

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**CINÉTICA DE SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA" EM
MONOCAMADA**

ILZA MARIA DO NASCIMENTO BRASILEIRO

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

1999



**CINÉTICA DE SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA" EM
MONOCAMADA**

ILZA MARIA DO NASCIMENTO BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: OPERAÇÕES E PROCESSOS

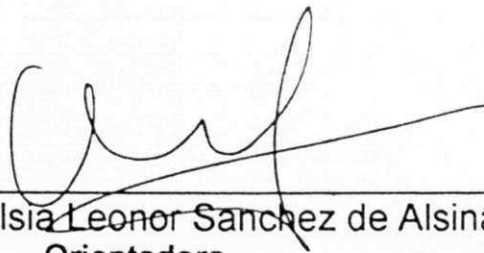
ORIENTADORA: Prof^a D. S.c ODELSIA LEONOR SÁNCHEZ DE ALSINA

CAMPINA GRANDE

1999

CINÉTICA DE SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA" EM
MONOCAMADA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26 / 03 / 1999



Profª Drª Odelsia Leonor Sanchez de Alsina
Orientadora



Profª Drª Ana Lúcia de Medeiros Lula da Mata
Examinadora



Prof. Dr. Luis Gonzaga Sales Vasconcelos
Examinador

Campina Grande, Março de 1999

DEDICATÓRIA

A Deus, por tudo que tenho e que sou.
A meus pais, meus irmãos e
especialmente a meus filhos Lucas(in
memorian), Angelo, José Lucas e
meu esposo Beto, pelo amor e apoio a
realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

- A Prof.^a Dr.^a Odelsia Leonor Sanchez de Alsina, pela orientação, apoio e compreensão durante todo o desenvolvimento deste trabalho.
- A coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Química, pelos serviços prestados ao curso e aos alunos de mestrado.
- A CAPES pelo incentivo à pesquisa científica.
- As secretárias do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química Maria José e Maricé por todos os serviços prestados durante todo o curso.
- A Osvaldo, pela ajuda indispensável na realização da parte experimental deste trabalho.
- A meu amigo David, pela força e carinho demonstrada nas horas mais difícil. Obrigada!
- Aos colegas do curso, Elcimar, Baraquísio, Richard, Magnus, Daniele, Lili, Delba, Josylene, Tânia, Wilma e a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.
- Luciano (esposo de Odelsia) não pense que esqueci de você, muito obrigada por tudo.

ABSTRACT

The West Indian cherry (*Malpighia emarginata DC*) also called acerola, has been cultivated in Brazil since more than fifty years ago. It has an ascorbic acid content a hundred time greater than the orange's one. Then, the West Indian cherry could be the natural solution to national vitamin C production. Almost all of the vegetable products are constituted by more than 80% water. Because of this high moisture content they are very perishable. The West Indian cherry has a moisture content by about 90%. A great portion of the West Indian cherry harvest is commercialized "in natura", needing a process to storage and trade for a longer time period. The drying is one of the most important procedures to preserve foods, by decreasing their water activity, avoiding the deterioration under the fungi and other microorganisms action. In this work it was studied the drying kinetics of the West Indian cherry "in natura" in mono layer, using a laboratory scale dryer. The effect of the drying air temperature between 60 – 90°C, drying air velocity between 0,7 – 1,5 m/s and also the shrinkage and degradation of West Indian cherry color were analyzed. In the experiments, it was confirmed that the air velocity has a little effect on the drying rate. Nevertheless, the drying rate is strongly affected by the air temperature, increasing significantly at high temperatures. The shrinkage and degradation of West Indian cherry color, was observed along the drying process, by means of pictures. Empiric equations to describe the West Indian cherry drying kinetics were proposed, including the shrinkage effect.

RESUMO

Cultivada há mais de cinquenta anos aqui no Brasil e com potencial em ácido ascórbico cem vezes superior ao da laranja, a acerola (*Malpighia emarginata* DC) poderia vir a ser a solução natural para a obtenção da vitamina C nacional. A maioria dos produtos vegetais são constituídos por mais de 80% de água, sendo facilmente perecíveis. A acerola possui um teor de umidade em torno de 90%. Como todas as frutas, grande parte da colheita de acerola é comercializada "in natura", havendo, portanto necessidade de um processo que possibilite sua armazenagem e comercialização por um maior período de tempo. A secagem é um dos procedimentos mais importantes de conservação de alimentos, por diminuição de sua atividade de água, evitando a deterioração sob a ação de fungos e outros microorganismos. Neste trabalho foi estudada a cinética de secagem de acerola "in natura" em monocamada utilizando um secador em escala de laboratório. Foi analisado o efeito da temperatura do ar de secagem entre 60 – 90°C, velocidade do ar de secagem entre 0,7 – 1,5m/s e também o encolhimento e a degradação da cor da acerola. Nos experimentos, comprovou-se que a velocidade do ar pouco influência na taxa de secagem, mas um considerável aumento da taxa de secagem foi obtido com o aumento da temperatura do ar de secagem. Observou-se o encolhimento e a degradação da cor da acerola, ao longo do processo de secagem, através de fotografias. Foram propostas equações empíricas para descrever a cinética de secagem de acerola, incluindo o efeito de encolhimento.

SIMBOLOGIA

A(1,2,5,6,7), B(5,6,7), a(1,2,3,4,5,6), b(1,2,3,4,5,6), C(7), c(5,6), D(7), d(5,6), E7, K(1,2,3,4)	Parâmetros/coeficientes das equações de secagem
a_0, a_1	Constantes da equação 4.1
A, B	Constantes definidas na equação 2.4
$\frac{d}{d_i}, D/D_i$	Relação entre o diâmetro e o diâmetro inicial, adimensional
d	Diâmetro (cm)
D	Coefficiente de Difusão Líquida (m^2/s)
K	Constante de secagem, h^{-1}
M	Razão de umidade do produto, adimensional
q	Constante da equação 2.1
r	Coordenada espacial, (raio, cm)
R	Raio total da esfera, (cm)
t	Tempo de secagem (min ou segundo), equação 2.4, 4.3 e 4.5
T	Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}C$, K)
t	Tempo, (h), equação 2.3
U^*	Relação de Umidade (b.s)
U, U_i, X_0	Teor de umidade inicial do produto (base seca), gr. de água/ gr. de sólido úmido ou seco)
U_i	Teor de umidade inicial adimensional
U_e	Teor de umidade de equilíbrio (b.s), (gr. de água/ gr. de sólido úmido ou seco)
\bar{U}	Teor de umidade média em base seca das amostras, adimensional
w_i	Peso inicial da amostra, (g)
w_s	Peso final da amostra, (g)
\bar{X}	Teor de umidade média em base seca das amostras,

	adimensional
f	Fator de correção na área de encolhimento
X_e	Umidade de equilíbrio (b.s)
X_o	Umidade inicial da amostra (b.s)
K_o, K_1	Parâmetros da equação 4.5.1
C_o, C_1	Parâmetros da equação 4.8.1
V	Velocidade do ar de secagem (m/s)
Sd	Desvio padrão
r	Coefficiente de correlação (tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4)

SÍMBOLOS GREGOS

θ	Temperatura do produto (°C)
ε	Porosidade da amostra
ρ_s	Densidade da amostra (g/cm ³)

SUMÁRIO

NOMENCLATURA

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	1
------------	---

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Secagem de Frutas	3
2.1.1 Mecanismos de Secagem	4
2.2 Aceroleira	6
2.3 Características da Acerola	8
2.3.1 Características Físicas	8
2.3.2 Composição da Acerola	9
2.4 Secagem de Acerola	12
2.5 Encolhimento	14
2.6 Cinética de Secagem	15
2.6.1 Equação Teórica do Modelo Difusional	15
2.6.2 Equações Empíricas para Secagem em Camada Fina	17

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Materiais	21
3.2 Equipamento	22
3.2.1 Câmara de Secagem	23
3.2.2 Equipamentos Básicos	25
3.2.3 Equipamentos Auxiliares	25

3.3 Metodologia	26
3.3.1 Determinação da Umidade Inicial	27
3.3.2 Procedimento Experimental	27
3.4 Caracterização da acerola	28
3.4.1 Determinação da Densidade	28
3.4.2 Determinação do Encolhimento	29

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Introdução	30
4.2 Encolhimento da Acerola	30
4.3 Influência da Temperatura do Ar de Secagem	32
4.4 Influência da Velocidade do Ar de Secagem	32
4.5 Modelagem	34
4.5.1 Modelo Exponencial Simples	35
4.6 Modelo Incluindo Fator de Encolhimento	38

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES	43
------------	----

CAPÍTULO 6

PERSPECTIVAS	44
--------------	----

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
----------------------------	----

APÊNDICE A Tabelas de dados obtidos experimentalmente na câmara de secagem	51
APÊNDICE B Fotografias da Acerola obtidas na Secagem Convectiva	61
APÊNDICE C Programa para Cálculo dos Dados Psicrométricos	66

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 01 _ Produção de acerola no Estado da Paraíba	7
TABELA 2.1 – Composição da acerola em 100g de polpa.	10
TABELA 2.2 – Quantidade de minerais na acerola.	10
TABELA 2.3 – Vitaminas na acerola.	10
TABELA 2.4 – Conteúdo de ácido ascórbico em acerolas maduras como resultado de diversas pesquisas.	11
TABELA 3.1 – Condições dos experimentos	22
TABELA 4.1 – Resultados dos parâmetros estimados.	36
TABELA 4.2 – Resultado dos parâmetros estimados. Encolhimento incluindo o fator de correção.	40
TABELA 4.3 _ Efeito da temperatura sobre a constante de secagem	42
TABELA A1 – Experimento 01	52
TABELA A2 – Experimento 02	54
TABELA A3 – Experimento 03	55
TABELA A4 – Experimento 04	56
TABELA A5 – Experimento 05	57
TABELA A6 – Experimento 06	58
TABELA A7 – Experimento 07	59
TABELA A8 – Experimento 08	60

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 01 – Velocidade de secagem contra o tempo	6
FIGURA 02 – Diagrama esquemático dos equipamentos	23
FIGURA 4.1 – Encolhimento da acerola durante a secagem	31
FIGURA 4.2 – Influência da temperatura do ar de secagem. $V = 0,7\text{m/s}$	32
FIGURA 4.3 – Derivada das curvas de secagem em função do tempo	32
FIGURA 4.4 – Influência da velocidade do ar na cinética de secagem. $T = 70^{\circ}\text{C}$	33
FIGURA 4.5 – Constante de secagem em função do inverso da temperatura.	35
FIGURA 4.6 – Modelo exponencial simples a $1,4\text{m/s}$	36
FIGURA 4.7 – Modelo exponencial simples a $0,7\text{m/s}$	37
FIGURA 4.8 – Constante de secagem incluindo um fator de correção em função do inverso da temperatura	38
FIGURA 4.9 – Correlação empírica para a cinética de secagem incluindo o fator de correção do encolhimento. $V = 1,4\text{m/s}$	39
FIGURA 4.10 – Correlação empírica para a cinética de secagem incluindo o fator de correção do encolhimento. $V = 0,7\text{m/s}$	40
FIGURA B1 – Fotografia da acerola obtida antes da secagem, $t = 0$	60
FIGURA B2 – Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t = 80\text{min.}$	60
FIGURA B3 – Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t = 155\text{min.}$	61
FIGURA B4 – Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t = 265\text{min.}$	61
FIGURA B5 – Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t = 380\text{min.}$	62
FIGURA B6 – Fotografia da acerola obtida após a secagem (obs. Após sair da câmara de secagem, as mesmas foram colocadas na estufa a 70°C por 1115min.)	62
FIGURA B7 – Fotografia da acerola após a secagem (obs. Após sair da câmara de secagem, as mesmas foram colocadas na estufa a 70°C por 1420min.)	63

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Um dos procedimentos mais importantes para conservação de alimentos por diminuição de sua atividade de água, é a desidratação ou secagem. Sabemos que a maioria dos produtos vegetais são constituídos por mais de 80% de água. O processo de secagem implica em uma considerável redução de custos em transportes e manipulação do produto além de prover um efetivo método de prolongamento de sua vida útil.

A secagem é um processo combinado de transferência de calor e massa, no qual se reduz a disponibilidade de água ou atividade de água que facilita o crescimento microbiano e reações químicas e bioquímicas, ou seja, o aumento da temperatura do material a ser desidratado, força a evaporação da água, enquanto a circulação do ar remove a umidade evaporada (MELO, 1994).

O processo de secagem pode ser realizado naturalmente, simplesmente retardando a colheita ou expondo o material ao sol. Este processo é melhor indicado na secagem de grãos. Porém, para possibilitar um maior controle em relação ao teor de umidade e da qualidade final do produto, além de um melhor planejamento da colheita, devido a não dependência das condições meteorológicas, essa operação é efetuada com o auxílio de secadores mecânicos (BARROSO, et. al., 1994).

O projeto de secadores visa a economia de energia e preservação do material a ser desidratado (ex: secadores contínuos a bandeja, secadores rotatórios, leitos fluidos, etc.). Diversos tipos de secadores têm sido estudados com o fim de melhor viabilizar a obtenção de um produto de alta qualidade segundo a variedade de materiais existentes a serem desidratados.

O secador de Leito Fixo, tem encontrado uma larga utilização, apresentando resultados favoráveis em pesquisas desenvolvidas no laboratório de sistemas Particulados da UFPB, Campus II.

Dando continuidade a trabalhos anteriores, planejou-se a desidratação da acerola, cujo nome científico é *Malpighia Emarginata* DC. A acerola nos últimos anos, tem sido uma fruta largamente cultivada na região nordestina do Brasil, pois revela uma nova fonte natural de vitamina C (ácido ascórbico). O prof. CORRADO ASENJO (1980), do Instituto de Bioquímica da Universidade de Porto Rico foi quem fez a descoberta encontrando, em 100 gramas do suco; 4000 miligramas de vitamina C (a laranja possui em média 50 miligramas e o limão 45 miligramas) (MARINHO NETO, 1986). Cultivada há mais de cinquenta anos aqui no Brasil e com potencial em ácido ascórbico cem vezes superior ao da laranja, a acerola poderia vir a ser a solução natural para a obtenção da vitamina C nacional. O fruto comprado é processado para fabricação de geleia, suco, xarope, sorvete, doces e também como cosméticos, ou transformado em pó para a produção de cápsulas de vitamina C pura natural, muito mais barata que a sintética.

Como todas as frutas, grande parte da colheita de acerola é desperdiçada porque é comercializada "in natura". A acerola é uma fruta altamente perecível havendo portanto a necessidade de um processo que possibilite sua armazenagem e comercialização por um maior período de tempo (MORAIS, 1996).

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a cinética de secagem de acerola "in natura" em monocamada. Verificar o efeito da temperatura e velocidade do ar de secagem. Analisar o efeito de encolhimento durante a secagem. Propor modelos de equações para representação da cinética de secagem.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1) SECAGEM DE FRUTAS

A secagem tem por objetivo assegurar a conservação da fruta por meio da redução do seu teor de água. Essa redução deve ser efetuada até um ponto, onde a concentração de açúcares, ácidos, sais e outros componentes seja suficientemente elevada para reduzir a atividade de água e inibir, portanto, o desenvolvimento de microorganismo (ITAL, 1993).

ALBUQUERQUE et. al. (1998), desenvolveram técnicas para o pré-processamento de caqui (*Diospyros Kaki L*) com o objetivo de avaliar a influência no produto desidratado, caqui em lamelas. O descascamento químico, utilizando solução de hidróxido de sódio a 2 % em banho aquecido a 90°C foi satisfatório, bem como o tratamento antioxidativo com solução de metabissulfito a 400ppm. A secagem das lamelas em estufa, a 45°C, resultou em um produto de sabor e aparência agradáveis, preservando o aroma do fruto in natura.

GONÇALVES et. al. (1995), determinaram algumas características físico-químicas do resíduo da indústria de suco de laranja, tais como: distribuição granulométrica, diâmetro médio, densidade efetiva, densidade aparente, calor específico e poder calorífico; bem como alternativas de secagem para o processo industrial. De acordo com informações coletadas diretamente junto às indústrias de suco de laranja, o processo industrial utiliza, atualmente, secador rotativo e a maioria delas usa gases quentes (~700°C) como agente secante. Tal procedimento é de alto risco, uma vez que o resíduo é auto-combustível ao atingir a temperatura de 400°C. O estudo de alternativas de secagem inclui diferentes

condições de secagem (temperatura e vazão de ar e de sólidos) e diferentes secadores (cyclone, pneumático e leito de jorro). O resíduo a ser seco tem umidade de 55 - 60%, base úmida; e a umidade final desejada é de 10 - 15%, base úmida. A distribuição granulométrica, o diâmetro médio e densidade aparente foram determinados em diferentes teores de umidade o que possibilitou o estudo do encolhimento do material durante o processo de secagem. As demais determinações foram feitas com material seco. O material passa por um processo de encolhimento muito grande, havendo uma redução de quase 50% do volume ocupado antes e depois do processo de secagem. Os resultados preliminares obtidos no estudo de secagem do resíduo indicaram que é possível secar este material em condições seguras, atingindo os níveis desejados de umidade e com um gasto muito menor de energia. Deve, ainda, conferir ao produto final características organolépticas próprias e preservar ao máximo o seu valor nutricional.

2.1.1) Mecanismos de secagem

A remoção da água da fruta, durante a secagem, ocorre por vaporização térmica, com o auxílio de ar aquecido, que flui pela superfície da fruta. Essa vaporização térmica se processa numa temperatura inferior à de ebulição da água e depende, essencialmente, dos seguintes fatores: pressão de vapor da água na fruta e no ar de secagem; temperatura e velocidade do ar e velocidade de difusão da água na fruta (VAN ARSDEL, 1973; citado por ITAL; 1993).

Pressão de vapor da água - Trata-se da pressão parcial exercida pelo vapor d'água presente no ar. Essa propriedade varia em função das concentrações de água no produto e de vapor d'água no ar.

A evaporação depende da diferença entre a pressão de vapor da água existente entre a fruta e o ar; à medida que se aumenta essa diferença aumenta-se a taxa de evaporação.

Temperatura - Quanto maior a temperatura do ar, menor a sua umidade relativa e maior a quantidade de energia que o mesmo pode fornecer, melhorando, dessa forma, a condição de secagem. Levando-se em consideração somente este fato, seria conveniente trabalhar com temperaturas de secagem bem elevadas. Porém, essa temperatura está limitada pela temperatura máxima que a fruta pode suportar, sem sofrer transformações indesejáveis na aparência e nas suas qualidades organolépticas e nutricionais.

Velocidade de difusão da água no produto - De modo geral, os materiais apresentam duas ou mais fases distintas de secagem : uma, que ocorre a uma taxa de evaporação constante, quando a água livre evapora da superfície do material e nas demais fases a taxa de evaporação é decrescente e a secagem é controlada pelo mecanismo de difusão.

Na secagem experimental de um sólido, os dados obtidos relacionam usualmente o teor de umidade ao tempo. Estes dados são então plotados com o teor de umidade (em base seca) contra o tempo, obtendo uma curva na qual se pode obter a velocidade de secagem (figura 1) que contém duas zonas distintas: período a velocidade constante e período a velocidade decrescente.

Segundo COULSON & RICHARDSON (1974) citado por MARIZ (1986), no período a velocidade constante, a umidade vaporiza para a corrente de ar e o fator que controla é o coeficiente de transferência por convecção através do filme gasoso. Para explicar a remoção de umidade no período a velocidade decrescente, duas idéias polarizam a discussão: uma é a teoria da difusão e a outra é a teoria da capilaridade. Na primeira supõe-se que a velocidade do movimento da água para a interface com o ar é governada por equações semelhantes às de transferência de calor, enquanto que na teoria capilar se supõe que as forças que controlam o movimento tem origem na capilaridade e resultam da existência de poros diminutos entre as diversas partículas.

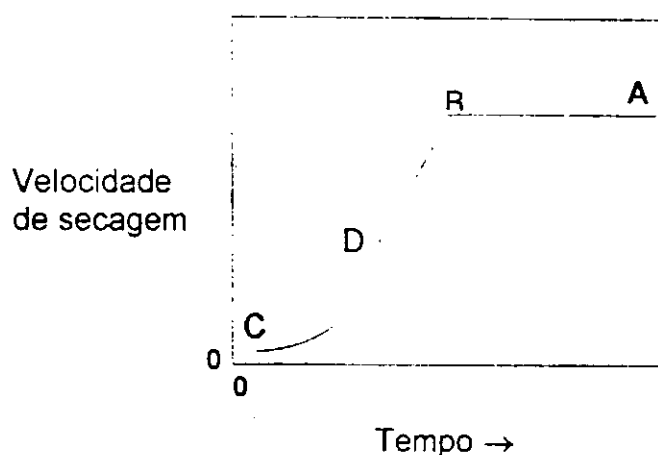


Figura 01 – Velocidade de secagem contra o tempo

AB - PERÍODO DE VELOCIDADE CONSTANTE

BC – 1º PERÍODO DE VELOCIDADE DECRESCENTE

B - TEOR CRÍTICO DE UMIDADE

DC – 2º PERÍODO DE VELOCIDADE DECRESCENTE

Velocidade do ar - A taxa de evaporação é diretamente proporcional à velocidade do ar de secagem, principalmente, na fase inicial. A velocidade está limitada pela velocidade de difusão de água do interior para a superfície da fruta.

2.2) A ACEROLEIRA

Em qualquer região do Brasil, pode ser plantada em todos os meses do ano. A estação chuvosa é a ideal quando se trata de grandes plantios. Atualmente existe plantios de pequenos e médios portes instalados, e outros em fase de instalação nos estados da Bahia, Pará, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Norte e São Paulo, visando principalmente a exportação na forma de polpa, suco ou frutas congeladas e capsulas de vitamina C, para a Europa, Japão e Estados Unidos. Além disso, a demanda interna tem aumentado nos últimos anos (MORAIS, 1996).

A aceroleira é uma planta *Dicotiledonea*, pertencente a família das *Malpighiáceas*, cujo nome científico é *Malpighia emarginata*, DC. É uma planta frutífera, originária das Antilhas, Norte da América do Sul e América Central. A aceroleira é um arbusto glabro de tamanho médio, medindo de 2,0 a 4,0 m de altura e com um diâmetro da copa que pode ir até 3,0 m. As variedades classificam em doces e ácidas. As ácidas possuem maior riqueza em ácido ascórbico que as doces. Os frutos variam em tamanho, forma e peso. O fruto da aceroleira é uma drupa sub-globosa de superfície lisa ou sensivelmente trilobada, que se dispõe isolada ou em panículas de duas ou três, em axilas foliares, com pedunculos curtos e o tamanho pode variar de 1,0 a 4,0 cm de diâmetro, enquanto que em relação ao peso, podem pesar de 2,0 a 10,0 g. Possui três sementes pequenas, cada uma inclusa em um caroço proeminente, reticulado, de textura apergaminhada e que algumas vezes, dão ao fruto o aspecto mais ou menos trilobado. (SIMÃO, COUCEIRO e SANTOS; citado por ALVES, 1993).

Cada planta de acerola pode produzir de 20 a 30kg de frutos por ano. Em uma plantação de Porto Rico, segundo dr. MOSCOSO(1956), são colhidos de 3000 a 4500kg de frutos frescos por ano. Considerando-se que o conteúdo de ácido ascórbico e de dehidroascórbico varia em torno de 1 a 4%, o rendimento total de uma planta com duzentos árvores, ou seja, ocupando uma área de 3000m² com idade de quatro anos estaria em torno de 45 a 180kg de vitamina C, expressa em deidroascórbico e ácido ascórbico (MARINO NETO, 1986).

Segundo dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1996), aqui no estado da Paraíba, os municípios que apresenta maior quantidade de acerolas colhida e vendidas durante o ano, são:

Tabela 01 – Produção de acerola no Estado da Paraíba (1996).

MUNICÍPIOS	TONELADAS
Litoral Sul (Alhandra, Caaporã, Pedras de Fogo e Pitimbu)	933
Litoral Norte (Baia da Traição, Itapororoca, Rio Tinto, Jacaraú, Manmanguape e Mataraca)	584
Sapé (Cruz do Espírito Santo, Mari, Pilar, São Miguel de Taipu e Sapé)	311
João Pessoa (Bayeux, Conde, João Pessoa, Lucena e Santa Rita)	276

FONTE: IBGE

2.3) CARACTERÍSTICAS DA ACEROLA

2.3.1) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ACEROLA

Os frutos variam em tamanho, forma e peso .O fruto da aceroleira é uma drupa sub-globosa de superfície lisa ou sensivelmente trilobada, que se dispõe isolada ou em panículas de duas ou três , em axilas foliares, com pedunculos curtos e o tamanho pode variar de 1,0 a 4,0 cm de diâmetro, enquanto que em relação ao peso, podem pesar de 2,0 a 10,0 g. Possui três sementes pequenas, cada uma inclusa em um caroço proeminente, reticulado, de textura apergaminhada e que algumas vezes, dão ao fruto o aspecto mais ou menos trilobado. (SIMÃO, COUCEIRO e SANTOS; citado por ALVES, 1993).

Quanto a coloração, apresentam tonalidades diferentes, indo do verde, quando em desenvolvimento, passando a amarelo e finalmente a vermelho-escuro, quando maduro. Apresenta um suco avermelhado que representa 80% do peso do fruto.

2.3.2) COMPOSIÇÃO DA ACEROLA

O alto teor de ácido ascórbico (vitamina C) encontrado na acerola foi primeiramente descrito por Asenjo Gusmán em 1946, como resultado dos estudos que então empreendiam sobre os valores contidos nos produtos agrícolas de Porto Rico. A descoberta teve muito de casual, como todas as importantes descobertas. Mas as experiências rigorosas, feitas a seguir, vieram confirmar que a acerola é, realmente, a mais rica fonte de vitamina C natural conhecida em todo o mundo.

A acerola é uma extraordinária fonte de vitamina C, e tem sido consumida para atender as necessidades diárias do organismo humano e para suprir em muitos casos de carência desta vitamina em pessoas com problemas nutricionais.

O termo vitamina C designa o ácido ascórbico e o ácido dehidroascórbico. O ácido ascórbico pode ser oxidado reversivelmente formando o ácido dehidroascórbico e este pode ser convertido ao ácido 2,3-dicetogulônico, cuja atividade anti-escorbútica é nula. Na acerola o ácido L-ascórbico é o principal componente da vitamina C, representando acima de 80% do seu conteúdo total, portanto, as análises de vitamina C são elaboradas através da determinação do conteúdo de ácido L-ascórbico, também conhecida como vitamina C reduzida (CAMPILLO & MEDEIROS; citado por ALVES, 1993).

A acerola contém também tiamina, riboflavina e niacina em pequenas quantidades e se constitui também numa boa fonte de vitamina A, ferro e cálcio (COUCEIRO, 1984; citado por MARINO NETO, 1986). As mesmas colhidas

verdes possuem mais ácido ascórbico que as maduras. Porém são mais ácidas. Enquanto aquelas colhidas maduras apresentam maior teor de açúcar e um sabor mais agradável.

As tabelas de 2.1 a 2.4 mostram algumas características da acerola.

TABELA 2.1 - Composição da acerola em 100g de polpa.

composição	gramas
Umidade	91,10
Proteína	0,68
Extrato etérico	0,19
Fibras	0,60
Cinzas	0,45
Carboidratos	6,98

FONTE: MARINO NETO (1986)

TABELA 2.2 - Quantidade de minerais na acerola

Minerais	miligramas
Cálcio	8,7
Fósforo	16,2
Ferro	0,7

FONTE: MARINO NETO (1986)

TABELA 2.3 - Vitaminas na acerola

Vitaminas	miligramas
Caroteno	0,408
Tiamina	0,028
Riboflavina	0,079
Niacina	0,034
Ác. Ascórbico (vitamina C)	2.329,0

FONTE: MARINO NETO (1986)

Com estas demonstrações, fica evidenciado que essa frutinha é uma farmácia, o que sugere ser indispensável pelo menos um arbusto dela em cada quintal.

A acerola possui elevado teor de vitamina C, mas este conteúdo é diferenciado de acordo com a variedade plantada, condições climáticas e tratos culturais utilizados.

Os teores de vitamina na acerola variam de 956mg de ácido ascórbico em frutos maduros a 4.827mg de ácido ascórbico por 100g em frutos verdes. Isto representa de 50 a 100 vezes o teor dessa mesma vitamina em igual quantidade de suco de laranja ou de limão, frutos considerados ricos em vitamina C. A tabela abaixo mostra o conteúdo de ácido ascórbico.

TABELA 2.4 - Conteúdo de ácido ascórbico em acerolas maduras como resultado de diversas pesquisas.

Ác. Ascórbico		Local (país)	Autor(es)
mg/100g	mg/100ml		
2.520		México	CHARLEY(1969)
2.233		USA	CHARLEY(1969)
2.130		Porto Rico	JACKSON & PENNOCK(1958)
1.996		USA	CHARLEY(1969)
1.930		Brasil(PB)	BATISTA ET AL.(1991)
1.900		México	CHARLEY(1969)
1.827		USA	NAKASONE et al(1966)
1.759		Porto Rico	CAMPILLO & ASENJO(1957)
1.707		Porto Rico	CHARLEY(1969)
1.550		Porto Rico	LOPEZ(1963)
1.283	1.061	Porto Rico	MEDEIROS(1969)
1.130		Venezuela	CHARLEY(1969)
1.124		Brasil(RS)	CARVALHO

1.100		Colômbia	(1992)	
994	1.200	Porto Rico	CHARLEY(1969)	
			ASENJO	&
			MOSCOSO(1950)	
	1.331	Porto Rico	NIEVA(1955)	
	1.267	Porto Rico	SANTINI JUNIOR	&
			HUYKE	

FONTE: CARVALHO & MANICA (1993), segundo MORAIS (1996).

Procurando conhecer a perda da vitamina C da acerola, MUSTERD citado por MORAIS, verificou que durante a transformação do suco de acerola em geléia, após o cozimento, o suco continua ainda com alto teor vitamínico, o que é muito importante, pois normalmente o cozimento tende a destruir as vitaminas, mas, no caso da acerola, o teor manteve-se bastante elevado (MARINO NETO, 1986).

2.4) SECAGEM DE ACEROLA

ALSINA et. al. (1998), estudaram a cinética de secagem da acerola em monocamada submetida ao efeito de diversos pré-tratamentos químicos, utilizando um secador em escala de laboratório. Os experimentos foram realizados com temperatura do ar de secagem 70°C e velocidade do ar de 1,5m/s. Foi verificado que os pré-tratamentos com NaOH (1 a 2%) a temperatura ambiente não são muito eficazes na redução do tempo de secagem. O melhor resultado foi obtido com NaOH (0,3%) a 93°C. Foi observado que o encolhimento durante a secagem segue o mesmo comportamento que o determinado anteriormente sem pré-tratamento. A cinética apresenta um primeiro período onde a taxa de secagem aumenta até atingir um máximo aproximadamente aos 20 minutos de iniciado o processo. Este tempo coincide com a rápida evolução da temperatura interna da acerola até atingir condições praticamente isotérmicas.

ALSINA et. al. (1997), realizaram um estudo da cinética de secagem de acerola em monocamada utilizando um secador em escala de laboratório. Foi analisado o efeito da temperatura do ar de secagem entre 60 – 80°C e velocidade do ar de secagem, variando entre 0,7 – 1,5m/s. Nos experimentos, comprovou-se que a velocidade do ar pouco influência na taxa de secagem, mas um considerável aumento da velocidade de secagem foi obtido com o aumento da temperatura do ar de secagem. Observou-se o encolhimento e a degradação da cor da acerola ao longo do processo de secagem. As acerolas secadas num intervalo de tempo de 8 – 10 horas, a umidade foi reduzida de 90% a 20% dependendo das condições operacionais. Uma equação empírica, incluindo os efeitos de encolhimento, foi proposta para descrever a cinética de secagem, de acordo com os dados experimentais.

LIMA (1996), realizou um estudo da dinâmica do secador em leito de jorro convencional, para secagem de polpa de acerola (*Malpighia emarginata*, DC). Inicialmente, foram feitos testes fluidodinâmicos através da análise das curvas típicas de um secador em leito de jorro, com o objetivo de obter as variáveis fluidodinâmicas que possam propiciar ao leito uma boa qualidade do jorro, em presença da polpa. Determinou-se através da plotagem da queda de pressão em função da velocidade do ar, os parâmetros como queda de pressão máxima, queda de pressão de jorro mínimo e velocidade de jorro mínimo.

MORAIS (1996), analisou os dados referentes ao estudo de parâmetros envolvidos na desidratação de polpa de acerola em leito de jorro convencional, para quatro alturas do leito de inertes, em três vazões do ar com base na relação entre a vazão de operação e a vazão de jorro mínimo. A alimentação da polpa de acerola foi feita de maneira intermitente correspondendo a 2% da massa de inertes no leito, por alimentação. A temperatura não ultrapassou os 70°C, pois acima desse valor as propriedades da acerola ficam comprometidas. Os parâmetros estudados foram: a influência da temperatura (entre 45 e 54°C) e da vazão de entrada do gás dada pela relação Q/Q_{jm} entre 1,5 e 1,8; a influência da altura do leito nas regiões cônica e cilíndrica. Avaliou-se também o desempenho do rendimento e da umidade do pó de acerola coletado através do ciclone.

2.5) ENCOLHIMENTO

Uma das principais mudanças físicas que acontece na desidratação de alimentos é o encolhimento. Teoricamente, o encolhimento é igual ao volume de água evaporado no material secado. Alguns alimentos consistente de células e tecidos possui resistência mecânica que restringe a extensão do volume ocorrendo mudanças durante a desidratação. A secagem aumenta a rigidez do material e o encolhimento observado, usualmente é pequeno (LEWICKI et. al., 1996).

RATTI (1994), secando batata, maçã e cenoura a 40, 50 e 60°C, observou que o encolhimento era independente da temperatura do ar de secagem. E que o encolhimento volumétrico nesses experimentos é fortemente afetado pela velocidade do ar. Semelhante tendência, também foi observado por LIKEWISE KARATHAUS et. al (1995), secando aipo a 5 e 60°C (citado por LEWICKI and PIECHNIK, 1996).

LEWICKI e WITROWA (1992), analisando o encolhimento de cenouras em cubo na secagem a taxa constante, observaram que a 60 e 80°C o encolhimento não foi observado com o aumento da temperatura, exceto a uma temperatura elevada de 100°C (citado por LEWICKI and PIECHNIK, 1996).

Em recente trabalho ALSINA et. al. (1998), estudou a cinética de secagem da acerola em monocamada submetida ao efeito de diversos pre-tratamentos químicos. Foi observado que o encolhimento durante a secagem segue o mesmo comportamento que o determinado anteriormente sem pre-tratamento, ou seja, não apresenta diferenças significativas.

SALAS & LABUZA (1968) estudaram a secagem de alimentos submetidos ao efeito de agentes ativos a superfície e o encolhimento medido em função do conteúdo de umidade. Estes alimentos foram desidratados em um secador de túnel com temperatura do ar seco de 68°C, temperatura de bulbo úmido de 30°C e

velocidade do ar de 2800 rpm, resultando na diminuição da velocidade de secagem durante o período a velocidade constante. Concluíram que o encolhimento é diretamente relacionado ao potencial de sucção capilar, que decresce com a diminuição da tensão superficial. A pressão do poro negativo faz uma curva no conjunto interface-água reduzindo os esforços, puxando a matriz esquelética do sólido, causando o encolhimento durante a secagem. Como resultado a matriz fica em colapso, correspondendo a uma diminuição da porosidade, embora a área total de secagem permaneça a mesma.

SARAVACOS & RAOUZEOS (1986) estudaram a secagem de passa de uvas, observando que o encolhimento do volume era linear com a umidade, até cerca de 75% da umidade inicial.

WANG & BRENNAN (1995), estudaram o efeito de variáveis experimentais incluindo o encolhimento, a densidade e a porosidade da batata. Os autores observaram que o grau de encolhimento é grande em baixa temperatura do ar do que em altas temperatura de secagem. Concluíram que o encolhimento afeta as propriedades físicas do material, tal como densidade que aumenta com o decréscimo do conteúdo de umidade.

2.6) CINÉTICA DE SECAGEM

2.6.1) EQUAÇÃO TEÓRICA DO MODELO DIFUSIONAL

No processo de secagem o transporte de massa em um meio sólido é bem explicado na lei de Fick expressa em termos do gradiente de umidade. Um dos primeiros autores a interpretar o processo de secagem como um fenômeno difusivo com controle interno foi LEWIS (1921). SHERWOOD (1939), também assumiu que a difusão interna de líquido predomina nos mecanismos internos de transferência de umidade.

A equação teórica que descreve a difusão em fase líquida é conhecida como a 2ª lei de Fick, cuja forma é:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{r^q} \frac{\partial}{\partial r} \left(D r^q \frac{\partial U}{\partial r} \right) \quad (2.1)$$

Onde:

q = 2, para esfera

A equação 2.3 tem sido usada para diversas formas de sólidos na secagem de vários materiais, assumindo, geralmente, as seguintes condições iniciais e de contorno:

$$U(r, 0) = U_i \quad (2.1.1)$$

$$\left. \frac{dU}{dr} \right|_{0,t} = 0 \quad (2.1.2)$$

$$U(R, t) = U_e \quad (2.1.3)$$

A condição 2.3.3 corresponde ao caso em que a resistência externa é desprezível e o processo é controlado pela difusão interna.

A solução analítica da equação 2.3 que satisfaz as condições limites acima é apresentada no livro de CRANK (1975), para as três formas geométricas, sendo para esfera:

$$U^* = \left(\frac{\bar{U} - U_e}{U_i - U_e} \right) = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[\frac{-D \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot t}{r^2} \right] \quad (2.2)$$

Segundo MARIZ (1986), o modelo difusional sofreu severas críticas, devido as discrepâncias observadas entre os valores experimentais e teóricos. As principais falhas podem ser atribuídas à consideração do coeficiente de difusão

constante (independente da temperatura e do teor de umidade) e alteração da forma e tamanho do sólido durante a secagem.

O coeficiente de difusão raramente é constante, pois varia com o teor de umidade e com a temperatura, segundo PERRY & CHILTON (1980).

2.6.2) EQUAÇÕES EMPÍRICAS PARA SECAGEM EM CAMADA FINA

Uma simplificação em coordenadas esféricas, equação 2.5, tem sido usada para prever a secagem de grãos. Ao invés de um número infinito de termos, somente o primeiro é empregado para calcular a taxa de secagem, segundo BROOKER et. al. (1974). Com essa simplificação tem-se:

$$U^* = (6/\pi^2) \exp(-Kt) \quad (2.3)$$

Onde:

$$K = D \cdot \pi^2 / r^2$$

Os resultados obtidos pela equação (2.3) são diferentes daqueles obtidos pela equação (2.2) para pequenos valores de t .

Várias equações puramente empíricas foram desenvolvidas para prever a secagem de grãos. A equação (2.4) foi proposta por THOMPSON (1968) para prever a secagem de milho na faixa de temperatura de (60 a 149°C).

$$T = A \ln M + B (\ln M)^2 \quad (2.4)$$

onde:

$$A = 2,01794 + 0,00878 \theta$$

$$B = 148,6086 \exp(-0,05418 \theta)$$

Na forma diferencial a equação (2.4) se torna

$$\frac{\partial U}{\partial T} = \frac{U_c - U}{\sqrt{A^2 + 4BT}} \quad (2.5)$$

As equações 2.6 a 2.12 são equações empíricas e/ou semi empíricas, como as demais citadas anteriormente, disponíveis na literatura para descrição da cinética de secagem de materiais sólidos.

As equações 2.6 (BROOKER et. al.(1974)) e 2.7 (HENDERSON & HENDERSON (1968)) podem ser vistas como simplificações do modelo difusivo, onde são considerados um ou dois termos da série, respectivamente.

$$U' = A1 \cdot \exp(-k1 \cdot t) \quad (2.6)$$

Onde

$$K1 = a1 \cdot \exp(-b1/T)$$

$$U' = A2 [\exp(-k2 \cdot t) + 1/9 \exp(-k2 \cdot t)] \quad (2.7)$$

Onde

$$K2 = a2 \cdot \exp(-b2/T)$$

De natureza essencialmente empírica, as equações 2.8 (PAGE, 1949), 2.9 (OVERHULTZ et. al.,1973) e a 2.6 (THOMPSON), tendo origem na constatação de alguns autores que as equações 2.10 e 2.11 não descrevem adequadamente a cinética de secagem ao longo de diversos períodos, (BARROSO et. al.,1994; citado por MOTA LIMA & MASSARANI,1995).

$$U^* = \exp(-k_3 \cdot t^{n_3}) \quad (2.8)$$

Onde

$$K_3 = a_3 \cdot \exp(-b_3/T)$$

$$U^* = \exp(-k_4 \cdot t)^{n_4} \quad (2.9)$$

Onde

$$K_4 = a_4 \cdot \exp(-b_4/T)$$

A equação 2.10 (MANCINI et. al., 1994) tem sua origem no equacionamento da secagem em camada fina, sendo utilizada uma relação linear entre o coeficiente de transferência de massa e a umidade do sólido, segundo MOTTA LIMA & MASSARANI, 1995.

$$U^* = \frac{(B_5/A_5) - X_e}{(X_0 - X_e) + (B_5/A_5 - X_e) \cdot \exp\left[\frac{(A_5 \cdot X_e - B_5) \cdot t}{(1 - \varepsilon) \cdot \rho_s}\right]} \quad (2.10)$$

onde

$$A_5 = a_5 + b_5 \cdot T; \quad B_5 = c_5 + d_5 \cdot T$$

As equações 2.11 e 2.12, também empíricas, foram originalmente analisadas por TOBINAGA & PINTO (1992) e MOTTA LIMA (1995), segundo MOTTA LIMA & MASSARANI (1995).

$$U^* = [A_6 + B_6 \cdot t]^{-2} \quad (2.11)$$

Onde

$$A_6 = a_6 \cdot \exp(-b_6/T); \quad B_6 = c_6 \cdot \exp(-d_6/T)$$

$$U' = A7 + [B7.t + C7.t^2 + D7.t^3] \exp(-E7/T) \quad (2.12)$$

O efeito da temperatura sobre a cinética de secagem está incorporado nas equações como uma função linear ou do tipo Arrhenius, segundo MOTTA LIMA & MASSARANI (1995).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Estudamos a cinética de secagem de acerola "in natura" em monocamada, no laboratório, em um equipamento escala piloto, analisando o efeito da velocidade do ar entre 0,7 - 1,5 m/s e temperatura do ar entre 60 - 90°C. Nos experimentos, foi observada uma pequena influência da velocidade do ar, mas um aumento considerável da velocidade de secagem foi obtido com o aumento da temperatura do ar, levando aproximadamente de 8 - 10 horas, para diminuir o teor de umidade de 90% para 20% ou menos dependendo das condições operacionais. Foram propostas equações empíricas para descrever a cinética de secagem de acerola, incluindo o efeito do encolhimento.

3.1) MATERIAIS

Este trabalho foi realizado no laboratório de Meios Porosos e Particulados do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, Campus II Campina Grande-PB.

Foram utilizadas acerolas maduras "in natura", adquirida nas regiões próximas a Campina Grande com as seguintes características:

- Boa aparência, com grau de maturidade semelhante, identificada pela cor e consistência.
- Diâmetro médio variando entre 2,10 e 2,28 cm.
- Umidade inicial em torno de 90%.

Foram planejados experimentos variando as condições experimentais, velocidade e temperatura do ar de secagem.

Na tabela 3.1 são mostrados valores dos experimentos realizados à diferentes condições operacionais.

Tabela 3.1 – Condições dos experimentos.

EXPERIMENTO	TEM. DO AR DE SECAGEM (°C)	VEL. DO AR DE SECAGEM (m/s)	UMIDADE INICIAL (base úmida) %	UMIDADE FINAL (base úmida) %
1	70	1,2	89,52	54,65
2	70	1,4	90,20	57,95
3	70	0,7	88,05	65,42
4	60	0,7	91	86,94
5	70	1,5	88,37	24,80
6	80	1,4	89,8	14,05
7	90	0,7	88,42	11,17
8	90	0,7	87,8	10,86

3.2) EQUIPAMENTO

Para determinação das curvas de secagem foi utilizado um secador de leito fixo com fluxos cruzados de ar, como mostra a figura 2, que é constituída por: (A) um compressor radial, para impulsionar o ar no interior da linha de alimentação do leito; (B) um rotâmetro, para medir a vazão do ar de secagem; (C) resistências elétricas, para aquecer o ar de secagem; (D, E) válvulas para especificar a vazão na linha de alimentação; (F) câmara de secagem, cônico-cilíndrica; (G) dois termopares do tipo Chromel-Alumel; (H) um recipiente em forma de cesta para secar o material, (I) controlador de temperatura; (J) chaves seletoras que selecionam as temperaturas lidas num (K) milivoltímetro.

3.2.1) CÂMARA DE SECAGEM

A câmara de secagem é formada por uma coluna cilíndrica de 17,80 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Possui uma seção inferior tronco-cônica que funciona como um distribuidor de ar, onde são colocados esferas de vidro, para permitir que o escoamento seja uniforme em todo o leito. A coluna é isolada termicamente com uma camada de amianto de 1,5 cm de espessura. Nas suas laterais existem furos onde são colocados termopares, para medição da temperatura do ar de secagem. No fundo da seção cônica está inserido um termopar, que serve para enviar sinal para o controlador de temperatura. Todas as medições de temperaturas são lidas em um milivoltímetro e são distinguidas por meio de uma chave seletora.

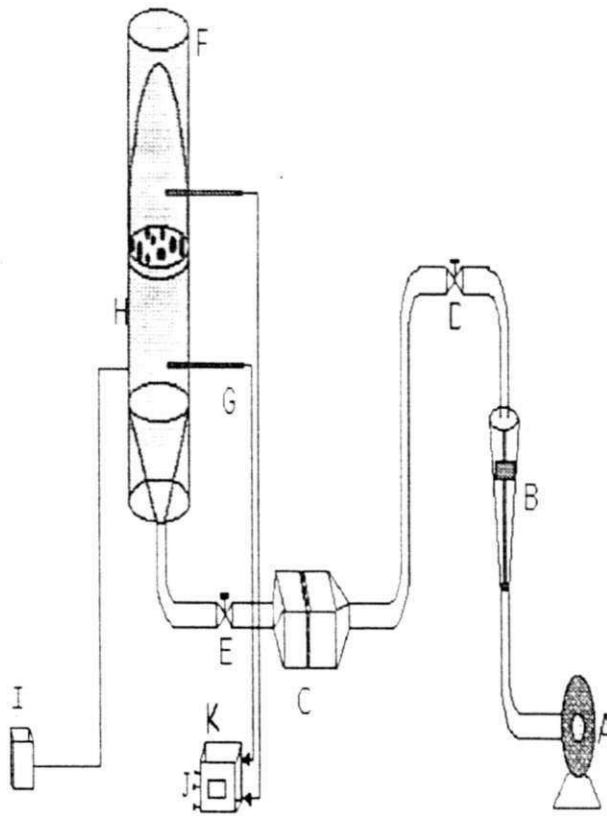


Figura 02 – Diagrama Esquemático dos Equipamentos.

LEGENDA

- A) Compressor radial
- B) Rotâmetro
- C) Resistência
- D,E) Válvulas
- F) Coluna de Secagem
- G) Termopares
- H) Suporte de Partículas (cesta)
- I) Controlador de Temperatura
- J) Chaves seletoras
- K) Milivoltímetro

3.2.2) EQUIPAMENTOS BÁSICOS

Os equipamentos utilizados para o funcionamento da câmara de secagem e para obtenção dos dados requeridos foram:

1- Compressor radial, tipo exportação fabricado pela Lavagem Americana Garantia, dotado de motor assíncrono trifásico, tipo S100L2, com 4CV e 2920 RPM, fabricado pela Metalúrgica Abramo Eberle S/A -Caxias do Sul - Ind. Brasileira.

2- Manômetro DOX, capacidade 2.0 kg/cm², fabricado pela IMC - Industria Brasileira.

3- Aquecedor de ar, tipo RM 2560.9, com 22.5 kW, fabricado pela PALLEY - Industria Brasileira.

4- Controlador de temperatura proporcional, tipo P300, faixa de operação entre 20 - 200°C, fabricado pela EURO - CONTROL AUT. Ind. Ltda.

5- Milivoltímetro, tipo MD - 045, fabricado pela EQUIPAMENTO CIENTÍFICO DO BRASIL - Industria Brasileira.

6- Válvulas, tipo globo.

3.2.3) EQUIPAMENTOS AUXILIARES

1- Balança Mettler PC 440, capacidade 440g, com precisão de leitura 0,001g, fabricada pela METTLER INSTRUMENT AG - Suíça.

2- Estufa de Secagem, modelo 315 SE, fabricada pela FANEM - São Paulo - SP, Industria Brasileira.

3- Termômetro químico ARBA, faixa (-10 a +100°C) divisão de 0,5°C - enchimento mercúrio, fabricado pela ARBA - Termômetro do Brasil Ltda.

4- Paquímetro, fabricado pela MAUB stainless, importado da Polônia.

5- Anemômetro digital AM -4201, fabricado pela HOMIS Controle e Instrumentação Ltda, Industria Brasileira.

6- Conjunto Medidor de Temperatura, ELECTRO - TRERM MS - 800 e TM -820, faixa de leitura (-35 a 150°C), divisão de 0,5°C - Fabricado pela ELECTROMEDICS INC, Denver, Colorado - USA.

7- Higrômetro digital, tipo PACER HYGROMETER MODEL DH 100, escala 10% a 95% UR, divisão de 0,1% UR - fabricado nos USA.

8- Higrômetro/Termômetro - digital, tipo PACER HYGRO - TRERMÔMETER, MODEL DH 300, escalas 10 a 95% UR e 0 a 80°C, divisão de 0,1% UR e 0,1°C - fabricado nos USA.

9- Termopares, tipo Chromel – Alumel.

10- Cronômetro marca POCKET.

3.3) METODOLOGIA

As amostras eram colocadas em monocamada em uma cesta de material metálico, com a base em tela de arame de malha fina. Após ligar o equipamento com a velocidade do ar pré-fixada e a temperatura já estabilizada, o conjunto era pesado e colocado na câmara de secagem.

Em intervalos regulares de tempo a cesta contendo a amostra era retirada da câmara de secagem, pesada e recolocada rapidamente no secador. Desse modo, a perda de peso do produto era acompanhada até atingir uma determinada umidade.

As condições experimentais são escolhidas com o intuito de se analisar a influência da vazão do ar e da temperatura nas curvas de cinética de secagem. A temperatura do ar de secagem varia entre 60°C e 90°C e a velocidade do ar entre 0,7 m/s e 1,5 m/s.

3.3.1) DETERMINAÇÃO DA UMIDADE INICIAL

A fruta ao natural contém uma certa quantidade de água que é chamada de umidade inicial e pode ser conhecida como uma percentagem da massa total da fruta.

Antes de começarmos as análises experimentais, de secagem, determinávamos a umidade inicial da acerola através do método da estufa a 70^o C por 24hs, com duas repetições. Depois deste tempo, as amostras eram pesadas numa balança METTLER PC 440, com precisão de leitura de 0,001g. Obtendo-se assim a umidade inicial das acerolas.

A umidade inicial pode ser calculada em base seca ou base úmida mediante as equações abaixo:

$$U_i = \frac{w_i - w_s}{w_i} \quad (\text{base úmida}) \quad (3.1)$$

$$U_i = \frac{w_i - w_s}{w_s} \quad (\text{base seca}) \quad (3.2)$$

A umidade inicial em base seca é obtida para que se possa calcular a umidade da amostra em função do tempo de secagem.

3.3.2) PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para obtenção das curvas de cinética de secagem de acerola "in natura" em monocamada, é usada a seguinte metodologia:

- 1- O teor de umidade inicial da acerola "in natura" é determinado pelo método da estufa (70°C por 24 horas), sendo a massa determinada em balança analítica digital de precisão 0,001g.
- 2- Pesagem da amostra para a secagem considerando que a mesma seja feita em monocamada.
- 3- Ajustar a vazão e a temperatura do ar de secagem desejados. Não esquecendo de estabilizar a temperatura antes de começar o experimento.
- 4- Colocar a cestinha com a amostra na câmara de secagem e em seguida acionar o cronômetro.
- 5- Em intervalos regulares, a cestinha com a amostra é retirada da câmara de secagem, pesada e colocada novamente no secador, rapidamente. Esta operação deve levar no máximo 30 segundos. Na entrada e saída da câmara de secagem são feitos registros das temperaturas. Este procedimento é repetido até o tempo de secagem desejado.

Conhecendo-se a temperatura do ar de secagem, a umidade relativa e a temperatura do ar ambiente conseguimos determinar a umidade do ar de secagem através da psicrometria, com um programa em FORTRAM que se encontra no APÊNDICE C.

3.4) CARACTERIZAÇÃO DA ACEROLA

3.4.1) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE

SILVA (1998), determinou a densidade da acerola pelo deslocamento de volume de água em uma proveta, por uma massa de sólido conhecida. Para

verificar a relação entre a densidade da acerola e o seu conteúdo de umidade, foram colocados quatro lotes, de quatro a seis pratos na estufa à 70°C durante 24 horas. A cada instante retirava-se um prato para as leituras de massa e do volume de água deslocado. Determinava-se assim a densidade da acerola em função do teor de umidade, $\rho = \rho(U)$.

3.4.2) DETERMINAÇÃO DO ENCOLHIMENTO

O encolhimento foi observado através de fotografias obtidas periodicamente ao longo de todo o experimento, as quais encontram-se no APÊNDICE B. Antes de começarmos a secagem tiramos a 1ª fotografia e em intervalos regulares de tempo, foram tiradas as seguintes. Com o auxílio do paquímetro medimos os diâmetros das acerolas, nas fotografias, um por um e fazíamos a média dos diâmetros para cada fotografia.

CAPITULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1) INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados e analisados os dados experimentais obtidos na secagem de acerola "in natura" em monocamada em leito fixo, referente ao estudo da influencia das variáveis operacionais como: velocidade do ar de secagem entre 0,7 – 1,5m/s e temperatura do ar de secagem entre 60 – 90°C. Também são analisados o efeito do encolhimento da acerola devido à perda de água e proposto um modelo empírico para a cinética de secagem de acerola em camada fina.

4.2) ENCOLHIMENTO DA ACEROLA

Os experimentos foram acompanhados por fotografias ao longo de todo o processo de secagem. No APÊNDICE B são mostradas as fotografias obtidas durante os experimentos. Observa-se examinando as mesmas, que o processo de secagem provoca tanto encolhimento do material como degradação da cor, que passa de um vermelho brilhante a tons mais amarronsados já no final da secagem.

No presente trabalho observamos o encolhimento e degradação da cor da acerola, durante a secagem, variando as condições operacionais temperatura e velocidade do ar de secagem, mostrando a variação do diâmetro em função da umidade durante a secagem, normalizados com as condições iniciais. Concluimos

que os pontos experimentais correspondentes podem ser ajustados aproximadamente por uma única curva de encolhimento. Sendo dada por:

$$\frac{d}{d_i} = a_0 + a_1 U^* \quad (4.1)$$

onde:

$$U^* = U/U_i \quad (4.2)$$

com a_0 igual a 0,39949 e a_1 igual a 0,58713, respectivamente.

Na figura 4.1, mostra-se a variação do diâmetro em função da umidade durante a secagem. Para possibilitar a comparação dos diversos experimentos o diâmetro e o teor de umidade foram normalizados com as condições iniciais.

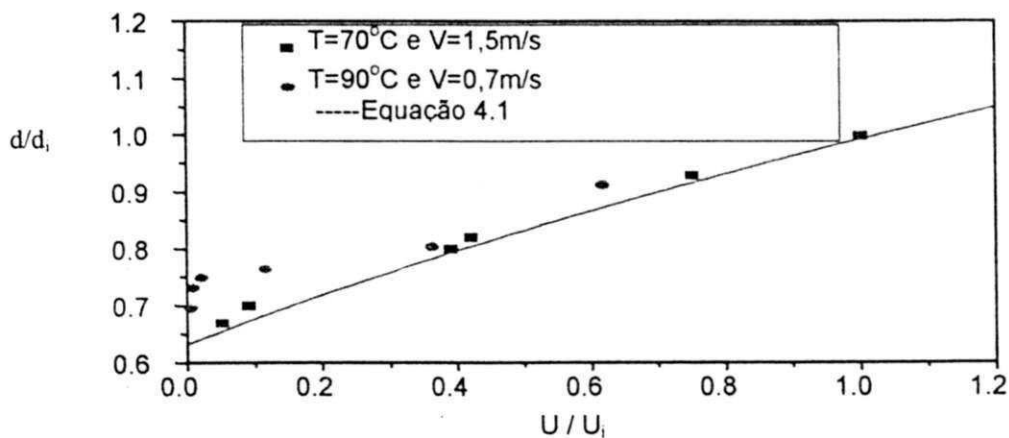


Fig.4.1 - Encolhimento da acerola durante a secagem

Ao fazermos o ajuste dos pontos experimentais na figura 4.1, observamos um encolhimento de área linear com a umidade normalizada, como mostra a

equação 4.1 ($\frac{d}{d_i} = a_0 + a_1 U^*$).

4.3) INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM

Na figura 4.2 são mostradas curvas de secagem com velocidade do ar de 0,7m/s e temperaturas de 60, 70 e 90°C. O tempo necessário para secar a acerola é consideravelmente reduzido aumentando-se a temperatura, visto que, quando secada a 60°C a umidade foi reduzida a 67% do seu valor inicial depois de aproximadamente 6h. Secando-a a 90°C e no mesmo intervalo de tempo, a umidade foi reduzida a 5% do seu valor inicial. Como houve um distanciamento entre as curvas de secagem, podemos concluir que a temperatura é um importante parâmetro na cinética de secagem. Semelhante tendência foi observada por, SANJUAN et. al. (1996) trabalhando com uvas.

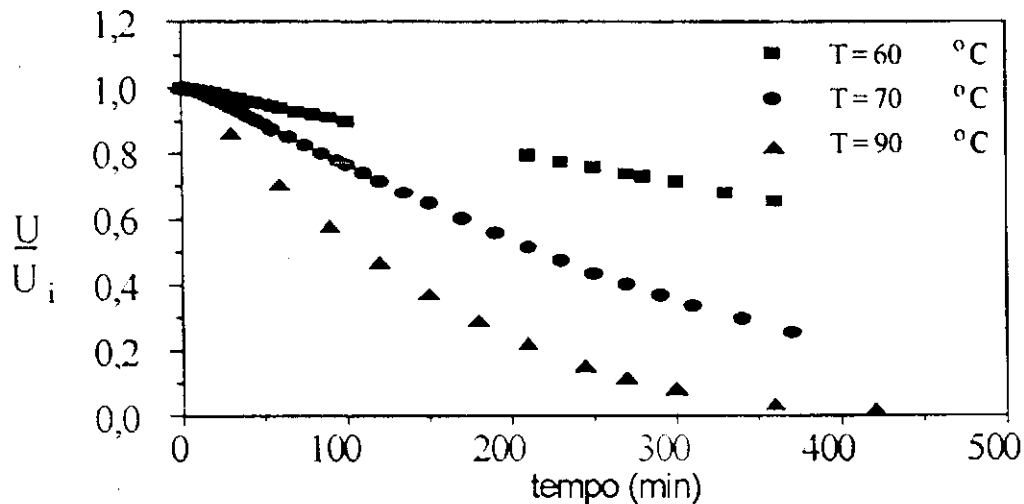


Fig. 4.2 - Influência da temperatura do ar de secagem. V=0,7 m/s

4.4) INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM

Na figura 4.3 estão representadas as curvas de secagem de quatro experimentos realizados a mesma temperatura (70, e velocidade do ar variando de 0,7 - 1,5m/s. Conseguimos observar que a influência da velocidade do ar na

cinética de secagem é muito menos significativa que a temperatura. Esta insensibilidade à velocidade do ar sugere que a resistência externa é desprezível nas condições de operações utilizadas e que o controle à secagem encontra-se na etapa de difusão interna na acerola. Esta constatação está de acordo com o fato de não ter sido observado período de secagem a taxa constante (ver figura 4.4) nos níveis de velocidade e umidade inicial aqui utilizados.

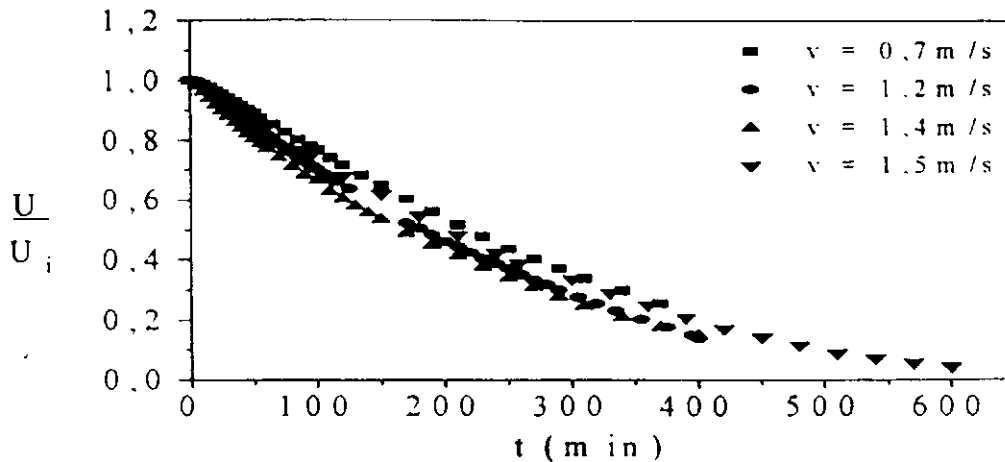


Fig. 4.3 - Influência da velocidade do ar na cinética de secagem. $T=70^{\circ}\text{C}$

Como podemos observar, a figura 4.4 apresenta o gráfico da derivada das curvas de secagem em função do tempo. A taxa de secagem passa por um máximo em torno dos 20 – 30 minutos iniciais ou que, devido à existência de barreira difusional da casca, a água livre estaria impedindo de evaporar na superfície como seria no caso de taxa de secagem constante. Este comportamento é indicativo de que, no caso da acerola "in natura", a umidade é intimamente presa à sua estrutura e o período de taxa de evaporação constante não chega a ser detectado, conforme resultados obtidos experimentalmente.

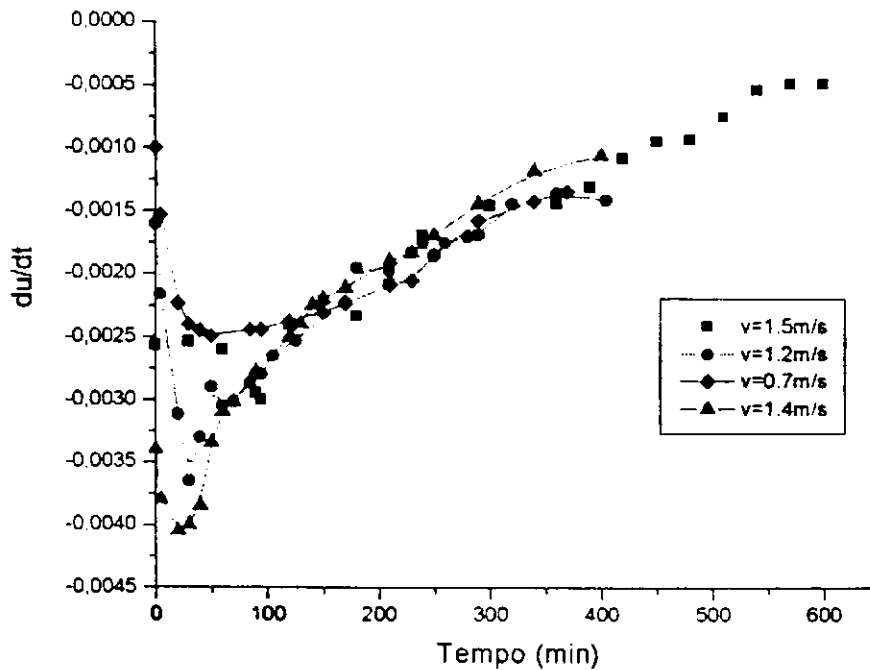


Fig 4.4 – Derivada das curvas de secagem em função do tempo.

4.5) MODELAGEM

Com o objetivo de modelar a cinética de secagem utilizamos duas equações empíricas: o modelo exponencial simples (equação 4.5) e numa segunda abordagem foi introduzido o encolhimento através de um fator empírico (equação 4.8)

4.5.1) MODELO EXPONENCIAL SIMPLES

Um simples modelo exponencial proposto neste trabalho, foi aplicado aos experimentos das curvas de secagem. Este modelo pode ser expressado em primeira ordem cinética, quando:

$$\frac{dU^*}{dt} = -kU^* \quad (4.3)$$

$$\text{com } U^* = U/U_i \quad (4.4)$$

e tendo como condição inicial:

$$U^*(0)=1$$

O tempo necessário para aumentar U^* é representado conforme um decaimento exponencial.

$$U^* = \exp(-kt) \quad (4.5)$$

$$\ln U^* = \ln k_0 - k_1 t \quad (4.5.1)$$

Os resultados dos parâmetros estimados são mostrados na tabela 4.1. O que se pode observar é que houve um bom ajuste entre os dados e o modelo, com se vê pelo coeficiente de correlação r (em forma aparentemente linear) maior que 0,994, embora os desvios sejam relativamente altos especialmente nos experimentos a 80 e 90°C. Além do mais, o coeficiente k_0 é mesmo próximo do valor teórico que é 1, ver equação (4.5), correspondente à condição inicial. Os resultados da modelagem confirmam o observado experimentalmente quanto ao efeito da temperatura e velocidade do ar. Conforme mostrado na tabela 4.1, a constante de secagem k_1 nos experimentos a 70°C não apresentou variações significativas na faixa de velocidade entre 0,7 e 1,5m/s, apresentando um valor médio de k_1 igual a $(1,65 \pm 0,17) \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Já o efeito da temperatura torna-se notório pois k_1 varia de $0,50 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ a $3,36 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ no intervalo de temperaturas que vai de 60°C a 90°C. Nota-se que para 70°C foi adotado o valor médio acima.

Tabela 4.1 – Resultados dos parâmetros estimados. $\ln U^* = \ln k_0 - k_1 t$ (4.5.1)

Influência da	Condição	k_0	$k_1 \cdot 10^3$	r	S.D. 10^3
Velocidade a 70°C (m/s)	0,7	$1,041 \pm 0,006$	$1,42 \pm 0,03$	0,996	9,22
	1,2	$1,037 \pm 0,005$	$1,74 \pm 0,01$	0,999	5,71
	1,4	$1,001 \pm 0,003$	$1,84 \pm 0,0078$	0,999	2,91
	1,5	$1,060 \pm 0,014$	$1,65 \pm 0,03$	0,998	11,87
Temperatura (°C)	60	$1,007 \pm 0,002$	$0,50 \pm 0,0035$	0,999	2,05
	70	$1,034 \pm 0,024$	$1,65 \pm 0,17$	0,998	1,41
	80	$1,082 \pm 0,104$	$2,67 \pm 0,07$	0,996	25,53
	90	$1,102 \pm 0,076$	$3,36 \pm 0,14$	0,994	32,55

Nas figuras 4.5 e 4.6 pode ser visualizado a adequação do modelo aos pontos experimentais. De acordo com as figuras, nas temperaturas de 60°C e 70°C o modelo apresenta um bom ajuste. Entretanto, observa-se que os desvios nas temperaturas de 80°C e 90°C são consideráveis, especialmente para tempos longos. O afastamento pode ser devido a que para tempos longos a acerola aproxima-se do seu valor de equilíbrio. A umidade de equilíbrio não foi considerada no modelo utilizado por não termos encontrado valores na literatura para essas temperaturas.

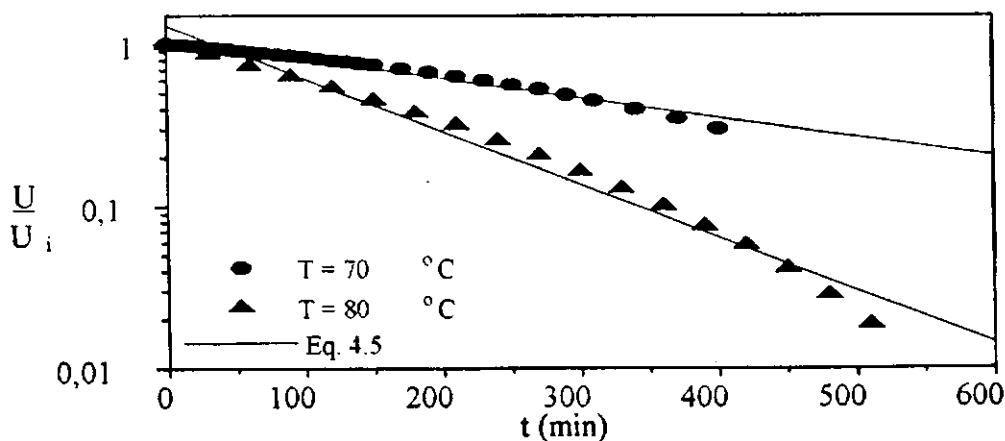


Fig.4.5- Modelo exponencial simples a 1,4 m/s.

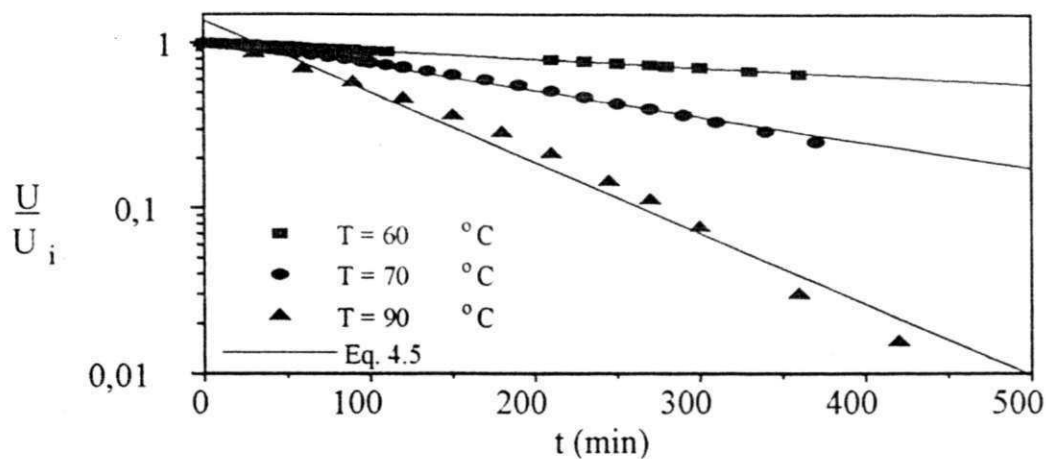


Fig.4.6.- Modelo exponencial simples a $0,7 \text{ m/s}$.

Devido à elevada umidade da acerola o valor do equilíbrio não afeta significativamente para tempos curtos. Entretanto, para tempos longos, na medida que se aproxima do equilíbrio, este valor deve ser levado em consideração.

• EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A CONSTANTE DE SECAGEM

A dependência da constante de secagem com a temperatura é mostrada na figura 4.7 ($K \times 1/T$ onde T é dado em kelvin(k^{-1})).

A equação (4.6) representa o efeito da temperatura sobre a constante de secagem .

$$K_1 = a - b/T \quad (4.6)$$

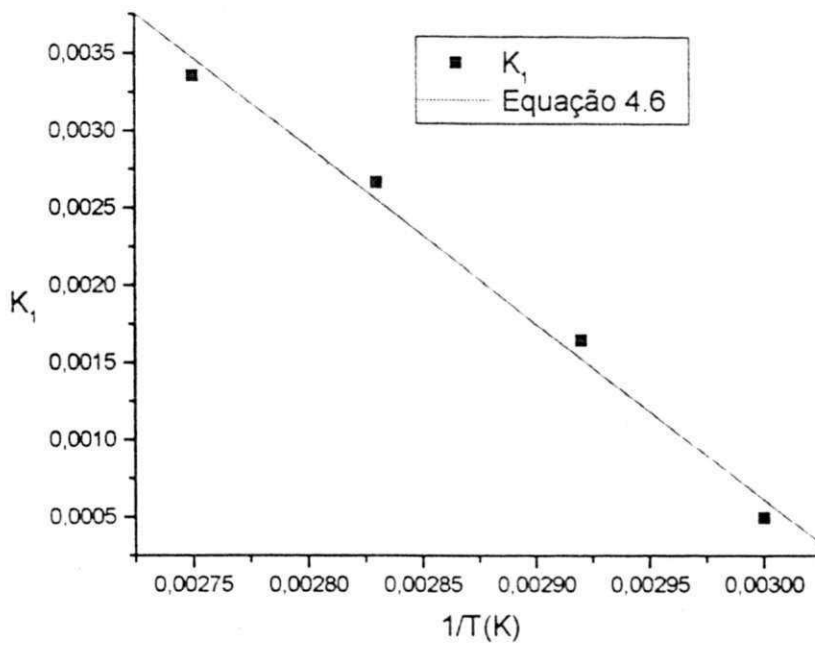


Fig. 4.7 – Constante de secagem em função do inverso da temperatura.

Tabela 4.2 – Efeito da temperatura sobre a constante de secagem.

Ajuste Linear Parâmetros	r	SD
a = 0,0349 , b = -11,42776	-0,99431	1,4156E-4

4.6) MODELO INCLUINDO FATOR DE ENCOLHIMENTO

No item 4.1 foi mostrado que a acerola sofre um encolhimento considerável ao longo de todo o processo de secagem. Por esta razão, foi proposto um modelo alternativo incluindo um fator de correção de encolhimento de área.

$$f = \frac{d^2}{d_i^2} \quad (4.7)$$

Este fator relaciona, considerando a acerola aproximadamente esférica, a área num instante t com a área inicial. O diâmetro em qualquer tempo é calculado, utilizando a umidade instantânea mediante a equação 4.1

Foi proposta a seguinte equação empírica para a cinética de secagem

$$\frac{1}{f} U^* = 1 + C.t \quad (4.8)$$

satisfazendo a condição inicial:

$$U^*(0) = 1$$

É interessante notar que, contrariamente ao modelo exponencial simples, o modelo modificado, apresenta uma taxa de secagem aparentemente constante, evidente da relação linear na equação 4.3. No entanto deve-se lembrar que a não linearidade está implícita no fator f . Em termos físicos este fator pode ser interpretado como que a variação na taxa de secagem deve-se principalmente à diminuição da área efetiva devido ao encolhimento.

Observando a tabela 4.3 pode ser notado que os parâmetros C_0 e C_1 seguem a mesma tendência que k_0 e k_1 no modelo exponencial simples: C_0 é bastante próximo de 1, porém um pouco maior, mostrando que há uma perturbação inicial. Esta perturbação que se dá logo no início da secagem pode estar associada ao aumento de volume da acerola devido a dilatação térmica no seu interior. Este fato foi observado experimentalmente notando-se que depois de alguns minutos a acerola começava a encolher. Por outro lado, foi observado por SILVA(1998), que durante os primeiros 25 minutos de secagem a temperatura interna da acerola evolui rapidamente até atingir condições praticamente isotérmicas.

Tabela 4.3. Resultados dos parâmetros estimados. Encolhimento incluindo o fator de correção. $\frac{1}{f}U^* = C_0 + C_1 t$ (4.8.1)

Influência da	Condição	C_0	$C_1 \cdot 10^3$	r	S.D. 10^3
Velocidade a 70°C (m/s)	0,7	$1,027 \pm 0,002$	$1,32 \pm 0,02$	0,996	6,67
	1,2	$1,035 \pm 0,002$	$1,76 \pm 0,01$	0,999	8,75
	1,4	$1,014 \pm 0,0007$	$1,78 \pm 0,000004$	0,999	2,59
	1,5	$1,037 \pm 4,74$	$1,59 \pm 0,02$	0,998	9,91
Temperatura (°C)	60	$1,016 \pm 0,0003$	$0,47 \pm 0,0023$	0,999	0,98
	70	$1,028 \pm 0,01$	$1,61 \pm 0,21$	0,998	1,41
	80	$1,023 \pm 0,003$	$2,3 \pm 0,02$	0,999	5,39
	90	$1,034 \pm 0,006$	$2,95 \pm 0,04$	0,999	10,88

Nas figuras 4.8 e 4.9 podem ser visualizado a adequação do modelo incluindo o fator de correção do encolhimento de área.

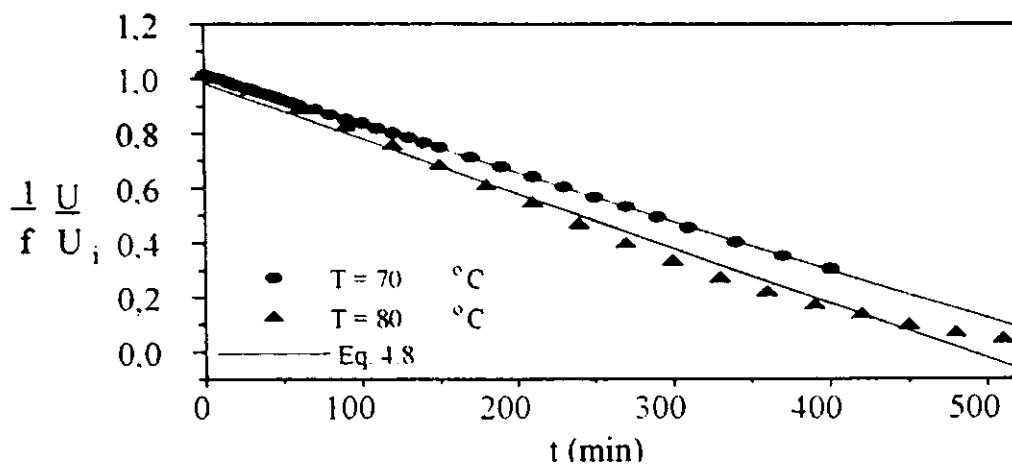


Fig.4.8 – Correlação empírica para a cinética de secagem incluindo o fator de correção do encolhimento. $V = 1,4\text{m/s}$.

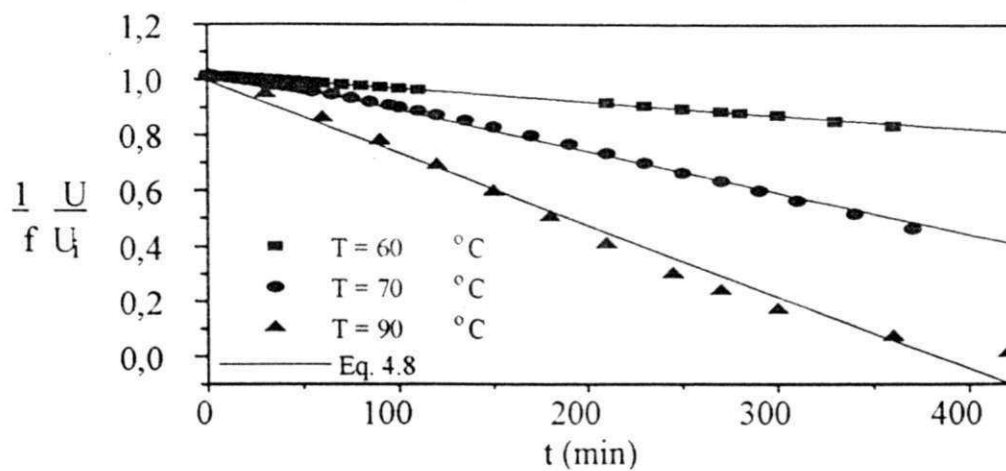


Fig. 4.9— Correlação empírica para a cinética de secagem incluindo o fator de correção do encolhimento. $V = 0,7\text{m/s}$.

• EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A CONSTANTE DE SECAGEM

A dependência da constante de secagem (C_1) com a temperatura é mostrada na figura 4.10 ($K \times 1/T$, onde T é dado em K^{-1}).

A equação (4.9) representa o efeito da temperatura sobre a constante de secagem.

$$C_1 = a - b/T \quad (4.9)$$

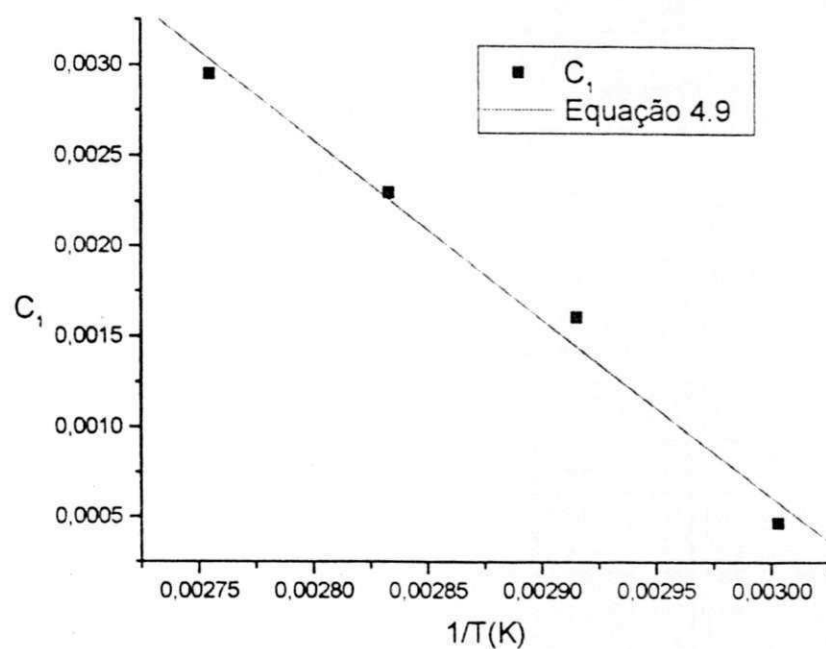


Fig. 4.10 – Constante de secagem incluindo um fator de correção em função do inverso da temperatura .

Tabela 4.4 –Efeito da temperatura sobre a constante de secagem.

Ajuste Linear Parâmetros	r	SD
a = 0,03019, b=-9,85687/T	-0,99293	1,54144E-4

CAPITULO 5

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode concluir-se que:

- Verificou-se que há pequena influência da velocidade do ar na cinética de secagem, tendo assim a vantagem de poder trabalhar com baixas vazões, diminuindo os requerimentos de potência para o soprador. Velocidade da ordem de 0,7m/s mostrou-se suficiente para proceder a uma secagem adequada.
- A cinética de secagem é fortemente influenciada pela temperatura, tendo um importante aumento na taxa de secagem.
- Uma considerável mudança no dimensionamento durante a secagem foi observado. Este encolhimento foi ajustado com dependência linear de área em função do teor de umidade.
- Equações empíricas foram propostas para representar a cinética de secagem:
 - a) sem levar em conta o encolhimento, representada por uma relação exponencial simples;
 - b) incluindo um fator de correção por encolhimento.

Ambas ajustam bem as curvas de secagem. Entretanto, a segunda por incluir o encolhimento é uma representação mais realística do comportamento.

CAPITULO 6

PERSPECTIVAS

Para dar continuidade aos estudos sobre a cinética de secagem de acerola “in natura” em monocamada, podemos sugerir:

- Estudar a caracterização física e química da acerola desidratada.
- Estudar a higroscopicidade da acerola desidratada.
- Verificar quais as melhores condições de secagem (otimizando a vazão e a temperatura) para que se tenha um produto de ótima qualidade.
- Simular, dimensionar e otimizar um secador para a secagem de acerola.
- Estudar o efeito do pré-tratamento para várias soluções químicas.

CAPITULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, L. R. M., SABAA SRUR, A. U. e BARBOSA, A. L. S..
"Contribuição ao Estudo da Secagem de Caqui (*Diospyros kaki* L):
Avaliação de Técnicas de Pré Processamento". XVI Congresso Brasileiro
de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Vol3 – pp. 1722-1724. RJ – 1998.
- ALSINA, O. L. S., SILVA, O. S. & BRASILEIRO, I. M. N., "Drying Kinetics of West
Indian Cherry Conference". In: **Proceeding of the Inter-american Drying
Conference (IADC)**, vol. I, Itu - SP, pp. 434- 440, 1997.
- ALSINA, O. L. S., SILVA, O. S. e SANTOS, J. M. "Efeito das condições
Operacionais na Cinética de Secagem de Fatias de Banana", CDROM
XXVI, Campina Grande 1997(a).
- ALSINA, O. L. S., SILVA, V. & MOURA, C. S., " Efeito de Pré-Tratamentos
Químicos na Taxa de Secagem de Acerola em Monocamada". In: XVI
CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS (ANAIS), vol. 3, Rio de Janeiro – RJ, pp. 1768 – 1771, 1998.
- ALVES, R. E., *Acerola (Malpighia emarginata DC). Fisiologia da Maturação e
Armazenamento Refrigerado Sob Atmosfera Ambiente e Modificada.*
Lavras – MG, Dissertação (Mestrado), ESAL, 1993.
- APOSTILA DO CURSO de "Desidratação de Frutas" do Curso de Química
Industrial da UFPB Campus I, 1994.
- ASENJO, O. F., *Acerola* In NAGY. S & SHAW. P. E *Tropical and subtropical
fruits: composition, properties and uses* wesport. Avi, pp 341 a 374 -
1980.

- BARROZO, M. A. S., SARTORI, D. J. M., FREIRE, J. T., **Secagem de Grãos em Camada Fina. Um Estudo Sobre as Equações de Secagem**, Revista Brasileira de Engenharia Química, Agosto, 1994.
- BROOKER, D. B. & BAKKER-ARKENA, F. w. & HALL, C. W., "Drying Cereal Grains". **AVI Publishing Co., Westport, Connecticut**, pp. 185, 1974. Apud MARIZ, T. F., **Secagem de Casca de Caroso de Algodão em Leito Fixo**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1986.
- BROOKER, D. B.; HERDERSON, J. M. & HERDERSON, S. M. (1969); OVERHULTZ, D. G.; PAGE, G. E. (1949); TOBINAGA, S. & PINTO, L. A. A. (1992). Apud MOTTA LIMA, O. C. & MASSARANI, G.; " **Estudo Sobre a Secagem de Papel III: Uma Análise das Equações de Secagem**". Trabalho apresentado no XXIII COBRASP (ENEMP), (outubro, 1995), Maringá, BR.
- CARVALHO, R. I. N. & MANICA, I. "Acerola - **Composição e Armazenamento de frutos**", **Cadernos de Horticultura**, UFRGS, ano 1, nº 1, 1993. Apud MORAIS, V. L. M., **Estudo do desempenho de um leito de jorro convencional para secagem de polpa de acerola**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1996.
- COULSON, J. M. & RICHARDSON, J. F. "Tecnologia Química - Operações Unitárias v. II". Segunda edição, Fundação Caloust Gulbernkian, Lisboa, pp. 657, 1974. Apud MARIZ, T. F., **Secagem de Casca de Caroso de Algodão em Leito Fixo**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1986.
- COUTINHO, S. A., "Pré-Tratamentos Químicos na **Secagem de Frutas. Efeito sobre a Cinética e a Qualidade do Produto**". Relatório de Iniciação Científica – UFPB, PIBIC/CNPq/UFPB – Campus II Campina Grande, 1999.
- CRANK, J., "The Mathematics of Diffusion". Segunda Edição. **University Press**. Oxford, pp. 405, 1975. Apud TOBINAGA, S. & PINTO, L. A. A., "Secagem de

Materiais Fibrosos: Músculos de Peixes". **Tópicos Especiais em Secagem**, Vol. I, pp. 211- 251, 1992.

DINCER, I., "Sun Drying of Sultana Grapes". **Drying Technology**, Vitória, 14 (7 & 8); pp. 1827-1838, 1996.

FOUST; WENZEL; CLUMP; MAUS; ANDERSEN; "Princípios das Operações Unitárias", Segunda edição. Editora L.T.C.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Censo Agropecuário 1995 – 1996 – Paraíba**.

ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Banana Passa Princípios de Secagem**, Conservação e Produção Industrial, Manual Técnico, Ano 1, Nº 1, 1993.

KETELAARS, A. A. J., PEL, L., COUMANS, W. J., KERKHOFF, P. J. A. M., Drying Kinetics: A comparison of diffusion coefficients from moisture concentration profiles and drying curves, **Chemical Engineering Science**, vol. 50, Nº 7, pp. 1187-1191, Inglaterra, 1995.

LEWICKI, P. P. and PIECHNIK, H., Computer Image Analysis of Shrinkage During Food Dehydration, **Drying 96**, vol. B, pp. 793 – 800, 1996.

LIMA, L. M. R., "Estudo das Variáveis Fluidodinâmicas na Secagem de Polpa de Acerola em Leito de Jorro Convencional". Campina Grande – PB, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1996.

MARINO NETO, L., **Acerola - a cereja tropical**. São Paulo: Livraria Nobel S.A., pp. 94, 1986.

- MARIZ, T. F., **Secagem de Casca de Caroso de Algodão em Leito Fixo**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1986.
- McGRAW, O. L. S. and JAIRAM, J., "Drying Characteristics of Pigeon Peas (Cajanus Cajan)", **Drying 96**, Vol. B, pp 973 – 980, 1996.
- MELO, H. C., **Tecnologia de Secagem de Frutos**. Curso pela UFPB - Campus I João Pessoa, julho de 1994.
- MORAIS, V. L. M., **Estudo do desempenho de um leito de jorro convencional para secagem de polpa de acerola**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1996.
- MOSCOSO, 1956. Apud MARINHO NETO, L., **Acerola - a cereja tropical**. São Paulo: Livraria Nobel S. A., pp 94, 1986.
- MOTTA LIMA, ° C.; MASSARANI, G.; "Estudo sobre a Secagem de Papel II: Uma Análise das Equações de secagem", XXIII ENEMP, Vol. 1, págs. 431 – 440, 1995.
- PARK. 1987. Apud TOBINAGA, S. & PINTO, L. A. A., "**Secagem de Materiais Fibrosos: Músculos de Peixes**". Tópicos Especiais em Secagem, Vol. I, pp. 211- 251, 1992.
- PERRY, R. H. & CHILTON, C. H., **Manual de Engenharia Química**. 5ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980.
- PINTO, A. L., TOBINAGA, S., Difusividade efetiva de umidade na secagem de músculos de peixe, tobinaga, **Anais do XXI ENEMP**, Ouro Preto, MG, 1993.
- POSSINGHAM, J. V. & CHAMBERS, T. C., "Studies of the Fine Structure of the Wax Layer of Sultana Grapes", **Austr. J. Biol. Sci.**, 16, pp. 818- 825, 1963.

RAHMAN, M. S. & PERERA, C. O., "Effect of Pre-treatment on air Drying Rate and Thin Layer Drying Kinetics of Fresh Cherry". **Drying'96**, Poland, pp. 1053-1060, 1996.

RATTI, C., "**Shrinkage During Drying of Foodstuffs**". *Journal of Food Engineering*, 23, pp. 91 – 105, 1994.

Revista Globo Ciência – "Vitamina C dá em árvore" – Ano 4, número 41, **Editora Globo**, pp 39 – 42, Dezembro de 1993.

SALAS, F. & LABUZA, T. P., "Surface Active Agents Effects on Drying Characteristics of Model Food Systems". **Food Techn.**, 22, pp. 1576-1580, 1968.

SANTOS, H. F., MANCINI, M.C., CALADO, V. M. A., Secagem em camada fina: estudo de transferência de massa, **Anais do XXI ENEMP**, Ouro Preto, MG, 1993.

SANTOS, H. F., BISCAIA Jr., E., MASSARANI, G., Modelagem dinâmica e simulação de secadores em leito fixo, **Anais do XXI ENEMP**, Ouro Preto, MG, 1993.

SARAVACOS, G. D. & CHARMS, S. E., "Effect of Surface Active Agents on the Dehydration of Fruit and Vegetable". **Food Techn.**, 16, pp. 91- 93, 1962.

SARAVACOS, G. D. & RAOUZEOS, G. S., "Diffusivity of moisture in air-drying of Raisins. In: **Drying' 86**, vol. 2, pp. 486-491, 1986.

SILVA, V. A., "**Efeito de Pré- Tratamentos Químicos na Taxa de Secagem de Acerola em Monocamada**". Campina Grande – PB, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1998.

- SOUZA, A. M. F., SARTORI, D. J. M., Análise da Influência da Temperatura e da Velocidade do Ar na Cinética de Secagem de Grãos, **Anais do XXI ENEMP**, Ouro Preto, MG, 1993.
- SHERWOOD, T. K., "Aplication of the Theorical Diffusion Equations to the Drying of Solids". *Trans. Am. Inst. Chem. Eng.*, 27, pp. 310-333, 1939.
- SRZEDNICKI, G. S.; JOENG, Y. H. & DRISCOLL, R. H., "Studies on Drying of Australian Sweet Cherries". **Drying'96**, Poland, pp. 831- 838, 1996.
- TELIS-ROMERO, J., GABAS, A. L. & RIZATTO, M. L., "Efeito de Pré-tratamentos Químicos na Taxa de Secagem de Uva Italia e Rubi em Leito Fixo". In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS. (**Anais do XXIII ENEMP**), pp. 453- 463, 1995.
- THOMPSON, T. L., PEART, R. M. & FOSTER, G. H. "Mathematical simulation of corn drying", 1968. Apud MARTINS, J. H. & MATA, M. E. R. M., "Introdução à Teoria e Simulação Matemática de Secagem de Grãos". **Nucleo de Tecnologia em armazenagem**, UFPB, pp. 104, 1984.
- TOBINAGA, S. & PINTO, L. A. A., "Secagem de Materiais Fibrosos: Músculos de Peixes". **Tópicos Especiais em Secagem**, Vol. I, pp. 211- 251, 1992.
- ZORRILA, S. E., RUBIOLO, A. C., "A model for using the diffusion cell in the determination of multicomponent diffusion coefficients in gels or foods", *Chemical Engineering Science*, vol. 49, N° 13, pp. 2123-2128, Inglaterra, 1994.

APÊNDICE A

(Tabela de dados obtidos experimentalmente na câmara de secagem)

TABELA - 01 (Experimento 01)

SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 89,52 %

Velocidade do ar de secagem = 1,2 m/s

Temperatura do ar de secagem = 70°C Temperatura ambiente (inicial) = 25°C

Massa de sólido seco = 9,025 g

Umidade relativa do ar (inicial) = 79,8%

Tempo (min)	Peso (g)	Ubu %	Ubs
0	86,12	89,52	8,54
5	85,63	89,46	8,48
10	84,85	89,36	8,40
15	83,73	89,22	8,27
20	82,38	89,04	8,13
25	81,13	88,88	7,99
30	79,75	88,68	7,83
35	77,65	88,38	7,60
40	76,76	88,24	7,50
45	75,72	88,08	7,39
50	74,57	87,90	7,26
55	73,46	87,71	7,14
60	72,3	87,52	7,01
65	71,17	87,32	6,88
70	69,89	87,09	6,74
75	68,92	86,90	6,63
80	67,71	86,67	6,50
85	66,56	86,44	6,37
90	65,49	86,22	6,25
95	64,41	85,99	6,13
100	63,28	85,74	6,01
105	62,24	85,50	5,89
110	61,11	85,23	5,77
115	60,14	84,99	5,66
125	58,3	84,52	5,46
170	49,53	81,78	4,48
180	48,01	81,20	4,32
190	46,44	80,57	4,14
200	44,82	79,86	3,96
210	43,4	79,20	3,80
220	41,91	78,46	3,64
230	40,37	77,64	3,47
240	39,07	76,90	3,33
250	37,63	76,02	3,17
260	36,22	75,08	3,01
270	34,9	74,14	2,86
280	33,7	73,22	2,73

290	32,32	72,07	2,58
305	30,53	70,44	2,38
320	28,73	68,59	2,18
335	26,95	66,51	1,98
355	24,72	63,49	1,74
375	22,69	60,22	1,51
395	20,73	56,46	1,29
405	19,9	54,65	1,20

TABELA - 02 (Experimento 02)

SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 90,20%
 Temp. do ar de secagem = 70°C
 Massa de sólido seco = 8,768g

Velocidade do ar de secagem = 1,4m/s
 Temperatura ambiente (inicial)= 25°C
 Umidade relativa do ar (inicial)= 76,8%

Tempo (min)	Massa (g)	Ubu (%)	Ubs
0	89,47	90,20	9,2
5	88,15	90,05	9,05
10	86,49	89,91	8,86
15	84,73	89,65	8,66
20	82,98	89,43	8,46
25	81,31	89,22	8,27
30	79,88	89,02	8,11
40	76,62	88,56	7,73
50	73,71	88,10	7,40
60	71,18	87,68	7,11
70	68,70	87,24	6,83
80	66,25	86,77	6,55
90	63,94	86,29	6,29
100	69,67	85,84	6,13
110	59,67	85,31	5,80
120	57,59	84,78	5,57
130	55,71	84,26	5,35
140	53,77	83,69	5,13
150	52,04	83,15	4,93
170	48,38	81,88	4,51
190	45,18	80,59	4,15
210	42,11	79,18	3,80
230	39,14	77,60	3,46
250	36,22	75,79	3,13
270	33,86	74,10	2,86
290	31,17	71,87	2,55
310	28,82	69,58	2,28
340	25,86	66,09	1,95
370	23,15	62,13	1,64
400	20,85	57,95	1,37

TABELA - 03 (Experimento 03)

SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 88,05%

Temp. do ar de secagem = 70°C

Massa de sólido seco = 11,10g

Velocidade do ar de secagem = 0,7m/s

Temperatura ambiente (inicial) = 24°C

Umidade relativa do ar (inicial) = 77,2%

Tempo (min)	Massa (g)	Ubu (%)	Ubs
0	92,88	88,05	7,367
5	92,46	88	7,329
10	91,81	87,91	7,271
15	90,96	87,80	7,194
20	89,99	87,67	7,107
25	89,08	87,54	7,025
30	88,03	87,39	6,930
35	87,01	87,24	6,838
40	86	87,09	6,747
45	84,97	86,94	6,655
50	83,98	86,78	6,565
55	82,61	86,56	6,442
65	80,83	86,27	6,282
75	78,79	85,91	6,098
85	76,86	85,56	5,924
95	74,91	85,13	5,748
100	73,87	84,97	5,655
110	71,82	84,55	5,470
120	69,86	84,11	5,293
135	67,03	83,44	5,038
150	64,29	82,74	4,792
170	60,43	81,63	4,444
190	56,91	80,50	4,127
210	53,51	79,26	3,820
230	50,11	77,85	3,514
250	46,75	76,26	3,211
270	44,17	74,87	2,979
290	41,51	73,26	2,739
310	38,78	71,38	2,493
340	35,37	68,62	2,186
370	32,1	65,42	1,891

TABELA - 04 (Experimento 04)

SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 91%

Temp. do ar de secagem = 60°C

Massa de sólido seco = 8,568g

Velocidade do ar de secagem = 0,7m/s

Temperatura ambiente (inicial)= 23°C

Umidade relativa do ar (inicial)= 73,5%

Tempo (min)	Massa (g)	Ubu (%)	Ubs
0	95,21	91	9,235
5	94,99	90,98	9,212
10	94,73	90,96	9,184
15	94,38	90,92	9,146
20	93,87	90,87	9,091
25	93,42	90,83	9,043
30	92,96	90,78	8,993
35	92,50	90,74	8,944
40	92,01	90,68	8,891
45	91,48	90,63	8,834
50	91,07	90,59	8,790
55	90,59	90,54	8,738
60	90,13	90,49	8,689
70	89,09	90,38	8,577
80	88,32	90,30	8,494
90	87,52	90,21	8,408
100	86,60	90,11	8,309
110	85,74	90,01	8,217
210	77,61	88,96	7,343
230	75,99	88,72	7,169
250	74,53	88,50	7,012
270	72,88	88,24	6,835
280	72,06	88,11	6,746
300	70,89	87,91	6,621
330	67,89	87,38	6,298
360	65,60	86,94	6,052

TABELA - 05 (Experimento 05)

SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 88,37%

Temp. do ar de secagem = 70°C

Massa de sólido seco = 8,346g

Velocidade do ar de secagem = 1,5m/s

Temperatura ambiente (inicial) = 24°C

Umidade relativa do ar (inicial) = 71,7%

Tempo (min)	Massa (g)	Ubu (%)	Ubs
0	71,77	88,37	7,599
30	66,91	87,54	7,017
60	62,13	86,58	6,444
90	57,02	85,37	5,832
94	56,17	85,15	5,730
95	55,98	85,10	5,707
120	51,54	83,82	5,175
150	47,75	82,53	4,721
180	43,13	80,66	4,167
210	38,89	78,56	3,659
240	35,21	76,31	3,218
258	33,06	74,77	2,961
300	29,75	71,97	2,564
330	26,82	68,91	2,213
360	24,19	65,52	1,898
390	21,52	61,25	1,578
420	19,23	56,63	1,304
450	17,41	52,10	1,086
480	15,68	46,81	0,878
510	14,13	40,98	0,675
540	12,87	35,20	0,542
570	11,97	30,33	0,434
600	11,09	24,80	0,328

TABELA - 06 (Experimento 06)

SECAGEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 89,80%

Temp. do ar de secagem = 80°C

Massa de sólido seco = 7,795g

Velocidade do ar de secagem = 1,4m/s

Temperatura ambiente (inicial) = 24°C

Umidade relativa do ar (inicial)= 70,5%

Tempo (min)	Massa (g)	Ubu (%)	Ubs
0	76,42	89,80	8,8
30	67,29	88,41	7,63
60	58,51	86,67	6,50
90	51,31	84,86	5,58
120	44,98	82,67	4,77
150	38,91	79,96	3,99
180	33,82	76,95	3,33
210	29,76	73,80	2,82
240	25,40	69,31	2,26
270	22,01	64,58	1,82
300	19,10	59,18	1,45
330	16,63	53,12	1,13
360	14,69	46,93	0,88
390	12,98	39,94	0,66
420	11,78	33,83	0,51
450	10,64	26,74	0,36
480	9,75	20,05	0,25
510	9,07	14,05	0,16

TABELA - 07 (Experimento 07)

SECABEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 88,42%

Temp. do ar de secagem = 90°C

Massa de sólido seco = 8,821g

Velocidade do ar de secagem = 0,7m/s

Temperatura ambiente(inicial) = 26°C

Umidade relativa do ar(inicial) = 58,10%

Tempo (min)	Massa (g)	Ubu (%)	Ubs
0	76,18	88,42	7,63
30	66,74	86,78	6,56
60	55,91	84,22	5,34
90	47,58	81,46	4,39
120	40,15	78,03	3,55
150	33,63	73,77	2,81
180	28,19	68,70	2,19
210	23,35	62,22	1,65
245	18,63	52,65	1,11
270	16,37	46,11	0,85
300	14,02	37,08	0,59
360	10,86	18,77	0,23
420	9,93	11,17	0,12

Tabela 08 (Experimento 08)

SECABEM DE ACEROLA "IN NATURA"

Umidade inicial = 87,8%

Temp. do ar de secagem = 90°C

Massa de sólido seco = 7,47g

Velocidade do ar de secagem = 0,7m/s

Temperatura ambiente = 26°C

Umidade relativa do ar (inicial) = 75,0%

Tempo (min)	Massa (g)	Ubu (%)	Ubs
0	61,23	87,8	7,196
30	53,76	86,10	6,196
60	44,82	83,33	5,000
80	40,66	81,63	4,443
83	40,46	81,53	4,416
90	38,91	80,80	4,208
120	31,76	76,48	3,251
150	27,27	72,60	2,650
155	26,94	72,27	2,606
180	23,03	67,56	2,083
210	18,61	59,86	1,491
240	15,23	50,95	1,038
265	13,66	45,31	0,828
270	13,27	43,70	0,776
300	11,39	34,41	0,527
330	9,89	24,47	0,324
360	8,93	16,35	0,195
380	8,53	12,42	0,142
390	8,38	10,86	

APÊNDICE B

(Fotografias da acerola obtidas na secagem convectiva)

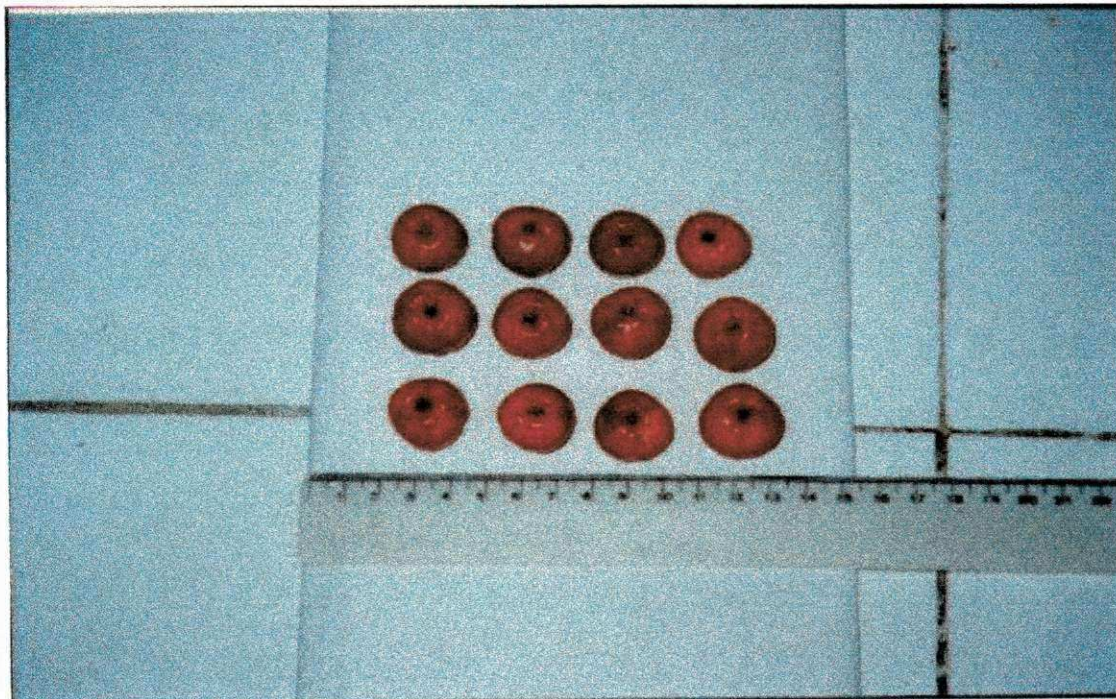


Fig. B1 – Fotografia da acerola obtida antes da secagem, $t = 0$, $U_u = 87,8\%$



Fig.B2 – Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t = 80\text{min}$, $U_u = 81,63\%$

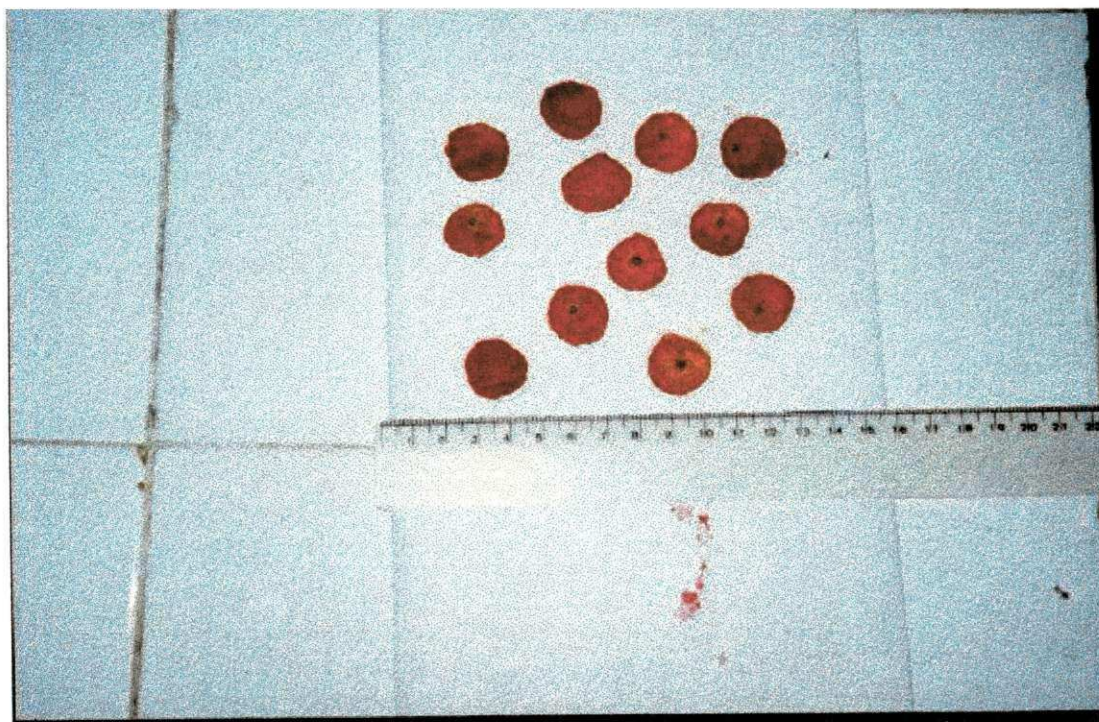


Fig.B3 – Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t=155\text{min}$, $U_u=72,27\%$

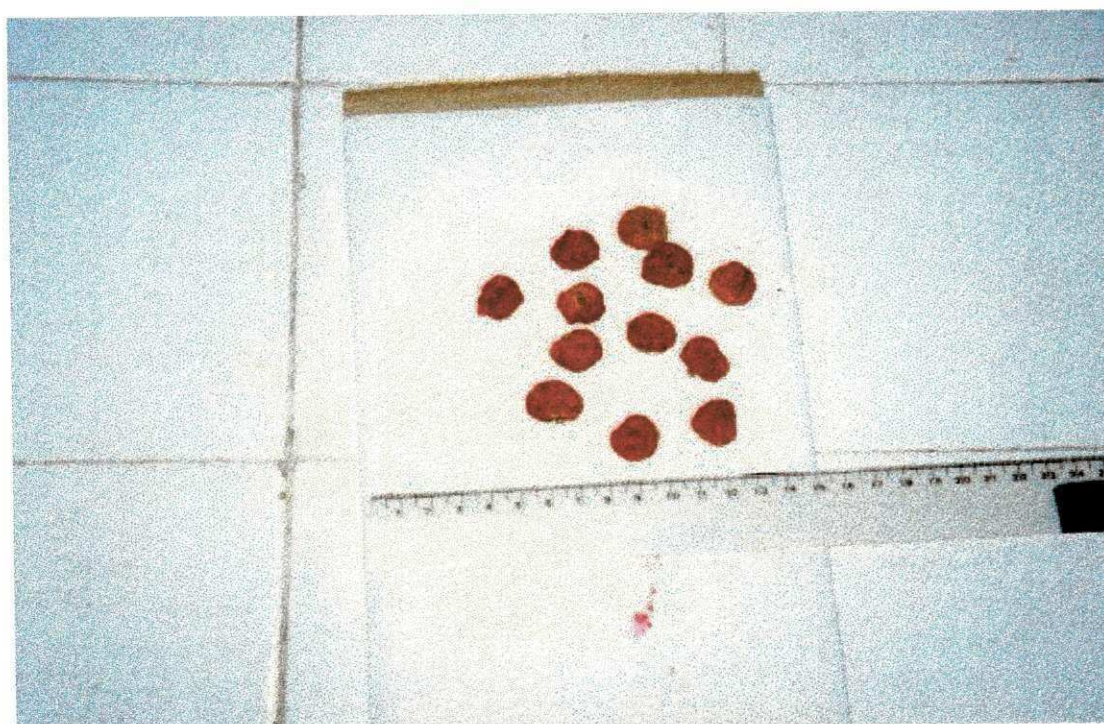


Fig. B4 = Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t = 265\text{min}$,
 $U_u = 45,31\%$

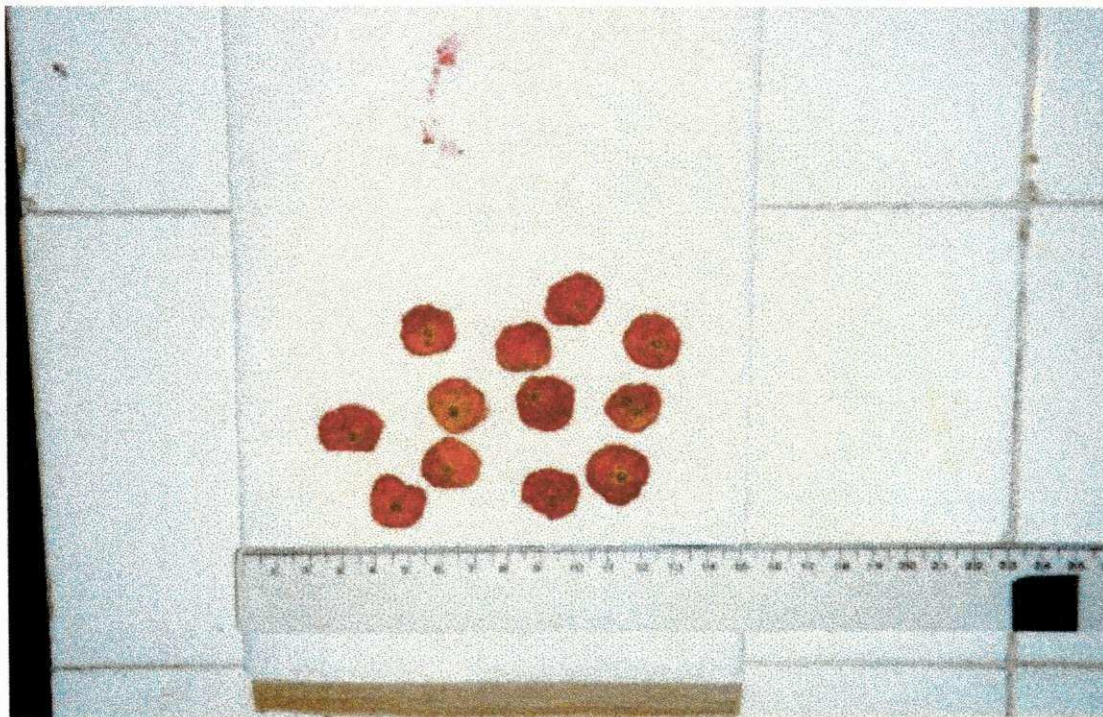


Fig. B5 – Fotografia da acerola obtida após a secagem, $t = 380\text{min}$,
 $U_u = 12,42\%$

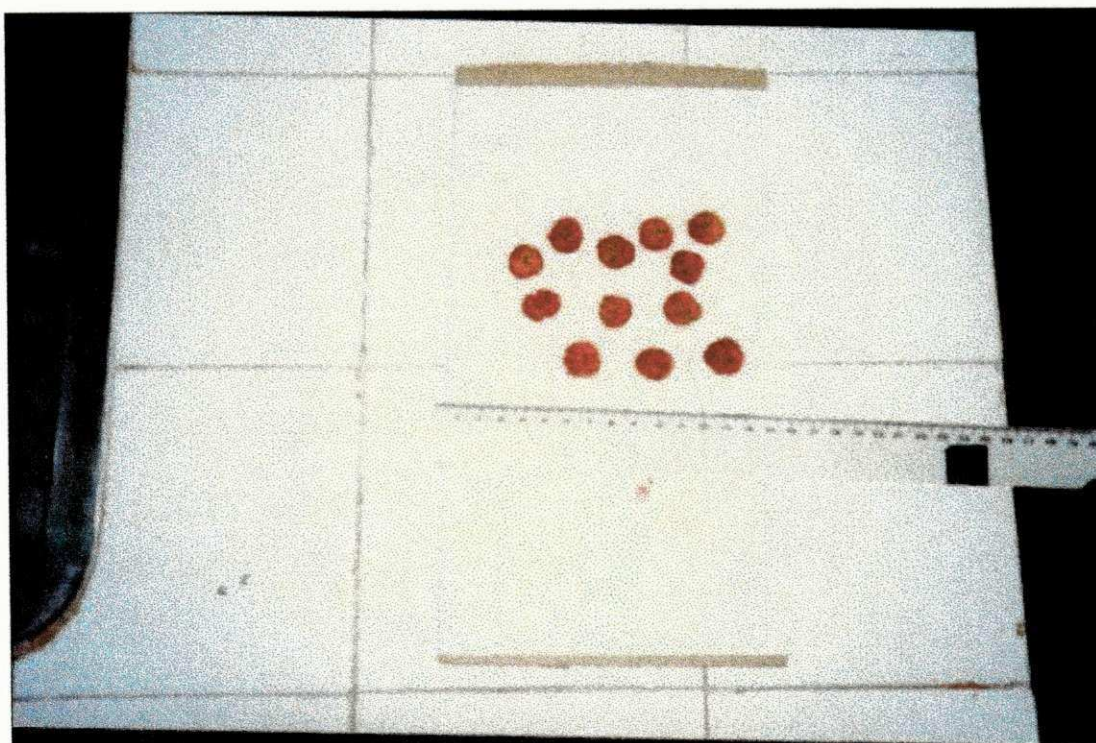


Fig. B6 – Fotografia da acerola obtida após a secagem (obs: Após sair da câmara de secagem, as mesmas foram colocadas na estufa a 70°C por 1115min , $U_u = 1,82\%$.)



Fig. B7 – Fotografia da acerola após a secagem (obs. Após sair da câmara de secagem, as mesmas foram colocadas na estufa a 70°C por 1420min, $U_u = 0,107\%$).

APÊNDICE C

(Programa para cálculo dos dados psicrométricos)

C PROGRAMA: PSYCHRO

C.....

C CÁLCULOS DE DADOS PSICROMÉTRICOS NAS UNIDADES DO
C SISTEMA SI.

C

C ESTE PROGRAMA CÁLCULA PARÂMETROS PSICROMÉTRICOS,
C PARA AS COMBINAÇÕES DOS PARÂMETROS DE ENTRADA
C TEMPERATURAS DE BULBO SECO E BULBO ÚMIDO, PONTO DE
C ORVALHO, UMIDADE RELATIVA E RAZÃO DE UMIDADE.

C ENTRE COM OS DADOS PEDIDOS.

C

C AS EQUAÇÕES USADAS FORAM DE L.R. WILHELM, TRANS. ASAE,
C VOL. 19, 318-325 (1976).

C

C ESCRITO POR KEITH REINHARDT E MODIFICADO POR VERUSCKA.
C ARAÚJO SILVA

C.....

DOUBLE PRECISION P,R,T,TWB,W,DSAT,RH,PW,TDP,H,V

INTEGER DATA,AGAIN

DATA P,R/96.000D0,.28705D0/

OPEN(1,FILE='PSIC1.SAI',STATUS='UNKNOWN')

WRITE(*,20)

20 FORMAT(' PROGRAM PSYCHRO',//,' COMPUTATION OF ',
2 ' PSYCHROMETRIC DATA IN SI UNITS.',/)

WRITE(*,21)

21 FORMAT('THISPROGRAM CALCULATES SELECTED SYCHROMETRIC',
2 ' PARAMETERS FROM COMBINATIONS',/, ' OF THE INPUT ',
3 'PARAMETERS WET AND DRY-BULB TEMPERATURES, DEW OINT',,
4 ' AND',/, 'RELATIVE HUMIDITY, RATIO HUMIDITY.',//, 'ENTER THE DATA
5 AS ', 'REQUESTED.',/)

C.....

C SELECT TYPE OF DATA TO BE ENTERED

C

5 WRITE(*,200)

200 FORMAT(' WHAT TYPE OF DATA DO YOU HAVE? TYPE THE CORRECT',
2 ' NUMBER AND PRESS ENTER.',/,6X,'1) DRY-BULB AND WET-BULB',
3 ' TEMPERATURES',/,6X,'2) DRY-BULB AND DEW POINT',
4 ' TEMPERATURES',/,6X,'3) DRY-BULB TEMPERATURE AND RELATIVE',

```

5 ' HUMIDITY',/,6X,'4) DRY-BULB TEMPERATURE AND HUMIDITY',
7 ' RATIO',/)
  READ(*,*) DATA
C
C.....
C  CALL CORRECT SUBPROGRAM FOR TYPE OF DATA ENTERED
C
  IF(DATA.EQ.1) CALL WETBLB(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
  IF(DATA.EQ.2) CALL DEWPT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
  IF(DATA.EQ.3) CALL HUMIDT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
  IF(DATA.EQ.4) CALL RATIO(P,R ,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
C
C.....
C  DATA OUTPUT
C
  WRITE(*,205)
205  FORMAT(//)
  WRITE(1,210)
210  FORMAT(' THE RESULTS ARE:')
  WRITE(1,220) T,TWB,TDP,RH,H,W,DSAT,V,PW
220  FORMAT(6X,'DRY-BULB TEMPERATURE: ',F6.2,' DEGREES C',/,
  2 6X,'WET-BULB TEMPERATURE: ',F6.2,' DEGREES C',/,
  3 6X,'DEW POINT TEMPERATURE: ',F6.2,' DEGREES C',/,
  4 6X,'RELATIVE HUMIDITY: ',F5.2,' PERCENT',/,
  5 6X,'ENTHALPY: ',F7.2,' J/G',/,
  6 6X,'HUMIDITY RATIO: ',E11.4,/,6X,'DEGREE OF SATURATION: ',
  7 F9.4,/,6X,'SPECIFIC VOLUME: ',F6.3,' CU. M/KG',/,
  8 6X,'VAPOR PARTIAL PRESSURE: ',F6.3,' KPA')
  WRITE(1,205)
  WRITE(*,230)
230  FORMAT(' DO YOU WANT TO RUN AGAIN? ENTER THE APPROPRIATE',
  2 ' NUMBER. 1)YES 2)NO.',/)
  READ(*,*) AGAIN
  IF(AGAIN.EQ.1) GO TO 5
  STOP
  END
C.....
C  SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB AND WET-BULB TEMPERATURES
C  ARE KNOWN.
C

```

```

SUBROUTINE WETBLB(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB,TK,TWBK,
2 PWSWB,WSWB,PWS,WS,ALPHA
C
C.....
C   ENTER DRY-BULB AND WET-BULB TEMPERATURES
C
WRITE(*,11)
11 FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB AND WET-BULB TEMPERATURES',
2 ' IN DEGREES C.',/)
READ(*,*) T,TWB
C
C.....
C   PERFORM CALCULATIONS
C
TK=T+273.16
TWBK=TWB+273.16
IF(TWBK.LE.273.16) CALL WVP1(TWBK,PWSWB)
IF(TWBK.GT.273.16) CALL WVP2(TWBK,PWSWB)
WSWB=.62198*PWSWB/(P-PWSWB)
IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
WS=.62198*PWS/(P-PWS)
W=((2501-2.411*TWB)*WSWB-1.006*(T-TWB))/(2501+1.775*T
2 -4.186*TWB)
DSAT=W/WS
PW=P*W/(.62198+W)
RH=PW/PWS*100.
ALPHA=DLOG(PW)
IF(T.LE.0) TDP=5.994+12.41*ALPHA+.4273*ALPHA**2
IF(T.GT.0.AND.T.LE.50) TDP=6.983+14.38*ALPHA+1.079*ALPHA**2
IF(T.GT.50) TDP=13.8+9.478*ALPHA+1.991*ALPHA**2
H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
V=R*TK/P*(1.+1.6078*W)
RETURN
END
C.....
C SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB AND DEW POINT TEMPERATURES
C   ARE KNOWN.
C

```

```

SUBROUTINE DEWPT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB,TK,TDPK,
2 PWS,WS
C
C.....
C   ENTER DRY-BULB AND DEW POINT TEMPERATURES
C
WRITE(*,1)
1 FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB AND DEW POINT TEMPERATURES',
2 ' IN DEGREES C.',/)
READ(*,*) T,TDP
C
C.....
C   PERFORM CALCULATIONS
C
TK=T+273.16
TDPK=TDP+273.16
IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
WS=.62198*PWS/(P-PWS)
IF(TDPK.LE.273.16) CALL WVP1(TDPK,PW)
IF(TDPK.GT.273.16) CALL WVP2(TDPK,PW)
W=.62198*PW/(P-PW)
DSAT=W/WS
RH=PW/PWS*100.
H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
V=R*TK/P*(1+1.6078*W)
C
C.....
C   CALL SUBROUTINE TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
CALL WETTEMP(T,TDP,TWB,W,P)
RETURN
END
C.....
C   SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB TEMPERATURE AND RELATIVE
C   HUMIDITY ARE KNOWN
C
SUBROUTINE HUMIDT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB,TK,PWS,WS,

```

```

2 ALPHA
C
C.....
C   ENTER DRY-BULB TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY
C
   WRITE(*,5)
5   FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB TEMPERATURE IN DEGREES C',
2   ' AND THE RELATIVE HUMIDITY',/, ' IN PERCENT.',/)
   READ(*,*) T,RH
C
C.....
C   PERFORM CALCULATIONS
C
   TK=T+273.16
   RH=RH/100.
   IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
   IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
   WS=.62198*PWS/(P-PWS)
   PW=PWS*RH
   W=.62198*PW/(P-PW)
   DSAT=W/WS
   H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
   V=R*TK/P*(1.+1.6078*W)
   ALPHA=DLOG(PW)
   IF(T.LE.0) TDP=5.994+12.41*ALPHA+.4273*ALPHA**2
   IF(T.GT.0.AND.T.LE.50) TDP=6.983+14.38*ALPHA+1.079*ALPHA**2
   IF(T.GT.50) TDP=13.8+9.478*ALPHA+1.991*ALPHA**2
C
C
C
C   CALL SUBROUTINE TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
   CALL WETTEMP(T,TDP,TWB,W,P)
   RH=RH*100.
   RETURN
   END
C.....
C   SUBROUTINE CALLED TO FIND Pws WHEN TEMPERATURE IS LESS THEN
C   273.16 K
C

```

```

SUBROUTINE WVP1(TT,PWS)
DOUBLE PRECISION TT,PWS
PWS=DEXP(24.2779-6238.64/TT-.344438*DLOG(TT))
RETURN
END

```

```

C.....
C SUBROUTINE CALLED TO FIND Pws WHEN TEMPERATURE IS GREATER
C THEN 273.16 K
C

```

```

SUBROUTINE WVP2(TT,PWS)
DOUBLE PRECISION TT,PWS
PWS=DEXP(-7511.52/TT+89.63121+.02399897*TT-1.1654551D-5*TT**
2 2-1.2810336D-8*TT**3+2.0998405D-11*TT**4-12.150799*DLOG(TT))
RETURN
END

```

```

C.....
C SUBROUTINE CALLED TO FIND WET-BULB TEMPERATURE USING THE
C SECANT METHOD
C

```

```

SUBROUTINE WETTEMP(T,TDP,TWB,W,P)
DOUBLE PRECISION X0,X1,TWB,W,P,PWSWB,WSWB,F0,DELTA,T,X0K,
2 X1K,F1,DELTA,TDP
X0=T
X1=TDP
X0K=X0+273.16
IF(X0K.LE.273.16) CALL WVP1(X0K,PWSWB)
IF(X0K.GT.273.16) CALL WVP2(X0K,PWSWB)
WSWB=.62198*PWSWB/(P-PWSWB)
F0=W-(((2501.-2.411*X0)*WSWB-1.006*(T-X0))/(2501.+1.775*T
2 -4.186*X0))
DELTA=X1-X0

```

```

C
C.....
C DO UP TO 100 ITERATIONS TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
DO 20 N=1,100
X1K=X1+273.16
IF(X1K.LE.273.16) CALL WVP1(X1K,PWSWB)
IF(X1K.GT.273.16) CALL WVP2(X1K,PWSWB)

```

```

WSWB=.62198*PWSWB/(P-PWSWB)
F1=W-(((2501.-2.411*X1)*WSWB-1.006*(T-X1))/(2501.+1.775*T
2 -4.186*X1))
IF(DABS(F1).LE.1.D-6) GO TO 30
DELTA F=F0-F1
IF(DELTA F.EQ.0.) GO TO 40
DELTA X=F1/DELTA F*DELTA X
X0=X1
X1=X1+DELTA X
IF(DABS(DELTA X).LE.1.D-6) GO TO 30
20 F0=F1
GO TO 40
30 TWB=X1
RETURN
C
C.....
C WET-BULB TEMPERATURE IS NOT FOUND
C
40 WRITE(*,50)
50 FORMAT(/,' NO VALUE FOR THE WET-BULB TEMPERATURE CAN BE ',
2 ' FOUND. ')
RETURN
END

c SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB AND HUMIDITY RATIO ARE KNOW.
C
SUBROUTINE RATIO(P,R ,RH, H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB,TK,PWS,WS,
2 ALPHA
C
C
C.....
C ENTER DRY-BULB TEMPERATURE AND HUMIDITY RATIO
C
WRITE(*,10)
10 FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB TEMPERATURE IN DEGREES C',
2 ' AND THE HUMIDITY RATIO',/)
READ(*,*) T,W
C

```

```

C.....
C   PERFORM CALCULATIONS
C
      TK=T+273.16
      W=W
      IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
      IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
      WS=.62198*PWS/(P-PWS)
      PW=P*W/(.62198+W)
      DSAT=W/WS
      RH=PW/PWS*100.
      H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
      V=R*TK/P*(1.+1.6078*W)
      ALPHA=DLOG(PW)
      IF(T.LE.0) TDP=5.994+12.41*ALPHA+.4273*ALPHA**2
      IF(T.GT.0.AND.T.LE.50) TDP=6.983+14.38*ALPHA+1.079*ALPHA**2
      IF(T.GT.50) TDP=13.8+9.478*ALPHA+1.991*ALPHA**2
C
C
C
C.....
C   CALL SUBROUTINE TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
      CALL WETTEMP(T,TDP,TWB,W,P)
      RH=RH*100.
      RETURN
      END
C
C
C
C
C.....
C   VARIABLE LIST
C
C   AGAIN : REPEAT VARIABLE
C   ALPHA : CONSTANT USED TO FIND Tdp
C   DATA : TYPE OF DATA
C   DELTAF : DIFFERENCE IN FUNCTION VALUES
C   DELTAX : DIFFERENCE IN BOUND VALUES

```


C DSAT : DEGREE OF SATURATION
C FO : FUNCTION AT XO
C F1 : FUNCTION AT X1
C H : ENTHALPY
C N : LOOP VARIABLE
C P : PRESSURE
C PW : VAPOR PRESSURE
C PWS : VAPOR PRESSURE AT SATURATION
C PWSWB : VAPOR PRESSURE AT SATURATION AND WET BULB TEMP.
C R : GAS CONSTANT
C RH : RELATIVE HUMIDITY
C T : DRY-BULB TEMPERATURE
C TDP : DEW POINT TEMPERATURE
C TDPK : DEW POINT TEMPERATURE IN K
C TK : DRY-BULB TEMPERATURE IN K
C TT : TEMPERATURE IN K USED TO FIND PWS
C TWB : WET-BULB TEMPERATURE
C TWBK : WET-BULB TEMPERATURE IN K
C V : SPECIFIC VOLUME
C W : HUMIDITY RATIO
C WS : HUMIDITY RATIO AT SATURATION
C WSWB : HUMIDITY RATIO AT SATURATION AND WET-BULB TEMP.
C XO : TEMPERATURE BOUND
C XOK : TEMPERATURE BOUND IN K
C X1 : TEMPERATURE BOUND
C X1K : TEMPERATURE BOUND IN K
C.....