Dissertação Apresentada ao Curso de Mestrado de Engenharia Química / CCT / UFPb, Campina Grande, 1986.

MARIZ, T. F., ALSINA, O. L. S., SILVA, G. F, SANTOS, E. S. & VIEIRA, A. G. F. Comunicação Pessoal, 1991.

MARTINS, J. H. & CAVALCANTI MATA, M. E. R. M., Introdução à Teoria e Simulação Matemática de Secagem de Grãos, Núcleo de Tecnologia em Armazenagem / CCT / UFPb, Campina Grande, 1984

MATHUR, K. B. & EPSTEIN, N., Spouted Beds, Academic, Press, New York,

MATHUR, K. B. & GISHLER, P. E., A Technique for Contecting Gases With Cearse Solid Particles, A.I.CH.E. Journal 1, 2, 157, 1955.

MELLO, A. A. A. & LIMA, L. C. F., Urucum: Situação atual e Pespectiva Região Norte e Nordeste, Seminário: Corantes Naturais para Alimentos, Campinas, 1989.

MELO, A. M. L. & CAVALCANTI, H. B., Comunicação Pessoal, 1991.

MISRA, R. N. & YOUNG, J. H., Numerical Solution of Simultanious Mositure Difusion and Schinkage Durine Soybean Drying, Transactions of the ASAE, 23 Nº5, p. 1277.

MORAIS NETO, J. M., Parâmetros Básicos de Feijão Carioquinha Necessários ao Modelamento Matemático de Secagem em Camada Espessa, Dissertação Apresentada ao Curso de Mestrado em Eng. Agrícola /CCT/UFPb, Campina Grande, 1991.

OLIVEIRA, V. P., Urucum: Situação Atual e Perspectivas Região Sul e Sudeste, Seminário: Corantes Naturais para alimentos, Campinas, 1989

PEDROZA, J. P., Estudo de Danos Mecânicos sobre Propriedades Físicas de Grãos de Milho, Dissertação Apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola / CCT / UFPb, Campina Grande, 1991.

PERRY & CHILTON, Manual do Engenheiro Químico, 5ªEdição, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.

PINHEIRO, N. F. L. L., SILVA, G. F. & ALSINA, O. L. S., "Secagem de Urucum em Leito de Jorro", Anais do XVIII Encontro Nacional sobre Escoamento em Meios Porosos, Nova Friburgo, p. 389-399, 1990.

ROMERO, J. T. & MENEGALLI, F. C., Cinética de Secagem de Proteína Texturizada de Soja, Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, P. 569-578, 1989

SILVA, G. F., Comunicação Pessoal, 1991.

SILVA, E. L. & FREIRE, J. T., Transferência de Calor em Leito de Jorro Convencional e com Tubo Draft, Anais do XV Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Vol I, Urbelândia, 1987, p. 192-211

STEFFE, J. F. & SINGH, R. P., Liquid Diffusivity of Rough Rice Componentes, Transactions of the ASAE, Vol 23, Nº3, Geral Edition, Michigan, 1980, p. 767-774.

THOMPSON, T. L., PEART, R. M. & FOSTER, G. H., Mathematical Simulation of Corn Drying - A New Model, Transactions of the ASAE, 4(11), p. 582-586, 1968.

THOMPSON, T. L., Simulation For Optinas Grain-Draerdusign, Transactions of the ASAE, 13(6), p. 844-858, 1970.

VASCONCELOS, L. G. S., Simulação de Secagem de Feijão em Fluxo Cruzado, Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Eng. Química /CCT/UFPb, Campina Grande, 1990.

WHITAKER, S., Simultaneuos Heat, Mass and Momentum Transfer Porous Media: a Theory of Drying in Advances in Heat Transfer, Academic Press, 1977.

WHITAKER, T. B. & YOUNG, J. H., Simulation of Moisture in Peanut Kernels: Evaluation of the Diffusion Equation, Transactions of the ASAE, 15(1), p. 163-166, 1972.

WILHELM, L. R., Numerical Calculation of Psychrometric Properties in SI Units, Transactions of the ASAE, (19) 1976, p. 318-325-

YOUNG, J. H. & WHITAKER, T. B., Numerical Analysis of Vapor Diffusion in a Porous Composte Sphere With Concentric Shills, Transactions of the ASAE, 14(6), p. 1051, 1971.

ZAPOLA, P. A. S., TAVARES; F. W. & OLIVEIRA, D. T., Estudo da Secagem de Sólido em Leito Diferencial, Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos.

APÊNDICE A

SUB-ROTINA RESULTADOS EXPERIMENTAIS

```
//GABRIEL  JOB MSGCLASS=H
// EXEC WATFOR
ÇJOB        X,TIME=40,PAGE=100
   1        REAL TEMPO(30), PPRAT(30, 5), PPMAU(30,5), PPMAS(30,5),
           *    UBSM(30), UBSSM(30), UABS(30), UABSS(30), PPRATP(5),
           *    PPMAUP(5),PPMASP(5), UBSMP, TENTRV(30),
           *    TS1BUV(30), TS1BSV(30), TS2BSV(30),  TS3BSV(30),  TSOLDV(30),
           *    TENTRC(30), TS1BUC(30), TS1BSC(30),  TS2BSC(30),  TS3BSC(30),
           *    TSOLDC(30),TS1BSP(30),TSOLDP(30),ZERO(50),UR(50),
           *    INTC(50), INCL(50), LNU(30), TAMB(50), TENT(50),
           *    UO(50),UE(50),PDASE(50), PDOPO(50), VZ(50), DTC(50)
   2        CHARACTER*10  PARE*4,IMPRES*3,OPCAO*3,GERAL*3,ORSEM(50),CDUMD(50)
   3        INTEGER NU(50),N1,N2,DIA,MES,ANO,NINF(50),NSUP(50),X(50),TSEC(50)
   4        K = 0
   5   10   CONTINUE
   6        IMPRES = 'SIM'
   7        OPCAO  = 'SIM'
   8        GERAL  = 'SIM'
   9        K      = K + 1
  10        READ(5,*) NU(K), N1, N2, NINF(K), NSUP(K), DIA, MES, ANO
  11        READ(5,*) TAMB(K),ZERO(K),UE(K),UR(K),PDASE(K),PDOPO(K)
  12        READ(5,*) VZ(K),DTC(K),ORSEM(K),CDUMD(K),TSEC(K)
  13        READ(5,*) (TEMPO(I), TENTRV(I),  TS1BUV(I),  TS1BSP(I), TS2BSV(I),
           *TS3BSV(I), TSOLDP(I),I=1,N2)
  14        READ(5,*) (TEMPO(I),(PPRAT(I,J), PPMAU(I,J), PPMAS(I,J), J=1, N1),
           *I=1,N2)
  15        READ(5,*) (PPRATP(J), PPMAUP(J), PPMASP(J), J=1, N1)
  16            CALL CALCUL(N1,N2,PPRAT,PPMAU,PPMAS,UBSM, UABS, LNU,  UBSMP,
           *              PPRATP, PPMAUP, PPMASP, TENTRV, TS1BUV,  TS1BSP,
           *              TS2BSV, TS3BSV, TSOLDP, TENTRC, TS1BUC,  TS1BSC,
           *              TS2BSC, TS3BSC, TSOLDC, TS1BSV, TSOLDV, TAMB(K),
           *              TENT(K), UE(K), ZERO(K))
  17            CALL REGLIN(NINF(K),NSUP(K),TEMPO,LNU,INTC(K),INCL(K))
  18        INTC(K)  = EXP(INTC(K))
  19            CALL SIMULA(N2, TEMPO, UBSM, UABS, INTC(K), INCL(K),  UBSSM,
           *              UABSS, UE(K))
  20        UE(K)  = UE(K)*100
  21        UO(K)  = UBSM(1)*100
  22        INCL(K) = INCL(K)*100
  23        IF (OPCAO .EQ.'SIM')THEN DO
  24        IF (IMPRES.EQ.'SIM') THEN DO
  25            CALL IMPRI1(TEMPO,PPRAT,PPMAU,PPMAS,UBSM,UBSSM, UABS, UABSS,
           *              PPRATP,PPMAUP,PPMASP,UBSMP,TENTRV,TS1BUV,TS1BSV,
           *              TS2BSV, TS3BSV, TSOLDV, TENTRC, TS1BUC,  TS1BSC,
           *              TS2BSC, TS3BSC, TSOLDC, TAMB(K), TENT(K), UE(K),
           *              UR(K),PDASE(K),PDOPO(K),VZ(K), DTC(K), ORSEM(K),
           *              NU(K),N1,N2,NINF(K), NSUP(K), CDUMD(K), TSEC(K),
           *              UO(K), DIA, MES, ANO, INTC(K), INCL(K))
  26        ELSE DO
  27          CALL   IMPRI2(TEMPO,TENTRC,TS1BUC,TS1BSC,TS2BSC,TS3BSC,TSOLDC,
           *              UBSM, UBSSM, UABS, UABSS, NU(K), N2)
     C        CALL   IMPRI4(TEMPO,TENTRC,TS1BUC,TS1BSC,TS2BSC,TS3BSC,TSOLDC,
     C   *              UBSM,UBSSM,UABS, UABSS, TAMB(K), TENT(K), UE(K),
```

```
C     *              UR(K),PDASE(K),PDOPO(K),VZ(K), DTC(K), ORSEM(K),
C     *              NU(K),N2,NINF(K),NSUP(K),CDUMD(K),TSEC(K),UO(K),
C     *              DIA, MES, ANO, INTC(K), INCL(K))
      END IF
      END IF
      READ(5,*) PARE
      IF (PARE.NE.'FIM') GO TO 10
      IF (GERAL.EQ.'SIM') CALL IMPRI3(K,NU,TAMB,TENT,UO,UE,UR,DTC,PDASE,
     *              PDOPO,ORSEM,CDUMD,VZ,TSEC,NINF,NSUP,INTC,INCL)
      STOP
      END
C*********************************************************************
      SUBROUTINE CALCUL(N1,N2,PPRAT,PPMAU,PPMAS,UBSM, UABS, LNU, UBSMP,
     *              PPRATP, PPMAUP, PPMASP, TENTRV, TS1BUV, TS1BSP,
     *              TS2BSV, TS3BSV, TSOLDP, TENTRC, TS1BUC, TS1BSC,
     *              TS2BSC,TS3BSC,TSOLDC,TS1BSV,TSOLDV, TAMB, TENT,
     *              UE, ZERO)
      REAL TEMPO(30), PPRAT(30, 5), PPMAU(30,5), PPMAS(30,5), UBS(30,5),
     *   SUBS(30),UBSM(30), UBSSM(30), UABS(30), UABSS(30), PPRATP(5),
     *   PPMAUP(5),PPMASP(5),UBSP(5), SUBSP, UBSMP, TAMB,TENTRV(30),
     *   TS1BUV(30), TS1BSV(30), TS2BSV(30),  TS3BSV(30),  TSOLDV(30),
     *   TENTRC(30), TS1BUC(30), TS1BSC(30),  TS2BSC(30),  TS3BSC(30),
     *   TSOLDC(30), TS1BSP(30), TSOLDP(30), ZERO, STENT, UE, LNU(30)
      INTEGER N1,N2
      STENT  = 0
      DO 30 I = 1, N2
        TENTRC(I) = (TENTRV(I)-ZERO)/0.0527 + TAMB
        TS1BUC(I) = (TS1BUV(I)-ZERO)/0.0527 + TAMB
        TS2BSC(I) = (TS2BSV(I)-ZERO)/0.0527 + TAMB
        TS3BSC(I) = (TS3BSV(I)-ZERO)/0.0527 + TAMB
        TS1BSV(I) = (TS1BSP(I)*5.)/100.
        TSOLDV(I) = (TSOLDP(I)*5.)/100.
        TS1BSC(I) = TS1BSV(I)/0.0527 + TAMB
        TSOLDC(I) = TSOLDV(I)/0.0527 + TAMB
        STENT = STENT + TENTRC(I)
30    CONTINUE
        TENT = STENT/N2
      DO 60 I = 1, N2
        SUBS(I) = 0
        DO 40 J = 1, N1
          UBS(I,J) = (PPMAU(I,J)-PPMAS(I,J))/(PPMAS(I,J)-PPRAT(I,J))
40      CONTINUE
        DO 50 J = 1, N1
          SUBS(I) = SUBS(I) + UBS(I,J)
50      CONTINUE
        UBSM(I) = SUBS(I)/N1
        UABS(I) = (UBSM(I) - UE)/(UBSM(1) - UE)
        LNU(I)  = ALOG(UABS(I))
60    CONTINUE
      DO 70 J = 1, N1
        UBSP(J) = (PPMAUP(J)-PPMASP(J))/(PPMASP(J)-PPRATP(J))
70    CONTINUE
      SUBSP = 0
      DO 80 J = 1, N1
        SUBSP = SUBSP + UBSP(J)
80    CONTINUE
```

```
      UBSMP = SUBSP/N1
      RETURN
      END
      SUBROUTINE REGLIN(Z1,Z2,X,Y,A,B)
      INTEGER Z1,Z2
      REAL    X(30),Y(30),SS,SX,SY,SXQ,SXY,A,B
      SS =0
      SX =0
      SY =0
      SXQ=0
      SXY=0
      DO 20 I = Z1,Z2
        SS  = SS  + 1
        SX  = SX  + X(I)
        SY  = SY  + Y(I)
        SXQ = SXQ + (X(I))**2
        SXY = SXY + X(I)*Y(I)
20    CONTINUE
      A  = (SY*SXQ-SX*SXY)/(SS*SXQ-SX*SX)
      B  = (SS*SXY-SX*SY)/(SS*SXQ-SX*SX)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE SIMULA(N2,TEMPO,UBSM,UABS,INTC,INCL,UBSSM,UABSS,UE)
      REAL TEMPO(30),UBSM(30),UABS(30),INTC,INCL,UBSSM(30),UABSS(30)
      INTEGER N2
      UABSS(1) = UABS(1)
      UBSSM(1) = UBSM(1)
      DO 100 I = 2,N2
        UABSS(I) = INTC*EXP(INCL*TEMPO(I))
        UBSSM(I) = UABSS(I)*(UBSM(1) - UE) + UE
100   CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE IMPRI1(TEMPO,PPRAT,PPMAU,PPMAS,UBSM,UBSSM, UABS, UABSS,
     *                  PPRATP,PPMAUP,PPMASP,UBSMP,TENTRV,TS1BUV,TS1BSV,
     *                  TS2BSV, TS3BSV, TSOLDV, TENTRC, TS1BUC,  TS1BSC,
     *                  TS2BSC,TS3BSC,TSOLDC, TAMB, TENT, UE, UR, PDASE,
     *                  PDOPO,VZ,DTC,ORSEM,N,N1,N2,Z1,Z2,CDUMD,TSEC, UO,
     *                   DIA, MES, ANO, INTC, INCL)
      REAL TEMPO(30), PPRAT(30,5), PPMAU(30, 5), PPMAS(30, 5), UBSM(30),
     *   UBSSM(30),UABS(30),UABSS(30), PPRATP(5),PPMAUP(5), PPMASP(5),
     *   UBSMP,TENTRV(30),TS1BUV(30),TS1BSV(30),TS2BSV(30),TS3BSV(30),
     *   TSOLDV(30), TENTRC(30),  TS1BUC(30),  TS1BSC(30), TS2BSC(30),
     *   TS3BSC(30),TSOLDC(30),TAMB,TENT,UE,UR, PDASE, PDOPO, VZ, DTC,
     *   UO, INTC, INCL
      CHARACTER*10 ORSEM, CDUMD
      INTEGER     N,N1,N2,Z1,Z2,TSEC,DIA,MES,ANO
      WRITE(6,5) N
5     FORMAT(/,16X,49('='),/,16X,10('='),' E X P E R I E N C I A ',I2,
     *2X,10('='),/,16X,49('='))
      WRITE(6,10)
10    FORMAT(/,29X,'D A D O S  G E R A I S',/)
      WRITE(6,20) DIA,MES,ANO,TAMB,TENT,UO,UE,UR,PDASE, DTC, PDOPO, VZ,
     *          Z1, Z2, ORSEM, INTC, CDUMD, INCL, TSEC
20    FORMAT(1X,'DATA DO EXPERIMENTO .....',I2,'/',I2,'/',I4,
     *     3X,'TEMPERATURA AMBIENTE .....',F10.3,/,
```

```
*      1X,'TEMPERATURA DO AR DE ENTRADA',F10.3,
*      3X,'UMIDADE INICIAL DAS SEMENTES',F10.3,/,
*      1X,'UMIDADE DE EQUILIBRIO .....',F10.5,
*      3X,'UMIDADE RELATIVA .....',F10.3,/,
*      1X,'PESO DA SEMENTE PARA SECAR .',F10.1,
*      3X,'DIAMETRO DO TUBO CENTRADO ..',F10.3,/,
*      1X,'PESO DO PO EXTRAIDO .....',F10.3,
*      3X,'VAZAO DO AR DE SECAGEM .....',F10.1,/,
*      1X,'FAIXA DE LINEARIZACAO .....',3X,I2,' / ',I2,
*      3X,'ORIGEM DAS SEMENTES .....',3X,A7,/,
*      1X,'INTERCEPTO DA RETA .....',F10.4,
*      3X,'UMIDIFICACAO DAS SEMENTES...',3X,A7,/,
*      1X,'INCLINACAO DA RETA .....',F6.3,'E-02',
*      3X,'TEMPO DE SECAGEM .....',I10)
      WRITE(6,25)
25    FORMAT(/,25X,'D A D O S   D E   E N T R A D A',/)
      WRITE(6, 30)
30    FORMAT(1X,79('-'),/,' I TEMPO TENTR T1BUM T1SEC T2SEC T3SEC
     *TSOLD AMT P.PRA P.AM.U P.AM.S I',/1X,'I (MIN) (TEMPERATURA DE
     * ENT/SAIDA EM MILIVOLTS)      (AMOSTRAS EM GRAMAS) I')
      WRITE(6, 40) (TEMPO(I),TENTRV(I), TS1BUV(I), TS1BSV(I), TS2BSV(I),
     *TS3BSV(I),TSOLDV(I),(I,J,PPRAT(I,J),PPMAU(I,J),PPMAS(I,J),J=1,N1),
     *I=1,N2)
40    FORMAT(1X,'I----------
     *----------I',/, 1X,'I',1X,F5.1,2F7.3,F7.3,2F7.3,F7.3,
     *I3,'.',I1,F7.3,2F8.3,' I',/,1X,'I',48X,I3,'.',I1,F7.3, 2F8.3,' I')
      WRITE(6, 50) (PPRATP(J), PPMAUP(J), PPMASP(J), J=1, N1)
50    FORMAT(1X,'I',77('-'),'I',/,1X,'I',50X, 'PO1', F7.3, 2F8.3,' I',/,
     *                    1X,'I',50X, 'PO2', F7.3, 2F8.3,' I')
      WRITE(6, 60)
60    FORMAT(1X,79('-'))
      WRITE(6, 70)
70    FORMAT(/,26X,'D A D O S   D E   S A I D A',/)
      WRITE(6, 80)
80    FORMAT(1X,79('-'),/,' I TEMPO TENTR T1BUM T1SEC T2SEC T3SEC
     *TSOLD UBS UBSS UBSA UBSSA I',/,1X,'I (MIN) (TEMPERATURA
     * EM GRAUS CELSSIUS) (UMID. PERC) (UMID.ADMEN) I')
      WRITE(6, 90) (TEMPO(I),TENTRC(I), TS1BUC(I), TS1BSC(I), TS2BSC(I),
     *TS3BSC(I),TSOLDC(I),UBSM(I),UBSSM(I),UABS(I),UABSS(I),I=1,N2)
90    FORMAT(1X,'I----------
     *----------I',/,1X,'I',1X,F5.1,6F7.2,4F7.3,1X,'I')
      WRITE(6,100) UBSMP
100   FORMAT(1X,'I',77('-'),'I',/,1X,'I UMIDADES BASE SECA E BASE UMIDA
     *DO PO  = = = = = = = >',F7.3,22X,'I')
      WRITE(6,110)
110   FORMAT(1X,79('-'))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE IMPRI2(TEMPO,TENTRC,TS1BUC,TS1BSC,TS2BSC,TS3BSC,TSOLDC,
     *          UBSM, UBSSM, UABS, UABSS, N, N2)
      REAL TEMPO(30), TENTRC(30), TS1BUC(30), TS1BSC(30), TS2BSC(30),
     *  TS3BSC(30),TSOLDC(30),UBSM(30),UBSSM(30), UABS(30),UABSS(30)
      INTEGER N,N2
      WRITE(6,10) N
10    FORMAT(/,16X,49('='),/,16X,10('='),' E X P E R I E N C I A ',I2,
     *2X,10('='),/,16X,49('='))
```

```
      WRITE(6, 20)
20    FORMAT(1X,79('-'),/,' I TEMPO TENTR T1BUM T1SEC T2SEC T3SEC
     *TSOLD UBS UBSS UBSA UBSSA I',/,1X,'I (MIN) (TEMPERATURA
     * EM GRAUS CELSSIUS) (UMID. PERC) (UMID.ADMEN) I',/,
     *79('-'))
      WRITE(6, 30) (TEMPO(I),TENTRC(I), TS1BUC(I), TS1BSC(I), TS2BSC(I),
     *TS3BSC(I),TSOLDC(I),UBSM(I),UBSSM(I),UABS(I),UABSS(I),I=1,N2)
30    FORMAT(1X,'I',1X,F5.1,6F7.2,4F7.3,1X,'I')
      WRITE(6, 40)
40    FORMAT(1X,79('-'))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE IMPRI3(K,NU,TAMB,TENT,UO,UE,UR,DTC,PDASE, PDOPO, ORSEM,
     *          CDUMD,VZ,TSEC,NINF,NSUP,INTC,INCL)
      REAL TAMB(50),TENT(50),UO(50),UE(50),UR(50), PDASE(50), PDOPO(50),
     *  VZ(50),DTC(50),INTC(50),INCL(50)
      CHARACTER*10 ORSEM(50),CDUMD(50)
      INTEGER    K, NU(50),NINF(50),NSUP(50),TSEC(50)
      WRITE(6, 10)
10    FORMAT(//,24X,49('='),/,24X,10('='),3X, 'D A D O S  G E R A I S',
     *3X,10('='),/,24X,49('='))
      WRITE(6, 20)
20    FORMAT(1X,94('-'),/,1X,'I EXP TAMB TENT UINI UEQU UREL DTUB PSEM P
     *DPO ORIGSEM CONDUMD VAZAO TSEC FAIXA INTCPT INCLIN I',/
     *          ,1X,'I   (GRAUCEL) (PERC BASESEC) CM  KG
     *GR            M3/HR MIN      ADM 1/MIN*E02I')
      WRITE(6,30) (NU(I), TAMB(I), TENT(I), UO(I), UE(I), UR(I), DTC(I),
     *          PDASE(I),PDOPO(I),ORSEM(I),CDUMD(I), VZ(I), TSEC(I),
     *          NINF(I),NSUP(I),INTC(I),INCL(I),I=1,K)
30    FORMAT(1X,'I----------------------------------------------------
     *----------------------------------I',/,1X, 'I', I3, 1X, 3F5.1,
     *F5.2,4F5.1,1X,A7,1X,A7,F6.1, I5, I3, '/', I2, F7.4, F7.3, 1X, 'I')
      WRITE(6, 40)
40    FORMAT(1X,94('-'))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE IMPRI4(TEMPO,TENTRC,TS1BUC,TS1BSC,TS2BSC,TS3BSC,TSOLDC,
     *          UBSM,UBSSM,UABS,UABSS,TAMB, TENT, UE, UR, PDASE,
     *          PDOPO,VZ, DTC, ORSEM,N,N2,Z1,Z2,CDUMD, TSEC, UO,
     *          DIA, MES, ANO, INTC, INCL)
      REAL TEMPO(30), TENTRC(30), TS1BUC(30), TS1BSC(30), TS2BSC(30),
     *  TS3BSC(30),TSOLDC(30),UBSM(30),UBSSM(30), UABS(30),UABSS(30),
     *  TAMB,TENT,UE,UR, PDASE, PDOPO, VZ, DTC, UO, INTC, INCL
      CHARACTER*10 ORSEM, CDUMD
      INTEGER    N,N2,Z1,Z2,TSEC,DIA,MES,ANO
      WRITE(6,10) N
10    FORMAT(/,16X,49('='),/,16X,10('='),' E X P E R I E N C I A ',I2,
     *2X,10('='),/,16X,49('='))
      WRITE(6,15) DIA,MES,ANO,TAMB,TENT,UO,UE,UR,PDASE, DTC, PDOPO, VZ,
     *        Z1, Z2, ORSEM, INTC, CDUMD, INCL, TSEC
15    FORMAT(1X,'DATA DO EXPERIMENTO .....',I2,'/',I2,'/',I4,
     *    3X,'TEMPERATURA AMBIENTE .....',F10.3,/,
     *    1X,'TEMPERATURA DO AR DE ENTRADA',F10.3,
     *    3X,'UMIDADE INICIAL DAS SEMENTES',F10.3,/,
     *    1X,'UMIDADE DE EQUILIBRIO .....',F10.5,
     *    3X,'UMIDADE RELATIVA .....',F10.3,/,
```

```
*       1X,'PESO DA SEMENTE PARA SECAR .',F10.1,
*       3X,'DIAMETRO DO TUBO CENTRADO ..',F10.3,/,
*       1X,'PESO DO PO EXTRAIDO .....',F10.3,
*       3X,'VAZAO DO AR DE SECAGEM .....',F10.1,/,
*       1X,'FAIXA DE LINEARIZACAO .....',3X,I2,' / ',I2,
*       3X,'ORIGEM DAS SEMENTES .....',3X,A7,/,
*       1X,'INTERCEPTO DA RETA .....',F10.4,
*       3X,'UMIDIFICACAO DAS SEMENTES...',3X,A7,/,
*       1X,'INCLINACAO DA RETA .....',F6.3,'E-02',
*       3X,'TEMPO DE SECAGEM .....',I10)
170       WRITE(6, 20)
171   20  FORMAT(1X,79('-'),/,' TEMPO TENTR T1BUM T1SEC T2SEC T3SEC
     *TSOLD UBS UBSS UBSA UBSSA ',/,1X,' (MIN) (TEMPERATURA
     * EM GRAUS CELSSIUS) (UMID. PERC) (UMID.ADMEN) ',/,1X,
     *79('-'))
172       WRITE(6, 30) (TEMPO(I),TENTRC(I), TS1BUC(I), TS1BSC(I), TS2BSC(I),
     *TS3BSC(I),TSOLDC(I),UBSM(I),UBSSM(I),UABS(I),UABSS(I),I = 1,N2)
173   30  FORMAT(3X,F5.1,6F7.2,4F7.3)
174       WRITE(6, 40)
175   40  FORMAT(1X,79('-'))
176       RETURN
177       END
    ÇENTRY
```


UFPb/BIBLIOTECA/PRAIA

APÊNDICE B

EXPERIÊNCIA 01

DATA DO EXPERIMENTO	17/ 6/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	26.000
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.389
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.190	UMIDADE RELATIVA	68.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.000	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	33.430	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	51.81	28.47	35.96	39.85	38.33	26.00	0.184	1.000
10.0	56.93	28.66	43.55	40.42	39.66	39.28	0.172	0.918
20.0	56.93	29.42	46.68	43.65	42.70	44.98	0.166	0.871
30.0	55.60	29.42	47.06	44.79	43.84	46.87	0.163	0.854
40.0	56.17	29.61	47.82	45.92	44.98	47.35	0.163	0.854
50.0	55.60	29.80	48.30	46.49	45.54	48.30	0.158	0.820
60.0	55.41	29.98	48.77	46.68	45.73	48.77	0.154	0.789
70.0	56.17	30.17	48.96	47.06	45.92	48.77	0.153	0.784
90.0	55.79	30.36	48.77	47.06	46.11	49.24	0.148	0.744
120.0	56.36	30.36	48.96	47.25	46.30	49.24	0.141	0.701
150.0	56.17	30.36	48.96	47.44	46.68	49.24	0.135	0.655
180.0	56.55	30.74	48.96	47.82	46.87	49.24	0.133	0.640
240.0	56.93	31.31	49.24	48.01	47.06	49.53	0.127	0.598

EXPERIÊNCIA 02

DATA DO EXPERIMENTO	20/ 6/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	24.500
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.433
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.850	UMIDADE RELATIVA	79.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.000	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	65.540	VAZAO DO AR DE SECAGEM	190.000
ORIGEM DAS SEMENTES	NORDEST	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	54.10	25.45	32.85	31.71	30.57	24.50	0.184	1.000
10.0	53.91	27.16	40.63	37.02	36.07	37.31	0.170	0.897
20.0	54.86	28.48	44.42	41.01	40.06	40.63	0.160	0.822
30.0	55.62	28.86	47.08	43.29	42.34	44.90	0.157	0.800
40.0	55.43	29.05	47.74	44.61	43.85	45.85	0.150	0.744
50.0	55.62	29.43	48.69	45.75	44.80	47.74	0.146	0.715
60.0	55.81	29.43	48.41	46.13	45.37	48.69	0.139	0.663
70.0	56.00	29.43	49.64	47.08	46.13	49.64	0.140	0.671
90.0	55.24	29.43	50.12	47.27	46.51	50.59	0.138	0.659
120.0	55.62	29.62	50.88	48.22	47.46	51.07	0.130	0.603
150.0	55.24	29.81	51.07	48.41	47.65	51.26	0.125	0.560
180.0	55.81	30.00	51.26	48.79	48.03	51.26	0.121	0.530
240.0	55.43	30.38	51.07	48.60	49.74	51.35	0.117	0.501

EXPERIÊNCIA 03

DATA DO EXPERIMENTO	22/ 6/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	25.500
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.754
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.280	UMIDADE RELATIVA	58.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.000	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	33.680	VAZAO DO AR DE SECAGEM	146.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	53.58	24.74	34.99	35.18	34.80	25.50	0.188	1.000
10.0	55.10	26.64	42.10	39.16	38.97	37.36	0.170	0.877
20.0	55.29	27.97	44.95	42.20	41.82	43.53	0.167	0.857
30.0	55.86	28.54	45.90	44.10	43.53	45.90	0.164	0.839
40.0	56.05	29.11	46.85	45.61	44.85	47.13	0.161	0.818
50.0	56.24	29.11	47.51	46.18	45.42	47.80	0.157	0.787
60.0	54.91	29.30	47.80	46.37	45.80	48.08	0.156	0.779
70.0	56.62	29.48	48.08	46.94	46.18	48.27	0.153	0.762
90.0	56.43	29.67	48.08	46.94	46.37	48.46	0.142	0.685
120.0	56.05	29.86	48.08	47.13	46.56	48.74	0.140	0.668
150.0	55.48	29.86	48.27	47.32	46.75	48.74	0.134	0.629
180.0	55.86	30.05	48.46	47.70	46.94	49.03	0.133	0.621
240.0	56.62	30.43	48.74	48.08	47.32	49.22	0.131	0.607

EXPERIÊNCIA 04

DATA DO EXPERIMENTO	27/ 6/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	23.500
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.571
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.050	UMIDADE RELATIVA	85.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.000	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO FO EXTRAIDO	28.130	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	54.81	26.35	30.14	34.89	33.37	23.50	0.186	1.000
10.0	56.52	28.43	41.53	38.49	37.54	36.78	0.170	0.890
20.0	55.57	29.76	44.18	42.29	41.53	42.95	0.168	0.879
30.0	56.14	30.33	45.51	44.37	43.42	45.13	0.162	0.837
40.0	56.52	30.52	46.27	45.13	44.18	45.80	0.158	0.811
50.0	55.38	30.33	46.46	45.70	44.75	46.27	0.157	0.802
60.0	55.76	30.52	47.22	46.27	45.32	46.74	0.155	0.788
70.0	54.81	30.52	47.41	46.65	45.70	47.22	0.154	0.781
90.0	55.38	30.52	47.69	46.84	45.70	47.98	0.147	0.733
120.0	56.14	30.52	48.36	46.84	45.89	48.64	0.140	0.687
150.0	55.57	30.71	48.36	46.84	45.89	48.64	0.136	0.658
180.0	55.95	30.71	48.64	47.22	46.27	48.93	0.133	0.639
240.0	55.19	30.52	48.64	47.22	46.27	48.93	0.130	0.617

EXPERIÊNCIA 05

DATA DO EXPERIMENTO	29/ 6/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	24.000
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.754
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.240	UMIDADE RELATIVA	75.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.000	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	25.000
PESO DO PO EXTRAIDO	37.330	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	52.84	27.04	34.91	38.61	36.14	24.00	0.188	1.000
10.0	55.88	28.55	42.98	43.35	41.46	39.18	0.173	0.899
20.0	53.41	29.69	44.40	45.25	43.92	42.98	0.164	0.839
30.0	56.83	30.07	45.82	47.34	46.01	45.06	0.158	0.797
40.0	56.07	30.26	46.30	47.53	46.39	45.82	0.156	0.782
50.0	55.88	30.64	46.58	47.72	46.77	46.30	0.157	0.787
60.0	54.55	30.83	46.30	47.91	46.96	46.58	0.155	0.776
80.0	54.55	30.83	46.30	47.91	47.15	46.30	0.149	0.735
90.0	56.64	31.21	46.58	48.86	48.10	46.96	0.145	0.707
120.0	56.83	31.59	46.77	49.43	48.48	47.24	0.142	0.683
150.0	55.69	31.59	46.96	49.43	48.67	47.24	0.140	0.671
180.0	56.26	31.78	47.24	49.81	48.86	47.53	0.137	0.652
240.0	56.64	32.35	47.24	49.81	48.86	47.72	0.134	0.633

EXPERIÊNCIA 06

DATA DO EXPERIMENTO	30/ 6/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	24.500
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.941
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.390	UMIDADE RELATIVA	76.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	39.100	VAZAO DO AR DE SECAGEM	146.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	52.20	26.59	36.83	32.85	33.99	24.50	0.189	1.000
10.0	55.43	29.62	41.58	39.68	39.30	37.78	0.176	0.909
20.0	56.19	30.57	44.90	42.91	42.15	43.00	0.172	0.878
30.0	56.76	31.71	46.51	44.99	43.67	45.37	0.164	0.825
40.0	56.00	31.90	47.08	45.75	44.80	46.80	0.160	0.796
50.0	55.43	32.47	47.27	46.51	45.56	47.27	0.158	0.786
60.0	55.81	33.04	47.46	46.51	44.99	47.27	0.157	0.779
70.0	55.43	33.99	47.74	46.70	45.18	47.46	0.152	0.746
90.0	55.62	34.37	48.22	47.27	45.94	48.03	0.146	0.701
120.0	55.43	35.13	48.22	48.03	47.08	48.69	0.140	0.661
150.0	55.81	35.32	48.22	48.03	47.08	48.69	0.137	0.639
180.0	56.19	35.70	48.41	48.22	47.27	48.69	0.135	0.628
240.0	56.00	36.26	48.41	48.41	47.46	48.98	0.132	0.602

EXPERIÊNCIA 07

DATA DO EXPERIMENTO	1/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	24.500
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.408
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.780	UMIDADE RELATIVA	80.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO FO EXTRAIDO	55.400	VAZAO DO AR DE SECAGEM	190.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	53.53	28.48	37.78	38.92	37.21	24.50	0.184	1.000
10.0	55.43	30.76	43.00	41.20	39.87	38.73	0.173	0.915
20.0	55.81	31.71	44.42	43.85	41.77	43.48	0.163	0.847
30.0	55.62	31.71	47.27	46.13	43.67	46.80	0.160	0.822
40.0	56.38	32.47	48.69	46.51	44.42	47.74	0.157	0.800
50.0	56.19	32.66	48.69	46.89	44.80	48.22	0.158	0.806
60.0	56.19	32.85	48.69	47.65	45.56	48.41	0.152	0.765
70.0	55.24	32.47	48.69	47.46	45.56	48.69	0.154	0.783
90.0	55.24	32.47	48.98	47.46	45.56	48.69	0.142	0.692
120.0	55.05	32.47	49.36	48.22	46.70	49.36	0.140	0.673
150.0	55.43	32.66	49.64	48.60	46.89	49.64	0.134	0.633
180.0	55.81	33.04	49.64	48.60	47.08	49.93	0.130	0.606
240.0	56.19	33.61	49.64	48.60	47.08	49.93	0.125	0.564

EXPERIÊNCIA 08

DATA DO EXPERIMENTO	3/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	23.000
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	24.101
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.300	UMIDADE RELATIVA	77.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	31.880	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	55.83	26.42	36.28	36.66	34.57	23.00	0.241	1.000
10.0	55.26	29.07	41.03	39.13	37.42	33.91	0.213	0.859
20.0	55.83	29.83	43.87	42.17	40.46	39.60	0.207	0.829
30.0	56.21	29.83	45.01	43.30	41.98	42.45	0.196	0.771
40.0	55.83	29.83	46.53	44.06	42.73	43.87	0.188	0.735
50.0	55.07	29.83	45.77	44.44	43.11	44.35	0.183	0.706
60.0	55.83	29.83	45.77	44.63	43.49	44.82	0.176	0.672
70.0	55.26	29.83	45.96	45.01	43.68	45.30	0.170	0.641
90.0	55.07	30.02	45.96	45.20	44.06	45.58	0.161	0.595
120.0	55.64	30.02	46.53	45.96	44.82	46.24	0.154	0.559
150.0	55.45	30.02	46.53	45.77	44.63	46.24	0.150	0.540
180.0	55.64	30.02	46.72	46.15	45.01	46.53	0.142	0.499
210.0	55.64	30.02	46.72	46.34	45.20	46.72	0.138	0.482
240.0	55.07	30.02	46.72	46.34	45.20	46.91	0.135	0.466
270.0	55.83	30.02	46.72	46.53	45.39	47.19	0.129	0.435
300.0	55.45	30.02	46.91	46.53	45.39	47.48	0.122	0.401
330.0	55.07	30.02	46.91	46.72	45.58	47.48	0.119	0.382
360.0	55.26	30.21	46.91	46.91	45.77	47.48	0.116	0.370

EXPERIÊNCIA 09

DATA DO EXPERIMENTO	4/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	22.500
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	24.447
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.700	UMIDADE RELATIVA	85.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	20.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	53.750	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	53.24	26.30	33.89	32.37	33.89	22.50	0.244	1.000
10.0	55.52	27.05	38.44	35.40	34.07	30.56	0.240	0.979
20.0	55.52	28.19	40.34	37.68	36.54	34.36	0.236	0.956
30.0	55.90	28.57	41.48	39.58	38.06	36.26	0.227	0.911
40.0	55.14	28.57	41.95	40.15	38.63	37.68	0.220	0.878
50.0	55.71	28.95	42.42	41.29	39.77	38.63	0.218	0.865
60.0	54.19	28.95	42.42	41.29	40.34	39.39	0.216	0.854
70.0	55.71	28.95	43.18	42.04	41.10	40.05	0.202	0.783
90.0	55.71	29.14	43.85	43.18	41.85	41.29	0.189	0.720
120.0	55.90	29.33	44.32	43.75	42.23	42.61	0.168	0.615
150.0	56.09	29.71	44.51	44.70	43.37	43.37	0.168	0.615
180.0	55.14	29.71	44.80	44.89	43.75	43.85	0.161	0.579
210.0	54.57	29.90	45.08	45.46	44.70	44.32	0.159	0.570
240.0	55.14	31.42	45.74	45.84	44.89	45.08	0.159	0.568
270.0	54.38	33.70	46.22	45.84	45.08	45.74	0.144	0.493
300.0	55.52	37.49	46.69	46.22	45.46	46.22	0.137	0.455
330.0	54.76	41.67	46.69	46.41	45.46	46.69	0.133	0.435
360.0	54.95	45.08	46.69	46.60	45.84	46.69	0.127	0.406

EXPERIÊNCIA 10

DATA DO EXPERIMENTO	6/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	24.200
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	24.607
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.430	UMIDADE RELATIVA	67.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	30.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	67.400	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	55.13	25.53	31.32	34.45	32.74	24.20	0.246	1.000
10.0	55.70	25.53	34.16	35.02	33.31	28.47	0.244	0.990
20.0	54.94	25.91	38.43	36.15	34.64	31.32	0.242	0.981
30.0	56.84	27.05	40.80	38.43	37.10	34.16	0.241	0.974
40.0	56.08	27.62	41.75	39.57	38.24	35.59	0.237	0.955
50.0	55.32	27.62	42.23	40.14	38.81	36.53	0.236	0.952
60.0	54.75	27.62	42.70	40.52	39.38	37.48	0.232	0.933
70.0	56.46	27.62	42.99	40.90	39.76	37.96	0.226	0.903
90.0	54.75	27.62	43.37	41.66	40.52	38.91	0.218	0.861
120.0	54.56	27.24	43.65	42.61	41.47	39.57	0.205	0.798
150.0	54.18	27.43	43.93	43.18	42.23	40.33	0.191	0.728
180.0	55.13	27.24	44.12	43.74	42.99	40.52	0.183	0.687
210.0	54.56	27.43	44.31	44.50	43.55	41.28	0.174	0.641
240.0	56.08	27.43	44.60	45.07	44.31	42.23	0.169	0.616
270.0	56.27	27.43	45.07	45.26	44.69	42.70	0.163	0.589
300.0	56.46	27.43	45.55	46.02	45.26	43.65	0.158	0.562
330.0	56.08	28.94	45.83	46.59	45.83	44.60	0.149	0.517
360.0	54.94	37.29	45.83	46.40	45.83	45.26	0.142	0.486

EXPERIÊNCIA 11

DATA DO EXPERIMENTO	9/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	24.000
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.987
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.340	UMIDADE RELATIVA	77.700
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	49.340	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	NORDEST	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	51.32	26.47	34.44	34.82	33.30	24.00	0.190	1.000
10.0	55.31	27.98	41.08	39.18	37.09	37.76	0.172	0.880
20.0	56.26	28.36	44.68	42.41	40.70	42.22	0.165	0.828
30.0	54.93	28.74	45.06	43.73	42.41	43.92	0.153	0.749
40.0	55.88	29.12	46.01	45.44	43.73	45.35	0.146	0.704
50.0	56.83	29.12	47.24	46.01	44.49	46.58	0.149	0.722
60.0	54.93	28.93	47.24	46.01	44.68	46.77	0.141	0.665
70.0	55.69	29.12	47.53	46.58	44.87	46.96	0.143	0.680
90.0	56.26	29.12	47.91	47.15	45.82	47.53	0.133	0.612
120.0	56.07	29.12	48.19	47.34	46.20	48.19	0.129	0.586
150.0	55.12	29.12	48.48	47.53	46.58	49.14	0.122	0.538
180.0	56.07	29.12	48.67	47.72	46.58	48.86	0.116	0.493
210.0	56.83	30.07	48.67	47.91	46.96	48.86	0.115	0.490
240.0	54.17	30.64	48.48	47.72	46.58	48.67	0.112	0.469
300.0	55.69	30.07	48.48	47.91	46.77	48.67	0.105	0.422
360.0	56.64	30.64	48.48	48.10	46.96	48.86	0.101	0.391

EXPERIÊNCIA 12

DATA DO EXPERIMENTO	11/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	23.200
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	25.437
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.660	UMIDADE RELATIVA	89.500
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO FO EXTRAIDO	43.260	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	NORDEST	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	55.65	28.13	35.06	36.67	35.15	23.20	0.254	1.000
10.0	56.03	28.89	39.80	37.81	35.91	34.11	0.238	0.923
20.0	54.51	29.46	40.28	39.52	38.19	36.96	0.209	0.781
30.0	56.22	29.84	41.23	41.23	39.71	38.85	0.201	0.745
40.0	55.46	29.84	42.18	42.18	40.66	40.75	0.187	0.677
50.0	54.51	29.84	43.60	42.93	41.61	41.70	0.180	0.644
60.0	54.89	30.03	43.88	43.69	42.18	42.18	0.171	0.598
70.0	53.75	30.03	44.07	44.26	42.93	42.65	0.163	0.559
90.0	54.89	30.22	44.83	45.40	44.26	44.07	0.155	0.524
120.0	56.03	30.03	45.97	46.16	44.83	45.78	0.144	0.470
150.0	54.51	30.03	45.97	46.35	45.40	45.97	0.136	0.429
180.0	56.41	30.22	46.73	46.73	45.78	46.92	0.129	0.396
210.0	55.08	30.22	47.39	47.49	45.97	47.39	0.123	0.369
240.0	55.46	30.22	47.87	47.68	46.16	48.06	0.120	0.351
300.0	56.41	30.41	48.34	48.25	46.54	48.34	0.111	0.310
360.0	56.03	30.60	48.34	47.68	46.35	48.63	0.106	0.284

EXPERIÊNCIA 13

DATA DO EXPERIMENTO	18/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	23.800
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	12.785
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.320	UMIDADE RELATIVA	70.500
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	57.680	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	NORDEST	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	REPROCE

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	56.44	26.08	34.24	33.86	32.72	23.80	0.128	1.000
10.0	56.25	27.78	43.25	41.45	38.41	40.40	0.117	0.876
20.0	53.40	28.54	44.86	44.10	41.83	44.20	0.115	0.845
30.0	56.44	29.68	46.57	46.19	44.29	45.62	0.113	0.821
40.0	56.44	29.87	47.71	46.76	45.05	47.33	0.112	0.813
50.0	56.44	29.87	47.71	46.95	45.24	47.52	0.112	0.818
60.0	56.44	29.87	47.99	47.33	45.43	47.71	0.111	0.803
70.0	55.87	30.06	47.99	47.52	46.00	47.71	0.114	0.833
90.0	55.87	30.06	47.99	47.71	46.19	47.99	0.105	0.733
120.0	53.40	30.25	47.99	47.52	46.19	47.99	0.103	0.709
150.0	54.54	30.63	47.99	47.90	46.38	47.99	0.102	0.698
180.0	56.06	31.20	47.99	48.28	46.76	48.28	0.095	0.616
210.0	55.87	31.77	47.99	48.28	46.57	48.28	0.095	0.617
240.0	55.68	32.15	47.71	48.09	46.38	47.99	0.096	0.624
300.0	55.49	33.67	47.99	48.28	46.57	48.28	0.086	0.504
360.0	55.68	36.13	47.99	48.47	46.76	48.28	0.094	0.602

EXPERIÊNCIA 14

DATA DO EXPERIMENTO	25/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	22.500
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	35.830
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.130	UMIDADE RELATIVA	68.600
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	23.970	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	NORDEST	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	53.62	26.11	35.78	35.02	33.32	22.50	0.358	1.000
10.0	55.90	27.24	38.63	37.11	35.40	32.46	0.305	0.832
20.0	55.52	28.00	39.58	38.44	36.92	35.31	0.286	0.771
30.0	56.09	28.19	40.34	39.58	38.06	37.49	0.271	0.725
40.0	54.57	28.38	40.72	39.96	38.63	38.15	0.252	0.666
50.0	54.76	28.38	41.29	40.53	39.20	39.10	0.234	0.606
60.0	56.28	28.57	42.23	41.67	40.15	40.34	0.228	0.588
70.0	54.57	28.57	42.61	42.04	40.72	41.00	0.226	0.583
90.0	56.09	28.76	43.56	43.56	42.04	42.23	0.190	0.468
120.0	56.66	28.95	44.80	44.89	43.75	44.32	0.176	0.425
150.0	56.85	28.19	45.74	46.22	44.51	45.46	0.151	0.345
180.0	56.47	28.57	46.03	46.60	45.08	46.03	0.143	0.322
210.0	56.09	28.19	46.22	47.74	45.65	46.22	0.137	0.300
240.0	55.71	27.81	46.03	47.93	45.84	46.03	0.129	0.276
300.0	56.66	28.00	46.03	48.12	46.03	46.22	0.118	0.242
360.0	55.90	28.57	46.03	47.93	45.84	46.22	0.115	0.233

EXPERIÊNCIA 15

DATA DO EXPERIMENTO	28/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	25.400
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.857
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.150	UMIDADE RELATIVA	57.500
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	65.000
PESO DO FO EXTRAIDO	15.920	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	51.78	28.82	36.79	37.73	32.23	25.40	0.189	1.000
10.0	56.71	26.54	41.05	39.06	38.11	37.73	0.176	0.914
20.0	56.14	27.49	43.43	42.29	41.15	42.48	0.165	0.842
30.0	56.71	27.87	44.85	44.57	43.24	43.90	0.161	0.813
40.0	54.05	27.87	46.08	46.08	44.57	45.32	0.160	0.808
50.0	54.62	28.63	46.75	46.84	45.51	46.27	0.155	0.773
60.0	52.34	28.44	47.70	47.03	46.08	46.75	0.156	0.777
70.0	53.86	28.44	48.17	47.79	46.65	47.70	0.154	0.765
90.0	56.14	28.44	48.64	48.36	47.03	48.36	0.150	0.735
120.0	56.33	28.63	48.93	48.93	47.98	49.12	0.143	0.691
150.0	55.57	28.82	49.12	49.31	48.36	49.31	0.137	0.649
180.0	56.71	29.01	49.59	49.50	48.55	49.88	0.132	0.618
240.0	56.33	29.20	49.59	49.69	48.74	49.88	0.131	0.606

EXPERIÊNCIA 16

DATA DO EXPERIMENTO	30/ 7/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	23.000
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	55.000	UMIDADE INICIAL	18.319
UMIDADE DE EQUILIBRIO	4.420	UMIDADE RELATIVA	73.300
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	35.000
PESO DO PO EXTRAIDO	21.430	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	ARTIFIC

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	50.51	26.42	37.23	38.94	36.66	23.00	0.183	1.000
10.0	53.93	27.93	41.98	41.22	39.13	38.65	0.169	0.898
20.0	55.45	28.31	43.68	43.11	41.03	41.79	0.163	0.853
30.0	56.21	28.50	45.30	45.39	43.30	44.35	0.163	0.851
40.0	56.21	28.69	46.24	46.72	44.44	45.30	0.156	0.806
50.0	54.88	28.69	46.53	46.72	44.63	45.96	0.156	0.802
60.0	53.93	28.50	46.53	46.91	45.01	46.24	0.157	0.808
70.0	53.55	28.69	46.53	46.91	45.01	46.53	0.153	0.783
90.0	56.40	28.88	46.72	48.05	45.96	46.91	0.148	0.748
120.0	55.26	28.69	46.72	47.86	45.96	46.91	0.142	0.705
150.0	55.83	28.88	46.72	47.86	45.96	47.19	0.138	0.677
180.0	56.40	29.07	46.72	48.05	46.15	47.19	0.135	0.652
240.0	56.21	29.07	46.91	48.24	46.34	47.48	0.133	0.640

EXPERIÊNCIA 17

DATA DO EXPERIMENTO	7/ 8/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	23.800
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	50.000	UMIDADE INICIAL	18.750
UMIDADE DE EQUILIBRIO	6.100	UMIDADE RELATIVA	68.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	39.180	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (°C)	TENTR (min)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	48.85	26.27	34.24	35.56	34.24	23.80	0.187	1.000
10.0	49.23	26.65	38.51	36.70	35.56	35.66	0.177	0.918
20.0	49.23	27.41	42.02	39.74	38.79	40.69	0.169	0.852
30.0	50.93	27.78	43.72	41.45	40.31	43.25	0.165	0.826
40.0	52.26	27.97	44.20	42.40	41.45	43.72	0.162	0.799
50.0	51.50	27.78	44.20	42.78	41.83	44.20	0.164	0.811
60.0	49.80	27.41	43.91	42.59	41.64	44.20	0.159	0.777
70.0	51.12	27.60	44.20	42.97	42.02	44.20	0.157	0.762
90.0	51.50	28.16	45.15	44.29	43.34	44.67	0.149	0.692
120.0	50.74	28.35	44.86	44.67	43.91	45.15	0.138	0.612
150.0	50.18	28.35	45.15	44.86	44.10	45.15	0.137	0.603
180.0	50.93	28.16	45.15	44.86	44.10	45.43	0.134	0.579
240.0	52.07	27.78	45.43	45.24	44.29	45.62	0.133	0.570

EXPERIÊNCIA 18

DATA DO EXPERIMENTO	5/10/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	28.000
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	45.000	UMIDADE INICIAL	18.379
UMIDADE DE EQUILIBRIO	7.600	UMIDADE RELATIVA	46.000
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO FO EXTRAIDO	36.610	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	46.79	28.19	34.64	39.57	38.63	28.00	0.184	1.000
10.0	45.08	26.29	40.33	39.01	38.25	37.01	0.173	0.899
20.0	46.22	27.43	41.28	40.71	39.95	40.81	0.168	0.849
30.0	42.80	27.05	41.76	39.95	39.39	41.28	0.163	0.805
40.0	46.03	28.38	42.04	41.47	40.90	41.76	0.162	0.794
50.0	48.30	28.76	42.71	42.23	41.47	42.42	0.160	0.782
60.0	43.37	28.57	42.23	42.04	41.28	42.42	0.161	0.787
70.0	47.54	28.76	43.18	42.61	41.85	43.18	0.158	0.762
90.0	45.84	28.38	43.18	42.42	41.85	43.37	0.154	0.721
120.0	43.18	28.76	43.37	43.37	42.61	43.65	0.148	0.671
150.0	46.41	28.76	43.37	42.80	42.04	43.94	0.146	0.654
180.0	45.27	28.38	43.18	42.99	42.42	43.65	0.142	0.612
240.0	44.32	28.19	43.18	42.61	42.04	43.37	0.137	0.567

EXPERIÊNCIA 19

DATA DO EXPERIMENTO	6/10/ 1991	TEMPERATURA AMBIENTE	29.000
TEMPERATURA DO AR DE ENT.	65.000	UMIDADE INICIAL	18.715
UMIDADE DE EQUILIBRIO	3.610	UMIDADE RELATIVA	51.800
PESO DA SEMENTE PARA SECAR	10.00	DIAMETRO DO TUBO CENTRADO	55.000
PESO DO PO EXTRAIDO	41.550	VAZAO DO AR DE SECAGEM	167.000
ORIGEM DAS SEMENTES	SUDESTE	CONDICAO DE UMIDIFICACAO	NATURAL

TEMPO (min)	TENTR (°C)	T1BUM (°C)	T1SEC (°C)	T2SEC (°C)	T3SEC (°C)	TSOLD (°C)	UBS DEC.	UBSA DEC.
0.0	65.05	28.05	42.28	48.92	46.65	29.00	0.187	1.000
10.0	64.48	29.95	47.50	47.79	46.46	40.86	0.174	0.916
20.0	65.24	31.66	49.87	50.82	49.49	47.50	0.165	0.851
30.0	65.62	32.23	51.77	52.91	51.58	50.35	0.163	0.839
40.0	65.81	32.42	52.91	54.24	52.72	52.53	0.158	0.808
50.0	65.05	32.42	52.91	54.24	52.72	52.72	0.156	0.793
60.0	64.67	32.23	52.72	54.43	52.91	52.72	0.152	0.768
70.0	64.48	32.04	52.72	54.24	52.91	52.72	0.152	0.765
90.0	64.67	32.04	52.72	54.05	52.72	52.91	0.142	0.700
120.0	64.86	31.66	52.91	54.05	52.53	53.19	0.132	0.632
150.0	64.67	32.42	52.72	54.43	52.91	52.91	0.126	0.598
180.0	62.02	32.98	52.91	53.86	52.34	52.91	0.120	0.555
240.0	62.78	33.36	52.91	55.00	53.48	53.19	0.116	0.528

APÊNDICE C

SUB-ROTINA PTBSUR

```
//GABRIEL  JOB MSGCLASS=H
// EXEC WATFOR
ÇJOB          X,TIME=40,PAGE=20
   1        DOUBLE PRECISION TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V
   2        INTEGER, COND
      C*****************************************************************
      C=    ENTRADA: TEMPERATURA DE BULBO SECO E UMIDADE RELATIVA
      C*****************************************************************
   3        WRITE(6,10)
   4  10    FORMAT(/,5X,'TBS',5X,'TDP',5X,'TBU',5X,'U.ABS.',4X,'U.REL.',2X,
           *'ENTALPIA',2X,'VOL.ESP.')
   5        READ, TBS, UREL
   6  20    CONTINUE
   7        CALL PTBSUR(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
   8        IF (COND.EQ.0) THEN DO
   9          WRITE(6,30) TBS,TDP,TBU,W,UREL,H,V
  10  30      FORMAT(1X,3F8.2,F11.6,F8.3,F10.2,F11.6)
  11        ELSE DO
  12          WRITE(6,*) 'FORA DA FAIXA DE TEMPERATURA'
  13        END IF
  14        READ, TBS, UREL
  15        IF (TBS.LT.1000) GO TO 20
  16        STOP
  17        END
      C
      C     ESTA SUBROTINA EXECUTA EM WATFIV
      C
      C* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
  18              SUBROUTINE PTBSUR(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
      C* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
      C* * SUB-ROTINA PSICROMETRICA TEMP. DE BULBO SECO E UMIDADE RELATIVA *
      C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
      C
      C       A SUBROUTINE PTBSUR EH USADA PARA CALCULAR OS PARAMETROS
      C  PSICROMETRICOS DANDO COMO ENTRADA A TEMPERATURA DE BULBO SECO E
      C  UMIDADE RELATIVA. OS PARAMETROS SAO DETERMINADOS EM UNIDADES SI.
      C
      C          CHAMADA:   CALL PTBSUR(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
      C
      C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* INSTITUICAO *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
      C
      C                 UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
      C                 CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
      C                 DEPARTAMENTO DE ENG. QUIMICA
      C                 CAMPUS II / CAMPINA GRANDE / PB
      C
      C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* REFERENCIAS *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
      C
      C  WILHELM, L. R., "NUMERICAL CALCULATION OF PSYCHROMETRIC  PROPERTIES
      C     IN SI UNITS" TRASACTIONS DA ASAE,1976,PP.318-325
      C
      C  BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., E HALL, C. W., "DRYING CEREAL
      C     GRAINS, WESTPORT, CONNECTICUT, THE AVI PUBLISHING CO. INC, 1974
```

```
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* PROGRAMADOR *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C                GABRIEL FRANCISCO DA SILVA
C              ALUNO DO MESTRADO DE ENG. QUIMICA
C                    EM  04/07/1991
C
C PROIBIDA A COPIA DESTA SUBROTINA. SOMENTE COM AUTORIZACAO DO MESMO.
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* VARIAVEIS  DECLARADAS *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C TBS   - TEMPERATURA  DE BULBO SECO EM GRAUS CELSIUS, VARIAVEL  TIPO
C       DOUBLE PRECISION.
C KTBS  - TEMPERATURA  DE BULBO  SECO EM KELVIN, VARIAVEL TIPO
C       DOUBLE PRECISION.
C TBU   - TEMPERATURA DE BULBO UMIDO EM GRAUS CELSIUS, VARIAVEL  TIPO
C       DOUBLE PRECISION.
C KTBU  - TEMPERATURA DE BULBO  UMIDO EM KELVIN, VARIAVEL TIPO
C       DOUBLE PRECISION.
C TDP   - TEMPERATURA NO PONTO DE ORVALHO EM GRAUS  CELSIUS, VARIAVEL
C       TIPO DOUBLE PRECISION.
C KTDP  - TEMPERATURA NO PONTO DE ORVALHO EM  KELVIN,  VARIAVEL  TIPO
C       DOUBLE PRECISION.
C P     - PRESSAO ATMOSFERICA EM KILO PASCAL,  VARIAVEL  TIPO  DOUBLE
C       PRECISION.
C R     - CONSTANTE DOS GASES IDEAIS PARA O AR ATMOSFERICO,  VARIAVEL
C       TIPO DOUBLE PRECISON.
C PWSS  - PRESSAO DE SATURACAO NA TEMPERATURA DE BULBO SECO  EM  KILO
C       PASCAL, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISON.
C PWSU  - PRESSAO DE SATURACAO NA TEMPERATURA DE BULBO UMIDO EM  KILO
C       PASCAL, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISON.
C WSS   - UMIDADE ABSOLUTA NA TEMPERATURA  DE  BULBO  SECO,  VARIAVEL
C       TIPO DOUBLE PRECISON.
C WSU   - UMIDADE ABSOLUTA NA TEMPERATURA DE  BULBO  UMIDO,  VARIAVEL
C       TIPO DOUBLE PRECISON.
C W     - UMIDADE ABSOLUTA, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISION.
C PW    - PRESSAO DE VAPOR  EM  KILO  PASCAL,  VARIAVEL  TIPO  DOUBLE
C       PRECISION.
C UREL  - UMIDADE RELATIVA DECIMAL, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISION.
C H     - ENTALPIA ESPECIFICA EM JOULE/GRAMA, VARIALVEL  TIPO  DOUBLE
C       PRECISION.
C V     - VOLUME ESPECIFICO EM  METROCUBICO/KILOGRAMA, VARIAVEL  TIPO
C       DOUBLE PRECISION.
C COND  - VARIAVEL INTEIRA, CONDICAO QUE INDICA:
C       0 - A TEMPERATURA(BULBO SECO OU UMIDO) ESTA DENTRO DA FAIXA
C         DE VALIDADE DAS EQUACOES.
C       1 - A TEMPERATURA ESTA FORA DA FAIXA.
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* PROGRAMA  EXEMPLO *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C     DOUBLE PRECISION TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V
C*************************************************************
C=    ENTRADA: TEMPERATURA DE BULBO SECO E UMIDADE RELATIVA
C*************************************************************
C     WRITE(6,10)
C10   FORMAT(/,5X,'TBS',5X,'TDP',5X,'TBU',5X,'U.ABS.',4X,'U.REL.',2X,
```

```
C    *'ENTALPIA',2X,'VOL.ESP.')
C     READ, TBS, UREL
C20   CONTINUE
C     CALL PTBSUR(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
C     IF (COND.EQ.0) THEN DO
C       WRITE(6,30) TBS,TDP,TBU,W,UREL,H,V
C30     FORMAT(1X,3F8.2,F11.6,F8.3,F10.2,F11.6)
C     ELSE DO
C       WRITE(6,*) 'FORA DA FAIXA DE TEMPERATURA'
C     END IF
C     READ, TBS, UREL
C     IF (TBS.LT.1000) GO TO 20
C     STOP
C     END
C
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C     INICIO DA SUBROUTINA
C
      DOUBLE PRECISION TBS,TBU,KTBS,KTBU,P,R,PWSU,WSU, PWSS, WSS, W, PW,
     *                 UREL,ALFA,TDP,H,V,A,B,XTOL,FTOL
      EXTERNAL F
      INTEGER IER,COND
      P    = 0.101325D03
      R    = 0.28705D00
      COND = 0
      XTOL = 0.1D-4
      FTOL = 0.1D-6
      ITMAX= 100
      KTBS = TBS + 0.27316D03
      A    = 0.22316D03
      B    = KTBS
      IF ((TBS.GE.(-0.50D02)).AND.(TBS.LT.0.120D03)) THEN DO
        IF (KTBS.LT.0.27316D03) THEN DO
          PWSS = DEXP(0.242779D02  -  0.623864D04/KTBS -  0.344438D00
     *          DLOG(KTBS))
        ELSE DO
          IF (KTBS.GE.0.27316D03) THEN DO
            PWSS = DEXP(( -0.751152D04/KTBS)  +  0.8963121D02       +
     *              0.023998970D00*KTBS  -  1.1654551D-05*KTBS**2    -
     *              1.2810336D-08*KTBS**3  +  2.0998405D-11*KTBS**4  -
     *              12.150799*DLOG(KTBS))
          END IF
        END IF
        PW   = PWSS * UREL
        W    = 0.62198D0 *(PW/(P - PW))
        ALFA = DLOG(PW)
        IF (TBS.LT.0) THEN DO
          TDP = 0.5994D01 + 0.1241D02*ALFA + 0.4273D00*ALFA**2
        ELSE DO
          IF ((TBS.GE.0).AND.(TBS.LT.0.50D02)) THEN DO
            TDP = 0.6983D01 + 0.1438D02*ALFA + 0.1079D01*ALFA**2
          ELSE DO
            IF (TBS.GE.0.50D02) THEN DO
              TDP = 0.1380D02 + 0.9478D01*ALFA + 0.1991D01*ALFA**2
```

```
50            END IF
51          END IF
52        END IF
53        H  = 0.1006D01*TBS + W*(0.2501D04 + 0.1775D01*TBS)
54        V  = (R* KTBS)*(1+ 0.16078D01*W)/P
55        CALL DREGFA(F,A,B,XTOL,FTOL,ITMAX,KTBU,KTBS,W,P,IER)
56        TBU = KTBU - 0.27316D03
57      ELSE DO
58        COND = 1
59      END IF
60      RETURN
61      END
62      SUBROUTINE DREGFA(F,A,B,XTOL,FTOL,ITMAX,ROOT,T,W,P,IER)
63      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
64         XTOLSQ = XTOL*XTOL
65         IER = 4
66         FA = F(A,T,W,P)
67         FB = F(B,T,W,P)
68         FWLAST = 0D0
69         IF ((DABS(FA).GT.FTOL) .AND. (DABS(FB).GT.FTOL)) GO TO 8
70            IER=1
71            ITMAX=0
72            ROOT=B
73            IF (DABS(FA) .LE. DABS(FB)) ROOT = A
74            RETURN
75    8     ROOT = (FB*A-FA*B)/(FB-FA)
76         FW = F(ROOT,T,W,P)
77         DO 18 I=1,ITMAX
78            IF ((FA*FB) .LT. 0.D0) GO TO 10
79               IER=5
80               GO TO 20
81    10        WR = ROOT
82            IF ((FA*FW) .GT. 0.D0) GO TO 12
83               IF ((FWLAST*FW) .GT. 0.D0) FA=FA/2.D0
84               B=WR
85               FB=FW
86               GO TO 14
87    12         IF ((FWLAST*FW) .GT. 0.D0) FB=FB/2.D0
88            A=WR
89            FA=FW
90    14         ROOT = (A*FB-B*FA)/(FB-FA)
91            FWLAST=FW
92            FW=F(ROOT,T,W,P)
93            IF (DABS(FW) .LE. FTOL) IER=3
94            IF (DABS(ROOT).LE.XTOLSQ  .AND.  IER.EQ.3) GO TO 20
95            IF (DABS(ROOT-W).LE.XTOL*DABS(ROOT)  .AND.  IER.GT.2)
     *                  IER = IER - 2
96            IF (IER .EQ. 1) GO TO 20
97    18     CONTINUE
98       RETURN
99    20     ITMAX = I
100      RETURN
101      END
102      DOUBLE PRECISION FUNCTION F(KTBU,KTBS,W,P)
103      DOUBLE PRECISION TBS,KTBS,TBU,KTBU,W,P,LPWSU1,LPWSU2,WSU
104      TBU = KTBU - 0.27316D03
```

```
105       TBS = KTBS - 0.27316D03
106       IF (KTBU.LT.0.27316D03) THEN DO
107       LPWSU1 = 0.242779D02-0.623864D04/KTBU-0.344438D00*DLOG(KTBU)
108       ELSE DO
109         IF (KTBU.GE.0.27316D03) THEN DO
110       LPWSU1 = (-0.751152D04/KTBU)+0.8963121D02+0.23998970D-01*KTBU -
      *         1.1654551D-05*KTBU**2 - 1.2810336D-08*KTBU**3+
      *         2.0998405D-11*KTBU**4 - 0.12150799D02*DLOG(KTBU)
111         END IF
112       END IF
113       WSU    = (W*(0.2501D04 + 0.1775D01*TBS - 0.4186D01*TBU) +
      *         0.1006D01*(TBS - TBU))/(0.2501D04 - 0.2411D01*TBU)
114       LPWSU2 = DLOG((WSU*P)/(0.62198 + WSU))
115       F      = LPWSU1 - LPWSU2
116       RETURN
117       END
    ÇENTRY
```

TBS	TDP	TBU	U.ABS.	U.REL.	ENTALP.	VOL.ESP.
26.00	19.61	21.57	0.014361	0.680	62.73	0.867078
24.50	20.60	21.77	0.015282	0.790	63.53	0.863979
25.50	16.60	19.59	0.011844	0.580	55.81	0.862205
23.50	20.81	21.62	0.015489	0.850	63.02	0.861356
24.00	19.27	20.76	0.014052	0.750	59.89	0.860863
24.50	19.97	21.36	0.014688	0.760	62.02	0.863173
24.50	20.81	21.91	0.015480	0.800	64.04	0.864247
23.00	18.73	20.10	0.013573	0.770	57.64	0.857319
22.50	19.83	20.67	0.014558	0.850	59.63	0.857199
24.20	17.66	19.81	0.012678	0.670	56.60	0.859581
24.00	19.84	21.13	0.014570	0.777	61.20	0.861564
23.20	21.36	21.91	0.016030	0.895	64.09	0.861215
23.80	18.09	19.95	0.013030	0.705	57.08	0.858902
22.50	16.41	18.51	0.011696	0.686	52.35	0.853345
25.40	16.37	19.43	0.011669	0.575	55.26	0.861679
23.00	17.94	19.60	0.012907	0.733	55.95	0.856421
23.80	17.51	19.59	0.012559	0.680	55.88	0.858264
28.00	15.28	19.64	0.010865	0.460	55.88	0.868079
29.00	18.06	21.50	0.013010	0.518	62.38	0.873913

SUB-ROTINA PTBSUA

```
//GABRIEL  JOB MSGCLASS=H
// EXEC WATFOR
ÇJOB         X,TIME=40,PAGE=20
   1       DOUBLE PRECISION TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V
   2       INTEGER  COND
      C*********************************************************************
      C*   ENTRADA: TEMPERATURA DE BULBO SECO E UMIDADE ABSOLUTA
      C*********************************************************************
   3       WRITE(6,10)
   4  10    FORMAT(/,5X,'TBS',5X,'TDP',5X,'TBU',5X,'U.ABS.',4X,'U.REL.',2X,
         *'ENTALPIA',2X,'VOL.ESP.')
   5       READ, TBS, W
   6  20    CONTINUE
   7       CALL PTBSUA(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
   8       IF (COND.EQ.0) THEN DO
   9         WRITE(6,30) TBS,TDP,TBU,W,UREL,H,V
  10  30      FORMAT(1X,3F8.2,F11.6,F8.3,F10.2,F11.6)
  11       ELSE DO
  12         WRITE(6,*) 'FORA DA FAIXA DE TEMPERATURA'
  13       END IF
  14       READ, TBS, W
  15       IF (TBS.LT.1000) GO TO 20
  16       STOP
  17       END
      C          .
      C    ESTA SUBROTINA EXECUTA EM WATFIV
      C
      C* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
  18            SUBROUTINE PTBSUA(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
      C* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
      C* * SUB-ROTINA PSICROMETRICA TEMP. DE BULBO SECO E UMIDADE ABSOLUTA *
      C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
      C
      C       A SUBROUTINE PTBSUA EH  USADA  PARA  CALCULAR  OS  PARAMETROS
      C  PSICROMETRICOS DANDO COMO ENTRADA A TEMPERATURA  DE  BULBO  SECO  E
      C  UMIDADE ABSOLUTA. OS PARAMETROS SAO DETERMINADOS EM UNIDADES SI.
      C
      C          CHAMADA:   CALL PTBSUA(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
      C
      C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* INSTITUICAO *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
      C
      C                 UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
      C                 CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
      C                 DEPARTAMENTO  DE  ENG.  QUIMICA
      C                 CAMPUS II / CAMPINA GRANDE / PB
      C
      C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* REFERENCIAS *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
      C
      C  WILHELM, L. R., "NUMERICAL CALCULATION OF PSYCHROMETRIC  PROPERTIES
      C     IN SI UNITS" TRASACTIONS DA ASAE,1976,PP.318-325
      C
      C  BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., E HALL, C. W., "DRYING CEREAL
      C     GRAINS, WESTPORT, CONNECTICUT, THE AVI PUBLISHING CO. INC, 1974
```

```
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* PROGRAMADOR *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C                GABRIEL FRANCISCO DA SILVA
C              ALUNO DO MESTRADO DE ENG. QUIMICA
C                    EM  12/07/1991
C
C  PROIBIDA A COPIA DESTA SUBROTINA. SOMENTE COM AUTORIZACAO DO MESMO.
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* VARIAVEIS  DECLARADAS *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C  TBS   - TEMPERATURA  DE BULBO SECO EM GRAUS CELSIUS, VARIAVEL  TIPO
C        DOUBLE PRECISION.
C  KTBS  - TEMPERATURA  DE  BULBO  SECO  EM  KELVIN,  VARIAVEL  TIPO
C        DOUBLE PRECISION.
C  TBU   - TEMPERATURA DE BULBO UMIDO EM GRAUS CELSIUS, VARIAVEL  TIPO
C        DOUBLE PRECISION.
C  KTBU  - TEMPERATURA  DE  BULBO  UMIDO  EM  KELVIN,  VARIAVEL  TIPO
C        DOUBLE PRECISION.
C  TDP   - TEMPERATURA NO PONTO DE ORVALHO EM GRAUS  CELSIUS, VARIAVEL
C        TIPO DOUBLE PRECISION.
C  KTDP  - TEMPERATURA NO PONTO DE ORVALHO EM  KELVIN,  VARIAVEL  TIPO
C        DOUBLE PRECISION.
C  P     - PRESSAO ATMOSFERICA EM KILO PASCAL,  VARIAVEL  TIPO  DOUBLE
C        PRECISION.
C  R     - CONSTANTE DOS GASES IDEAIS PARA O AR ATMOSFERICO,  VARIAVEL
C        TIPO DOUBLE PRECISON.
C  PWSS  - PRESSAO DE SATURACAO NA TEMPERATURA DE BULBO SECO  EM  KILO
C        PASCAL, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISON.
C  PWSU  - PRESSAO DE SATURACAO NA TEMPERATURA DE BULBO UMIDO EM  KILO
C        PASCAL, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISON.
C  WSS   - UMIDADE ABSOLUTA NA TEMPERATURA  DE  BULBO  SECO,  VARIAVEL
C        TIPO DOUBLE PRECISON.
C  WSU   - UMIDADE ABSOLUTA NA TEMPERATURA DE  BULBO  UMIDO,  VARIAVEL
C        TIPO DOUBLE PRECISON.
C  W     - UMIDADE ABSOLUTA, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISION.
C  PW    - PRESSAO DE VAPOR  EM  KILO  PASCAL,  VARIAVEL  TIPO  DOUBLE
C        PRECISION.
C  UREL  - UMIDADE RELATIVA DECIMAL, VARIAVEL TIPO DOUBLE PRECISION.
C  H     - ENTALPIA ESPECIFICA EM JOULE/GRAMA, VARIALVEL  TIPO  DOUBLE
C        PRECISION.
C  V     - VOLUME ESPECIFICO EM  METROCUBICO/KILOGRAMA, VARIAVEL  TIPO
C        DOUBLE PRECISION.
C  COND  - VARIAVEL INTEIRA, CONDICAO QUE INDICA:
C        0 - A TEMPERATURA(BULBO SECO OU UMIDO) ESTA DENTRO DA FAIXA
C           DE VALIDADE DAS EQUACOES.
C        1 - A TEMPERATURA ESTA FORA DA FAIXA.
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* PROGRAMA  EXEMPLO *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C     DOUBLE PRECISION TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V
C**********************************************************************
C     ENTRADA: TEMPERATURA  DE  BULBO  SECO  E  UMIDADE  ABSOLUTA
C**********************************************************************
C     WRITE(6,10)
C10    FORMAT(/,5X,'TBS',5X,'TDP',5X,'TBU',5X,'U.ABS.',4X,'U.REL.',2X,
```

```
C     *'ENTALPIA',2X,'VOL.ESP.')
C     READ, TBS, W
C20   CONTINUE
C     CALL PTBSUA(TBS,TBU,TDP,W,UREL,H,V,COND)
C     IF (COND.EQ.0) THEN DO
C       WRITE(6,30) TBS,TDP,TBU,W,UREL,H,V
C30     FORMAT(1X,3F8.2,F11.6,F8.3,F10.2,F11.6)
C     ELSE DO
C       WRITE(6,*) 'FORA DA FAIXA DE TEMPERATURA'
C     END IF
C     READ, TBS, W
C     IF (TBS.LT.1000) GO TO 20
C     STOP
C     END
C
C
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C     INICIO DA SUBROUTINA
C
      DOUBLE PRECISION TBS,TBU,KTBS,KTBU,P,R,PWSU,WSU, PWSS, WSS, W, PW,
     *                 UREL,ALFA,TDP,H,V,A,B,XTOL,FTOL
      EXTERNAL F
      INTEGER IER,COND
      P    = 0.101325D03
      R    = 0.28705D00
      COND = 0
      XTOL = 0.1D-4
      FTOL = 0.1D-6
      ITMAX= 100
      KTBS = TBS + 0.27316D03
      A    = 0.22316D03
      B    = KTBS
      IF ((TBS.GE.(-0.50D02)).AND.(TBS.LT.0.120D03)) THEN DO
        IF (KTBS.LT.0.27316D03) THEN DO
          PWSS = DEXP(0.242779D02 - 0.623864D04/KTBS - 0.344438D00*
     *           DLOG(KTBS))
        ELSE DO
          IF (KTBS.GE.0.27316D03) THEN DO
            PWSS = DEXP(( -0.751152D04/KTBS) + 0.8963121D02      +
     *             0.023998970D00*KTBS - 1.1654551D-05*KTBS**2   -
     *             1.2810336D-08*KTBS**3 + 2.0998405D-11*KTBS**4 -
     *             12.150799*DLOG(KTBS))
          END IF
        END IF
        PW   = (P*W)/(0.62198D00 + W)
        UREL = PW/PWSS
        ALFA = DLOG(PW)
        IF (TBS.LT.0) THEN DO
          TDP = 0.5994D01 + 0.1241D02*ALFA + 0.4273D00*ALFA**2
        ELSE DO
          IF ((TBS.GE.0).AND.(TBS.LT.0.50D02)) THEN DO
            TDP = 0.6983D01 + 0.1438D02*ALFA + 0.1079D01*ALFA**2
          ELSE DO
            IF (TBS.GE.0.50D02) THEN DO
              TDP = 0.1380D02 + 0.9478D01*ALFA + 0.1991D01*ALFA**2
```

```
50            END IF
51          END IF
52        END IF
53        H  = 0.1006D01*TBS + W*(0.2501D04 + 0.1775D01*TBS)
54        V  = (R* KTBS)*(1 + 0.16078D01*W)/P
55        CALL DREGFA(F,A,B,XTOL,FTOL,ITMAX,KTBU,KTBS,W,P,IER)
56        TBU = KTBU - 0.27316D03
57      ELSE DO
58        COND = 1
59      END IF
60      RETURN
61      END
62      SUBROUTINE DREGFA(F,A,B,XTOL,FTOL,ITMAX,ROOT,T,W,P,IER)
63      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
64        XTOLSQ = XTOL*XTOL
65        IER = 4
66        FA = F(A,T,W,P)
67        FB = F(B,T,W,P)
68        FWLAST = 0D0
69        IF ((DABS(FA).GT.FTOL) .AND. (DABS(FB).GT.FTOL)) GO TO 8
70          IER=1
71          ITMAX=0
72          ROOT=B
73          IF (DABS(FA) .LE. DABS(FB)) ROOT = A
74          RETURN
75   8    ROOT = (FB*A-FA*B)/(FB-FA)
76        FW = F(ROOT,T,W,P)
77        DO 18 I=1,ITMAX
78          IF ((FA*FB) .LT. 0.D0) GO TO 10
79            IER=5
80            GO TO 20
81   10       WR = ROOT
82          IF ((FA*FW) .GT. 0.D0) GO TO 12
83            IF ((FWLAST*FW) .GT. 0.D0) FA=FA/2.D0
84            B=WR
85            FB=FW
86            GO TO 14
87   12       IF ((FWLAST*FW) .GT. 0.D0) FB=FB/2.D0
88          A=WR
89          FA=FW
90   14       ROOT = (A*FB-B*FA)/(FB-FA)
91          FWLAST=FW
92          FW=F(ROOT,T,W,P)
93          IF (DABS(FW) .LE. FTOL) IER=3
94          IF (DABS(ROOT).LE.XTOLSQ  .AND.  IER.EQ.3) GO TO 20
95          IF (DABS(ROOT-W).LE.XTOL*DABS(ROOT)  .AND.  IER.GT.2)
     *              IER = IER - 2
96          IF (IER .EQ. 1) GO TO 20
97   18     CONTINUE
98        RETURN
99   20     ITMAX = I
100       RETURN
101       END
102       DOUBLE PRECISION FUNCTION F(KTBU,KTBS,W,P)
103       DOUBLE PRECISION TBS,KTBS,TBU,KTBU,W,P,LPWSU1,LPWSU2,WSU
104       TBU = KTBU - 0.27316D03
```

```
105       TBS = KTBS - 0.27316D03
106       IF (KTBU.LT.0.27316D03) THEN DO
107       LPWSU1 = 0.242779D02-0.623864D04/KTBU-0.344438D00*DLOG(KTBU)
108       ELSE DO
109         IF (KTBU.GE.0.27316D03) THEN DO
110       LPWSU1 = (-0.751152D04/KTBU)+0.8963121D02+0.23998970D-01*KTBU -
      *         1.1654551D-05*KTBU**2 - 1.2810336D-08*KTBU**3+
      *         2.0998405D-11*KTBU**4 - 0.12150799D02*DLOG(KTBU)
111         END IF
112       END IF
113       WSU    = (W*(0.2501D04 + 0.1775D01*TBS - 0.4186D01*TBU) +
      *         0.1006D01*(TBS - TBU))/(0.2501D04 - 0.2411D01*TBU)
114       LPWSU2 = DLOG((WSU*P)/(0.62198 + WSU))
115       F      = LPWSU1 - LPWSU2
116       RETURN
117       END
    ÇENTRY
```

TBS	TDP	TBU	U.ABS.	U.REL.	ENTALP.	VOL.ESP.
55.80	23.00	29.06	0.014361	0.140	93.47	0.953450
55.30	23.78	29.43	0.015282	0.152	95.35	0.953378
55.70	20.66	27.69	0.011844	0.116	86.83	0.949389
55.70	23.96	29.62	0.015489	0.151	96.30	0.954849
55.60	22.73	28.86	0.014052	0.138	92.46	0.952407
55.60	23.28	29.19	0.014688	0.144	94.12	0.953360
55.50	23.95	29.57	0.015480	0.153	96.07	0.954255
55.40	22.30	28.56	0.013573	0.135	91.01	0.951111
55.20	23.17	29.03	0.014558	0.146	93.37	0.952005
55.40	21.47	28.08	0.012678	0.126	88.69	0.949772
55.60	23.18	29.13	0.014570	0.143	93.81	0.953183
55.40	24.40	29.83	0.016030	0.159	97.40	0.954788
55.50	21.80	28.29	0.013030	0.129	89.70	0.950588
55.70	20.51	27.61	0.011696	0.115	86.44	0.949168
55.20	20.49	27.48	0.011669	0.117	85.86	0.947684
55.00	21.69	28.11	0.012907	0.131	88.87	0.948958
50.60	21.36	26.90	0.012559	0.158	83.44	0.935721
45.50	15.28	24.63	0.010865	0.177	73.82	0.918522
64.57	21.79	30.22	0.013010	0.085	98.99	0.976790

APÊNDICE D

SUB-ROTINA EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

```
//GABRIEL  JOB MSGCLASS=H
// EXEC WATFOR
ÇJOB         X,XREF,LIBLIST,TIME=40,PAGE=50
   1        INTEGER Z,Z1,Z2
   2        REAL   X(100),Y(100),SS,SX,SY,SXQ,SXY,
           *       INTC,INCL,UE(100),UR(100)
   3        CHARACTER FIM*5
   4  1     READ, Z,Z1,Z2
   5        WRITE(6,10)
   6  10    FORMAT(13X,'Ur',15X,'Ue',8X,'LN(-LN(1-UR))',8X,'LN(UE) (PRATICO)')
   7        DO 20 I = 1, Z
   8          READ, UR(I),UE(I)
   9          Y(I) = ALOG(UE(I))
  10          X(I) = ALOG(-ALOG(1-UR(I)))
  11          WRITE(6,25) UR(I),UE(I),X(I),Y(I)
  12  25      FORMAT(10X,F7.4,10X,F7.4,10X,F7.4,10X,F7.4)
  13  20    CONTINUE
  14        CALL REGLIN(Z1,Z2,X,Y,A,B)
  15        WRITE(6,80) A,B
  16  80    FORMAT(/,5X,'INTERCEPTO DA RETA = = > ',E12.4,/,
           *        5X,'INCLINAçãO DA RETA = = > ',E12.4,/)
  17        WRITE(6,88)
  18  88    FORMAT(13X,'UR',15X,'UE (TEORICO)')
  19        DO 90 I  = 1,40
  20          UR(I) = I/50.
  21          UE(I) = EXP(ALOG(A) + B*(ALOG(-ALOG(1-UR(I)))))
  22          WRITE(6,100) UR(I),UE(I)
  23  100     FORMAT(10X,F7.4,10X,F7.4)
  24  90    CONTINUE
  25        READ, FIM
  26        IF (FIM.NE.'PARE') GOTO 1
  27        STOP
  28        END
     C* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
  29                SUBROUTINE REGLIN(N1,N2,X,Y,INTC,INCL)
     C* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
     C* * * * * * * * * * SUBROUTINE  REGRESSãO  LINEAR * * * * * * * * * *
     C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
     C                                                    *
     C       CHAMADA: CALL REGLIN(NOME, T, PV, CES)                  *
     C                                                    *
     C                                                    *
     C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* INSTITUICAO *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
     C                                                    *
     C                                                    *
     C               UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA                *
     C               CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA              *
     C               DEPARTAMENTO  DE  ENG.  QUIMICA              *
     C               CAMPUS II / CAMPINA GRANDE / PB            *
     C                                                    *
     C                                                    *
     C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* PROGRAMADOR *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
     C                                                    *
```

```
C                                                                      *
C                  GABRIEL FRANCISCO DA SILVA                          *
C                ALUNO DO MESTRADO DE ENG. QUIMICA                     *
C                      EM  11/04/1991                                  *
C                                                                      *
C  PROIBIDA A COPIA DESTA SUBROTINA. SOMENTE COM AUTORIZACAO DO MESMO. *
C                                                                      *
C                                                                      *
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-* PROGRAMA  EXEMPLO *-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C                                                                      *
C     INTEGER Z,Z1,Z2                                                  *
C     REAL    TEMPO(99),U(99),UBS(99),UE,UO,INTC,INCL                  *
C     READ, Z,Z1,Z2,UO,UE                                              *
C     WRITE(6,10)                                                      *
C10   FORMAT(//,8X,'TEMPO(MIN)',4X,'U.BASE SECA(%)')                   *
C     DO 20 I = 1, Z                                                   *
C       READ, TEMPO(I),UBS(I)                                          *
C       WRITE(6,30) TEMPO(I),UBS(I)                                    *
C30   FORMAT(10X,F5.1,10X,F6.3)                                        *
C20   CONTINUE                                                         *
C     CALL REGLIN(Z,Z1,Z2,UE,UO,TEMPO,UBS,U,INTC,INCL)                 *
C     WRITE(6,40)                                                      *
C40   FORMAT(//,8X,'TEMPO(MIN)',4X,'U*(ADMENSIONAL)')                  *
C     DO 50 I = 1,Z                                                    *
C       WRITE(6,60) TEMPO(I),U(I)                                      *
C60     FORMAT(10X,F5.1,10X,F6.3)                                      *
C50   CONTINUE                                                         *
C     WRITE(6,80) INTC,INCL                                            *
C80   FORMAT(//,5X,'INTERCEPTO DA RETA = = > ',E12.4,/,                 *
C    *        5X,'INCLINAçãO DA RETA = = > ',E12.4,/)                  *
C     STOP                                                             *
C     END                                                              *
C                                                                      *
C*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
C
C    INICIO DA SUBROUTINA
C
      INTEGER Z1,Z2
      REAL  X(100),Y(100),SS,SX,SY,SXQ,SXY,INTC,INCL
      SS = 0
      SX = 0.
      SY = 0.
      SXQ= 0.
      SXY= 0.
      DO 20 I = N1,N2
        SS  = SS  + 1
        SX  = SX  + X(I)
        SY  = SY  + Y(I)
        SXQ = SXQ + (X(I))**2
        SXY = SXY + X(I)*Y(I)
20    CONTINUE
      INTC = EXP((SY*SXQ-SX*SXY)/(SS*SXQ-SX*SX))
      INCL = (SS*SXY-SX*SY)/(SS*SXQ-SX*SX)
      RETURN
      END
ÇENTRY
```

TEMPERATURA 15 C

UR	UE	LN(-LN(1-UR))	LN(UE) (PRATICO)
0.4310	0.1363	-0.5729	-1.9929
0.2980	0.1090	-1.0390	-2.2164
0.0862	0.0953	-2.4064	-2.3507
0.0713	0.0806	-2.6041	-2.5183
0.0227	0.0802	-3.7739	-2.5232

INTERCEPTO DA RETA = = > 0.1371E 00
INCLINAçãO DA RETA = = > 0.1603E 00

UR	UE (TEORICO)
0.0200	0.0734
0.0400	0.0821
0.0600	0.0878
0.0800	0.0921
0.1000	0.0956
0.1200	0.0986
0.1400	0.1012
0.1600	0.1036
0.1800	0.1058
0.2000	0.1078
0.2200	0.1097
0.2400	0.1114
0.2600	0.1131
0.2800	0.1147
0.3000	0.1162
0.3200	0.1177
0.3400	0.1191
0.3600	0.1205
0.3800	0.1218
0.4000	0.1231
0.4200	0.1244
0.4400	0.1256
0.4600	0.1269
0.4800	0.1281
0.5000	0.1293
0.5200	0.1305
0.5400	0.1317
0.5600	0.1328
0.5800	0.1340
0.6000	0.1352
0.6200	0.1364
0.6400	0.1376
0.6600	0.1388
0.6800	0.1400
0.7000	0.1413
0.7200	0.1425
0.7400	0.1438
0.7600	0.1452
0.7800	0.1465
0.8000	0.1480

TEMPERATURA 30 C

UR	UE	LN(-LN(1-UR))	LN(UE) (PRATICO)
0.5116	0.1242	-0.3332	-2.0859
0.2875	0.0960	-1.0818	-2.3434
0.0857	0.0701	-2.4124	-2.6578
0.0266	0.0679	-3.6134	-2.6897

INTERCEPTO DA RETA = = > 0.1226E 00
INCLINAçãO DA RETA = = > 0.1859E 00

UR	UE (TEORICO)
0.0200	0.0594
0.0400	0.0677
0.0600	0.0731
0.0800	0.0773
0.1000	0.0807
0.1200	0.0837
0.1400	0.0863
0.1600	0.0886
0.1800	0.0908
0.2000	0.0928
0.2200	0.0947
0.2400	0.0964
0.2600	0.0981
0.2800	0.0997
0.3000	0.1013
0.3200	0.1027
0.3400	0.1042
0.3600	0.1056
0.3800	0.1069
0.4000	0.1083
0.4200	0.1096
0.4400	0.1108
0.4600	0.1121
0.4800	0.1133
0.5000	0.1146
0.5200	0.1158
0.5400	0.1170
0.5600	0.1182
0.5800	0.1195
0.6000	0.1207
0.6200	0.1219
0.6400	0.1231
0.6600	0.1244
0.6800	0.1257
0.7000	0.1270
0.7200	0.1283
0.7400	0.1296
0.7600	0.1310
0.7800	0.1325
0.8000	0.1340

TEMPERATURA 40 C

UR	UE	LN(-LN(1-UR))	LN(UE) (PRATICO)
0.6925	0.1473	0.1649	-1.9153
0.4691	0.1167	-0.4570	-2.1481
0.3239	0.0831	-0.9380	-2.4877
0.1484	0.0710	-1.8286	-2.6451
0.0171	0.0598	-4.0601	-2.8167

INTERCEPTO DA RETA = = > 0.1204E 00
INCLINAçãO DA RETA = = > 0.2007E 00

UR	UE (TEORICO)
0.0200	0.0550
0.0400	0.0634
0.0600	0.0689
0.0800	0.0731
0.1000	0.0767
0.1200	0.0797
0.1400	0.0824
0.1600	0.0848
0.1800	0.0870
0.2000	0.0891
0.2200	0.0911
0.2400	0.0929
0.2600	0.0946
0.2800	0.0963
0.3000	0.0979
0.3200	0.0995
0.3400	0.1009
0.3600	0.1024
0.3800	0.1038
0.4000	0.1052
0.4200	0.1066
0.4400	0.1079
0.4600	0.1093
0.4800	0.1106
0.5000	0.1119
0.5200	0.1132
0.5400	0.1144
0.5600	0.1157
0.5800	0.1170
0.6000	0.1183
0.6200	0.1196
0.6400	0.1209
0.6600	0.1223
0.6800	0.1236
0.7000	0.1250
0.7200	0.1264
0.7400	0.1278
0.7600	0.1293
0.7800	0.1309
0.8000	0.1325

TEMPERATURA 50 C

UR	UR	LN(-LN(1-UR))	LN(UE) (PRATICO)
0.4920	0.0979	-0.3897	-2.3238
0.2311	0.0661	-1.3364	-2.7166
0.0735	0.0553	-2.5725	-2.8950
0.0604	0.0470	-2.7758	-3.0576
0.0337	0.0290	-3.3732	-3.5405

INTERCEPTO DA RETA = = > 0.1141E 00
INCLINAçãO DA RETA = = > 0.3521E 00

UR	UE (TEORICO)
0.0200	0.0289
0.0400	0.0370
0.0600	0.0428
0.0800	0.0476
0.1000	0.0516
0.1200	0.0553
0.1400	0.0586
0.1600	0.0617
0.1800	0.0645
0.2000	0.0673
0.2200	0.0699
0.2400	0.0724
0.2600	0.0748
0.2800	0.0771
0.3000	0.0793
0.3200	0.0816
0.3400	0.0837
0.3600	0.0859
0.3800	0.0880
0.4000	0.0900
0.4200	0.0921
0.4400	0.0942
0.4600	0.0962
0.4800	0.0982
0.5000	0.1003
0.5200	0.1023
0.5400	0.1044
0.5600	0.1064
0.5800	0.1085
0.6000	0.1106
0.6200	0.1128
0.6400	0.1149
0.6600	0.1172
0.6800	0.1194
0.7000	0.1218
0.7200	0.1242
0.7400	0.1267
0.7600	0.1293
0.7800	0.1320
0.8000	0.1349