

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

***DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE UMBU EM LEITO DE JORRO
- ESTUDOS DO DESEMPENHO DE UM JORRO CONVENCIONAL -***

CARLOS ANTONIO PEREIRA DE LIMA

CAMPINA GRANDE

MAIO DE 1993



DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE UMBU EM LEITE DE JORRO
- ESTUDOS DO DESEMPENHO DE UM JORRO CONVENCIONAL -

CARLOS ANTONIO PEREIRA DE LIMA

*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

ORIENTADORA: ODELSIA LEONOR SÁNCHEZ DE ALSINA

CAMPINA GRANDE

1993



L732d

Lima, Carlos Antonio Pereira de.

Desidratação de polpa de umbu em leite de jorro : estudos do desempenho de um jorro convencional / Carlos Antonio Pereira de Lima. - Campina Grande, 1993.
43 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Secagem de Produtos Agrícolas. 2. Umbu - Polpa - Secagem. 3. Dissertação. I. Alsina, Odelsia Leonor Sanchez de, Profa. Dra. II. Universidade Federal da Paraíba, Joao Pessoa (PB). III. Título

CDU 631.563.2(043)

DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE UMBU EM LEITO DE JORRO
- ESTUDOS DO DESEMPENHO DE UM JORRO CONVENCIONAL -

CARLOS ANTONIO PEREIRA DE LIMA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 06 / 05 / 93



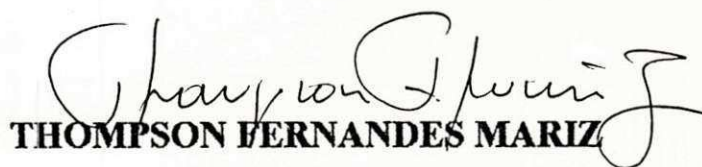
ODELSIA LEONOR SANCHEZ DE ALSINA

Orientador



KEPLER BORGES FRANÇA

Componente da Banca



THOMPSON FERNANDES MARIZ

Componente da Banca

CAMPINA GRANDE

1993

A Gilvânia,

A Rafael,

A meus pais.

ABSTRACT

In this work, experiments about the drying of "umbu" (*Spondias Tuberosa* Arruda Câmara) pulp on spouted bed were made to determine the effect of the air temperature over the humidity of the obtained powder and the vitamin C content, to verify the thermal degradation of the process as well as the quality of the product. The results pointed out the 70°C temperature (air input) as the most suitable for the operation.

Once chosen the adequate temperature for the drying, it was made another set of experiments to determine the effect of the inert loading, air outlet and also the circulation of solids over the maximum out let of pulp allowed on the bed. Such experiments were run in order to determine the operating conditions which allow the maximum capacity of production within the desired quality.

The drying of "umbu" pulp on spouted bed may be practicable, as long as an accomplished study on the operating conditions and scaling up will be made in order to optimize the process.

AGRADECIMENTOS

À Prof. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina, pela sua dedicação e competente orientação.

À equipe que trabalhou com secagem em leito de jorro (Maria F. M. Lima, Fátima M. F. Souza, Marcelo M. Almeida) pelo censo de companheirismo.

À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFPB pela oportunidade dada ao desenvolvimento da pesquisa científica.

RESUMO

Neste trabalho, secagem de polpa de umbu em leito de jorro, experimentos foram feitos para determinar o efeito da temperatura do ar na umidade do pó obtido e no teor de vitamina C, para verificar a degradação térmica do processo e, ainda a qualidade do produto. Os resultados indicam a temperatura de 70°C (entrada de ar) como a mais apropriada para a operação. Escolhida a temperatura mais indicada para a secagem, foram feitas outras séries de experimentos para determinar o efeito da carga de inerte, vazão de ar e também da circulação de sólidos na vazão máxima de polpa admissível no leito com o objetivo de reunir as condições de operação que favoreçam a capacidade máxima de produção na qualidade desejada. A secagem da polpa de umbu em leito de jorro pode ser viável, desde que se faça um estudo primoroso das condições operacionais e ampliação de escala que venham a otimizar o processo.

NOMENCLATURA

a_p	→ área específica da partícula (m^{-1})
D_c	→ diâmetro da coluna (m)
d_o	→ diâmetro do orifício de entrada do gás (m)
d_p	→ diâmetro da partícula (m)
d_v	→ diâmetro da esfera de igual volume (m)
H	→ altura do leito (m)
M_i	→ massa de inerte (kg)
M_p	→ massa da polpa (kg)
ΔP	→ queda de pressão medida na fonte (Pa)
ΔP_s	→ queda de pressão de jorro estável (Pa)
ΔP_m	→ queda de pressão máxima (Pa)
Q	→ vazão total do gás (m^3/s)
Q_s	→ vazão máxima de polpa (g/min)
q_s	→ vazão de sólidos (g/min)
Q_{jm}	→ vazão de jorro mínimo (m^3/s)
T_{amb}	→ temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
T_{ge}	→ temperatura do ar na entrada do secador ($^{\circ}C$)
$U_{pó}$	→ umidade do pó em base seca (%)
W_{ev}	→ taxa de evaporação (kg/s)
W_g	→ vazão mássica do gás (kg/s)
X_p	→ teor de sólidos (%)
Y	→ umidade relativa do ar (%)

SÍMBOLOS GREGOS:

γ	→ ângulo do atrito
ϵ_1	→ porosidade do leito fixo
ρ_1	→ densidade do leito (kg/m^3)
ρ_s	→ densidade do sólido inerte (kg/m^3)
ϕ	→ esfericidade

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 4.1 - Esquema do equipamento.....	15
FIGURA 4.1 - Efeito da temperatura de entrada do ar na umidade do produto.....	25
FIGURA 4.2 - Efeito da temperatura de entrada do ar no teor de vitamina C total do produto.....	26
FIGURA 4.3 - Efeito da vazão de ar na umidade do produto.....	29
FIGURA 4.4 - Efeito da altura do leito na umidade do produto.....	30
FIGURA 4.5 - Efeito da temperatura de entrada de ar na produção de pó.....	33
FIGURA 4.6 - Efeito da altura do leito na produção de pó.....	34
FIGURA 4.7 - Efeito da vazão de ar na vazão máxima de alimentação de polpa.....	35
FIGURA 4.8 - Taxa de secagem, influência da altura do leito.....	36

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3.1 - Propriedades da polpa de umbu.....	12
TABELA 3.2 - Caracterização das partículas.....	13
TABELA 3.3 - Características fluidodinâmicas do leito com polpa.....	20
TABELA 3.4 - Condições de operação mantidas no estudo de secagem de polpa de umbu em leito de jorro.....	22
TABELA 4.1 - Secagem da polpa de umbu, resultados experimentais.....	24

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO.....	01
-----------------	----

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O umbu.....	03
2.2 - O leite de jorro.....	04
2.3 - Processamento de pastas e suspensões em leite de jorro.....	07
2.3.1 - Secagem de pastas e suspensões.....	07
2.3.2 - Mecanismo de secagem.....	09

CAPÍTULO 3

MATERIAL, EQUIPAMENTO E MÉTODO EXPERIMENTAL

3.1 - Material.....	12
3.2 - Equipamentos.....	13
3.2.1 - Leite de jorro.....	13
3.2.2 - Sistema de escoamento de ar.....	14
3.2.3 - Sistema de aquecimento de ar.....	14
3.2.4 - Sistema de coleta de pó.....	14
3.2.5 - Sistema de alimentação de polpa.....	16
3.2.6 - Sistema de medida de temperatura.....	16
3.2.7 - Equipamentos auxiliares.....	16
3.3 - Procedimento Experimental.....	18
3.3.1 - Extração da polpa.....	18
3.3.2 - Secagem da polpa.....	18
3.3.3 - Determinação da umidade do pó e da polpa.....	19

3.3.4 - Características fluidodinâmicas do leite.....	20
3.4 - Condições de operação.....	21

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Qualidade do produto.....	23
4.1.1 - Efeito da temperatura.....	23
4.1.2 - Efeito da vazão de ar.....	28
4.1.3 - Efeito da altura do leite.....	28
4.2 - Capacidade de secagem.....	31
4.2.1 - Rendimento total da secagem.....	31
4.2.2 - Vazão máxima de polpa.....	31
4.2.3 - Taxa de evaporação.....	32

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES.....	37
-----------------	----

CAPÍTULO 6

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	39
---------------------------------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	40
--------------------------	-----------

APÊNDICE 1

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O umbu (*Spondias Tuberosa* Arruda Câmara), fruta tropical natural da região semi-árida nordestina, é comercializado "in-natura" apenas no período da safra. O fruto é rico em vitamina C e outros nutrientes. Tratando-se de uma fruta bastante perecível, parte da safra é perdida sem comercialização. A secagem da polpa de umbu em leito de jorro, permitirá a conservação e comercialização do produto com maior valor agregado, evitando o desperdício da safra e estimulando seu cultivo. A tecnologia desenvolvida para o umbu poderá ser estendida a outras frutas tropicais de reconhecido valor nutricional, promovendo assim, mais uma fonte de riqueza para o progresso da região.

Foram realizadas diversas pesquisas na Universidade Federal da Paraíba, Campus II, para o desenvolvimento de tecnologias modestas e econômicas que viabilizem a industrialização e comercialização destas frutas. Foi construído e instalado um leito de jorro com o objetivo de estudar a desidratação de frutas tropicais, utilizando como matéria prima o umbu.

Os primeiros resultados sobre a desidratação de umbu em leito de jorro foram apresentados por ALMEIDA (1991) e SOUZA (1992) e mostraram-se bastante promissores, apontando para a viabilidade real do processo. Entretanto, para dispor de elementos necessários à modelagem, simulação e otimização, visando o dimensionamento e mudança de escala, é imprescindível um conhecimento fundamental dos fenômenos básicos de transferência envolvidos. LIMA (1992) realizou estudos fluidodinâmicos e térmicos sobre o comportamento da polpa de umbu em leito de jorro de inertes.

Pesquisas recentes tem sido feitas, visando a obtenção de um pó de boa qualidade a partir de pastas e suspensões em secadores. PHAM (1983), RÉ & FREIRE (1986) e POVRENOVIC et alii (1990) utilizaram esta técnica para a secagem de sangue animal com bons resultados. HERFENVESSLER & KACHAM (1986) e KACHAM & CHLAPPETA (1988) secaram respectivamente purê de banana e pasta de tomate neste tipo de equipamento, constatando a boa qualidade do pó em relação ao obtido por outros secadores convencionais.

Apesar de ser o Nordeste o habitat natural do umbuzeiro e de tantas outras espécies igualmente valiosas, não se conhece nenhum programa de estímulo à exploração destas culturas. O processamento dessa fruta pode ser feito em escala semi-industrial, uma vez que o leito de jorro se adequa bem à pequena produção.

O presente trabalho apresenta o desempenho do secador em relação aos efeitos das variáveis operacionais: vazão de ar, temperatura de entrada do ar, carga de inertes, vazão de alimentação; sobre o rendimento e umidade do produto.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O Umbu

O umbuzeiro (*Spondias Tuberosa* Arruda Câmara), é uma árvore frutífera de copa baixa e ampla, muitas vezes com oito metros de diâmetro pertencente a família das Anacardiáceas, LISBOA (1932).

Segundo GOMES (1965) o umbuzeiro é nativo dos chapadões semi-áridos da Borborema. Existe em grande quantidade no Cariri Velho (Paraíba), no Curimataú (Paraíba) e em seus prolongamentos em Pernambuco e no Rio Grande do Norte.

O umbu "in natura" não é fruta apropriada para a exportação. Constitui porém recurso considerável a alimentação da população da zona produtora, podendo ser transportado também para distâncias não muito grandes, 100 a 500 quilômetros aproximadamente. O fruto é oval, possuindo de 3,5 a 4,0 cm de comprimento, revestido por uma casca de coloração amarela esverdeada, semelhante a da ameixa. A polpa é succulenta com o sabor ligeiramente ácido, que lembra o da laranja doce, possui uma semente oblonga com aproximadamente 2 cm de comprimento, MEDEIROS (1967).

O fruto do umbuzeiro, umbu, é uma fonte muito rica de vitaminas C e sais minerais, como também de outros nutrientes. O umbu maduro tem 14,2 mg de vitamina C (ácido ascórbico) por 100 cm³, e o verde 33,3, GOMES (1965). Além de vitamina C, contém riboflavina, ácido nicotínico, proteínas, açúcares e sais minerais, SOUZA (1970).

O habitat do umbuzeiro é constituído por planaltos elevados de 500 a 900 metros, de clima fresco, temperado de altitude ou quase, semi-árido e com enormes irregularidades pluviométricas. O umbuzeiro não é exigente quanto a solos. É encontrado em solos silicos-argilosos e argilosos nem sempre profundos. Também se adapta a solos silicosos, principalmente se há argila no subsolo. Os aluviões são ótimos para esta fruteira. Devem ser evitados solos muito ácidos, alagados e muito calcareos. Ainda segundo GOMES (1965), o umbuzeiro é extraordinariamente produtivo, uma planta adulta chega a produzir mais de 300 kg por safra. Entre os três e seis anos de idade, o umbuzeiro começa a produzir, podendo atingir cerca de um século de vida, TIGRE (1976).

Apesar de sua grande importância, principalmente em termos nutritivos o umbu não foi devidamente explorado e industrializado. Na verdade, só uma fração mínima da safra consegue ser comercializada. Milhares de toneladas de umbu se perdem a cada safra, por falta de comercialização ou de aproveitamento industrial.

2.2 - O Leito de Jorro

O leito de jorro pode ser produzido numa coluna cilíndrica com base tronco-cônica, sendo o jorro formado pela penetração do ar através das partículas sólidas. A circulação dos sólidos começa quando a vazão do gás é suficientemente alta provocando um movimento ascendente das partículas, sendo que neste momento formam-se duas regiões distintas:

- (1) Uma região central chamada jorro onde as partículas são arrastadas pneumáticamente formando no topo uma fonte de sólidos;
- (2) Uma região anular onde os sólidos em movimento descendente, comportam-se como leito deslizante, embora as partículas possam voltar ao jorro ao longo da interface jorro-anel, a maior parte retorna pela região inferior da base tronco-cônica

onde inverte o sentido do movimento, deslocando-se ascendentemente completando assim o movimento cíclico dos sólidos.

Este equipamento foi desenvolvido inicialmente por MATHUR e GISHLER em 1955, com a finalidade de promover o contato entre fluido e partículas sólidas. Mostrou-se de tal forma promissor que, logo em 1963, foram implantadas no Canadá unidades industriais para a secagem de ervilha, lentilha e fibras de linho. MATHUR & EPSTEIN (1974) citam ainda unidades para resfriamento de sólidos, granulação, revestimento de partículas, cristalização e ativação de carvão. Uma das últimas aplicações do leito de jorro é a ultrapirólese em reatores, BERRUTI & BEHIE (1988). Além de produtos químicos e farmacêuticos, SCHNEIDER & BRIDGWATER (1989).

Vale salientar que o leito de jorro convencional, está sujeito a limitações de ordem operacional citadas por MUJUNDAR (1989):

- (1) Elevada perda de carga antes de atingir o jorro estável.
- (2) O leito de jorro é limitado pelas dimensões geométricas.
- (3) Faixa de operação limitada.
- (4) Fluxo de gás limitado pelas exigências de estabilidade de jorro.
- (5) Dificuldades de mudança de escala.

Visando superar essas limitações, modificações foram introduzidas, no jorro convencional interna e externamente. Na parte externa, temos o jorro cônico, sistema bastante utilizado nos países do leste europeu, como também o leito bidimensional ou retangular, LIMA (1992). No Brasil o jorro cônico foi estudado nos últimos dez anos por muitos pesquisadores, dos quais pode-se citar, SAMPAIO (1978), DUTRA (1984), CREMASCO et alii (1987) e SILVA & FREIRE (1989).

Com relação a modificações internas, sofridas pelo leito de jorro, uma delas consiste na introdução de um tubo central (tubo "Draft"), separando a região do jorro da região do anel, evitando desta forma o curto circuito entre as partículas do jorro e do anel. As vantagens deste tipo de configuração são destacadas por MUJUNDAR (1989):

- (1) Pode ser aplicado para qualquer sólido que possa ser arrastado pneumaticamente;
- (2) São requeridas menores quedas de pressão para iniciar a recirculação de sólidos;
- (3) A altura e o diâmetro do leito podem ser alterados substancialmente.

POVRENOVIC et alii (1990) estudaram a secagem de sangue animal neste tipo de configuração. KHOE & VAL BRAKEL (1980) e CLAFLIN & FANE (1983) constataram um melhor controle no tempo de residência das partículas e maior economia térmica, na secagem e desinfecção térmica do trigo, no leito de jorro com tubo "Draft". A utilização desta técnica, entretanto limita necessariamente o fluxo de gás no anel. PALLAI & NEMETH (1974) sugerem o uso de uma tela cilíndrica no lugar do tubo, de forma a provocar maiores trocas de gás entre o jorro e o anel. O uso da tela não aumenta substancialmente o fluxo de gás no anel, diminuindo apenas as limitações de tamanho de sólido, CLAFIN & FANE (1984).

Outras variações, referem-se ao leito de jorro múltiplo, ao tridimensional (seção transversal triangular), ao de base plana com tubo central e ao dividido internamente por pratos ou bandejas, LIMA (1992).

O sistema de alimentação pode ser de várias formas, contínua, intermitente em batelada. O leito pode ser constituído por partículas ativas cuja troca de calor e massa com o fluido é simultânea e por partículas inertes no caso de secagem de pastas e suspensões.

2.3 - Processamento de Pastas e Suspensões em Leito de Jorro

2.3.1 - Secagem de Pastas e Suspensões

Segundo SCHNEIDER & BRIDGWATER (1989), os primeiros estudos sobre secagem de pastas e suspensões em leito de jorro, foram realizados na União Soviética por REGER et alii (1967) e partiram da secagem de lacas e tintas. Nos últimos dez anos, a técnica tem se estendido a diferentes tipos de materiais, como leite, sangue animal, frutas cítricas, tomate, leite de soja e leveduras, MUJUNDAR (1989), além de produtos químicos e farmacêuticos, SCHNEIDER & BRIDGWATER (1989).

PHAM & POOLEY (1981) construíram um leito de jorro com o objetivo de desenvolver um secador de baixo custo que produzisse um produto de alta qualidade, similar ao sangue seco obtido no secador spray. Testaram a eficiência do equipamento na secagem de sangue, plasma, concentrado de hemáceas, caseinado de sódio e uma mistura de proteína e gordura em água, dentre outros. Eles concluíram que o leito de jorro é uma alternativa barata ao secador spray em certas aplicações (soluções pouco viscosas e pegajosas com baixo teor de gordura), principalmente quando a escala de operação não é grande (até 1000 l/h).

POVRENOVIC et alii (1990) estudando a secagem de plasma sanguíneo em leito de jorro, comprovaram a boa qualidade do produto obtido, verificando que o teor de proteínas foi mantido após a secagem, porém o teor de umidade aumentava com a temperatura. HUFENUSSLER & KACHAN (1988) e KACHAN & CHIAPPETTA (1988) comprovaram a eficiência da técnica ao secarem respectivamente purê de banana e pasta de tomate neste tipo de equipamento, constatando a boa qualidade do pó em relação ao obtido por outros secadores convencionais.

RÉ & FREIRE (1986), estudaram o efeito da temperatura na umidade e solubilidade do pó na secagem de sangue animal em equipamento semelhante. Encontraram que a umidade do produto não decresce uniformemente com o aumento da

temperatura de saída do ar mas, passa por um máximo a 74°C aproximadamente. Além da influência de outras variáveis operacionais como carga de inerte e circulação de sólidos na vazão máxima de sangue admissível no leito, com o objetivo de reunir as condições de operação que favorecessem a capacidade máxima de produção na qualidade desejada.

Inúmeros trabalhos foram desenvolvidos por vários autores quanto a utilização desta técnica na secagem de leite de soja a diferentes concentrações de sólidos, BARRET (1989), extratos farmacológicos, RÉ & FREIRE (1986), de soluções de CaCO_3 , GUBULIN & FREIRE (1986), de soluções de NaCl e suspensões de alumina, SCHNEIDER & BRIDGWATER (1989) e de pastas de Al(OH)_3 , REYES & MASSARANI (1991).

HUFENUSSLER & KACHAN (1988) estudaram a desidratação de purê de banana, analisando a umidade do pó em relação a outros secadores. A comparação das amostras obtidas por jorro e obtidas por spray-dryer mostrou que existem diferenças entre as qualidades organolépticas dos produtos obtidos pelos dois métodos e que o pó obtido por jorro é de superior qualidade. Nota-se também que o teor de umidade do pó está dentro dos padrões de conservação exigidos (abaixo de 3% de umidade) e que o sabor do purê reconstituído não diferia do original a um nível de 5% de significância, nível não atingido pelo purê reconstituído com pó de outros secadores.

O leito de jorro convencional, modificado pela introdução do tubo central e aeração complementar no anel (leito de jorro fluidizado) é uma alternativa viável para a secagem de pastas diluídas, MUJUNDAR (1989). POVRENOVIC et alii (1990) utilizaram esta técnica na secagem de plasma sanguíneo com bastante sucesso. HADZISMAFLOVIC et alii (1989) utilizando esta técnica na secagem de leveduras, descobriram que a aeração complementar no anel intensifica a secagem em relação ao secador convencional, principalmente no que se refere à eliminação da película de material aderida à superfície das partículas.

Estudando a desidratação de pasta de tomate em leito de jorro, KACHAN & CHIAPPETTA (1988) apresentaram resultados com ênfase aos dados fluidodinâmicos do equipamento, às variáveis operacionais envolvidas e à seleção das condições propícias a secagem. KACHAN et alii (1988) fizeram a caracterização do pó de tomate obtido e da pasta reconstituída, cujos resultados referem-se ao conteúdo de umidade do pó, a umidade de equilíbrio e de aglomeração, ao tempo de reconstituição da pasta e a algumas propriedades desta, tais como: acidez, pH, açúcares redutores, viscosidade e cor. Com relação à umidade do pó, apenas o obtido em ensaios a 80°C (teor de umidade de 3,11 a 4,49%) foi considerado viável para utilização comercial. Quanto às outras propriedades, os resultados das análises de acidez total, pH e açúcares redutores mostram que a pasta atendia aos padrões de qualidade exigidos. Entretanto, os testes de cor e viscosidade apontaram para uma diminuição da viscosidade e mudança de cor em comparação com a pasta original.

Os primeiros estudos sobre a secagem de polpa de umbu em leito de jorro foram apresentados por ALMEIDA (1991), e referem-se aos testes hidrodinâmicos preliminares do equipamento. SOUZA (1992) estudou o efeito da carga de inertes no desempenho do secador. LIMA (1992), LIMA et alii (1991) (1992), estudaram o comportamento fluidodinâmico do leito, encontrando que a presença de polpa de umbu afetava parâmetros característicos, tais como ΔP_m , ΔP_s e Q_{jm} . LIMA (1992) realizou estudos térmicos da desidratação de polpa de umbu em leito de jorro determinando os coeficientes de troca térmica e avaliando, a partir destes, a fração de partículas molhadas em função da relação vazão de polpa / volume de partículas. Uma conclusão importante desse trabalho é que a desidratação de polpa de umbu em leito de jorro se encontra limitada pelas condições fluidodinâmicas, especialmente, pelo sistema de alimentação.

2.3.2 - Mecanismos de Secagem

Para se compreender o potencial da secagem de pastas e suspensões em leito de jorro, é necessário que se entenda o mecanismo que ocorre dentro do leito, BARRET (1989).

A medida que é feita a alimentação da suspensão sobre o leito, as partículas são revestidas por uma camada de material. A medida que seca, a película torna-se frágil devido ao efeito das colisões interpartículas no jorro, sendo então quebrada e arrastada para fora pela corrente de ar, LIMA (1992). O pó é coletado num ciclone localizado na parte superior do secador.

O processo cíclico de deposição, secagem e demolição da película procede continuamente, sempre que a temperatura do leito para uma dada vazão de alimentação da suspensão for mantida a um nível suficientemente alto, tal que a proporção de partículas molhadas, sob condições de estado estacionário, permaneça pequena, e o movimento do jorro não seja comprometido pela aglomeração destas partículas, MATHUR & EPSTEIN (1974).

Segundo LIMA (1992) dois fatores governam a performance do secador: as taxas de transferência de calor e massa envolvidas na secagem e a friabilidade da película aderida à superfície das partículas. Um desses fatores pode ser a etapa limitante, no que se refere à estabilidade do processo, uma vez que esta depende não somente da taxa de secagem, como também das propriedades mecânicas da película, que se estiver fortemente aderida, pode simplesmente continuar a crescer como um processo de granulação.

A taxa de remoção da película deve ser sempre maior ou igual à taxa de alimentação, e que películas finas fornecem taxas de secagem substancialmente constantes, não afetadas pelo movimento de umidade dentro do material, BARRET (1989).

A acumulação do material dentro do leito é um indicador de transiência e, segundo MUJUNDAR (1989) depende de uma série de fatores tais como: vazões de suspensão e de ar, propriedades do material, localização da alimentação, características da atomização, entre outros.

BARRET (1989) observou que: a taxa de acúmulo no leito, aumenta com a vazão da suspensão; a acumulação diminui com o aumento da vazão do ar, para baixas vazões de ar, nenhum estado estacionário foi observado após 3 horas de operação; a taxa de acumulação diminui com o aumento da temperatura de secagem, entretanto a eficiência térmica decresce e as perdas de calor aumentam com a temperatura; as propriedades da superfície e massa das partículas também afetam a taxa de acumulação, uma textura rugosa provoca a formação de uma película irregular com secagem não uniforme. A massa das partículas influencia o nível de energia de colisão requerida para quebrar a película. O tipo de alimentação pode afetar a acumulação de forma imprevisível.

O uso de uma placa defletora acima do jorro central afeta a cinética de atrição da película favorecendo a secagem e remoção do material acumulado no leito, BARRET (1989).

O leito de jorro utilizado na secagem de pastas e suspensões está, portanto, sujeito a diversas implicações de ordem técnica, que podem vir a ser controladas por uma seleção cuidadosa de condições operacionais indicadas para o tipo de material manipulado. Soluções viscosas ou grudentas podem provocar aglomeração das partículas inertes, causando sérios problemas operacionais e comprometendo a performance do jorro, MUJUNDAR (1989).

Segundo MUJUNDAR (1983), vários pesquisadores acreditam que no leito de jorro com partículas inertes, o processo de secagem ocorre num período de velocidade constante, cuja intensidade depende da transferência de calor e fluido-dinâmica. Estes pesquisadores verificaram que os principais parâmetros a afetar a umidade do produto final e a velocidade do processo são, a massa das partículas inertes que formam o leito, a vazão de alimentação e a umidade inicial do produto a ser seco, parâmetros estes, normalmente obtidos experimentalmente. De acordo com MINCHEV et alii (1969), o parâmetro de maior influência na umidade do produto seco é a temperatura de saída de ar. Ainda, segundo o mesmo autor, a temperatura de entrada e a vazão do ar e também a massa de inertes não tem influência prática na umidade final do produto.

CAPÍTULO 3

MATERIAL, EQUIPAMENTO E MÉTODO EXPERIMENTAL

3.1 - Material

A polpa de umbu utilizada neste trabalho, foi extraída do umbu proveniente da região de Soledade, Paraíba. A mesma continha uma concentração de sólidos (Cs) na faixa de 9 a 17%. As propriedades da polpa do umbu são encontradas na Tabela abaixo.

Tabela 3.1 - Propriedades da polpa de umbu. ALSINA et alii (1988)

PERCENTAGEM DE SÓLIDOS		DENSIDADE (g / cm ³)	TENSÃO SUPERFICIAL (dina / cm)
UMBU MADURO	5,46	1,014	--
	4,10	1,005	51,9
	2,73	1,001	55,2
UMBU QUASE MADURO	13,30	--	--
	12,00	--	--
	10,60	1,035	42,9

Como material inerte utilizou-se partículas de poliestireno, doado pela EDN, localizada em Camaçari, Bahia, cuja caracterização encontra-se na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Caracterização das partículas, LIMA, M. F. M (1992)

Propriedade	Valor Observado	Método Utilizado
d_p	$2,53 \times 10^{-2}m$	Análise granulométrica em peneiras
d_v	$3,161 \times 10^{-2}m$	Pelo volume de líquido deslocado
ρ_s	$1,011 \text{ kg/m}^3$	Picnometria
ϕ	0,82	Considerando a partícula como um cilindro elíptico
ρ_l	577 kg/m^3	Determinação da massa contida num recipiente de volume conhecido
sl	0,429	Picnometria
γ	59°	Literatura MATHUR & EPSTEIN (1974)
a_p	$2.134,4 \text{ m}^{-1}$	Considerando a partícula como um cilindro elíptico

3.2 - Equipamentos

3.2.1 - Leito de Jorro

O leito de jorro usado para estudo da secagem da polpa do umbu, consiste de um cilindro de aço inox com 0,297m de diâmetro interno e 0,73m de altura, acoplada em sua extremidade inferior por meio de solda, a uma base cônica de aço inox com ângulo interno de 60° . Na parte frontal existem duas janelas de acrílico para acompanhar visualmente o processo de secagem.

Na extremidade superior da coluna foi colocada uma placa defletora de tela metálica para impedir o arraste das partículas inertes usadas na secagem. A relação entre diâmetro da coluna (D_c) e o diâmetro de orifício (d_o) é igual a 6.

As tomadas de pressão e temperatura foram colocadas antes da base cônica e ao longo da coluna. O esquema do equipamento descrito acima pode ser visualizado na Figura 3.1.

3.2.2 - Sistema de Escoamento de Ar

O ar necessário para a secagem da polpa do umbu foi suprido por um soprador, modelo S100 marca EBERLE, com potência de 4 Hp. A vazão de ar foi controlada por uma válvula tipo gaveta instalada a 0,11m do soprador, mediante medidas indiretas de pressão com um tubo de Pitot, instalado a 0,65m da válvula de controle de vazão.

3.2.3 - Sistema de Aquecimento de Ar

O ar utilizado na secagem foi aquecido por um trocador de calor tipo resistência elétrica blindada, com potência total de 2.400 watts. A temperatura de entrada do ar foi controlada por meio de um controlador de temperatura, fabricado no laboratório de eletrônica da UFPB, Campus II.

3.2.4 - Sistema de Coleta de Pó

Para coleta do pó obtido na secagem, foi acoplado na saída do leito de jorro, um ciclone tipo Lapple de 0,15m de diâmetro, o pó foi recolhido diretamente em sacos plásticos.

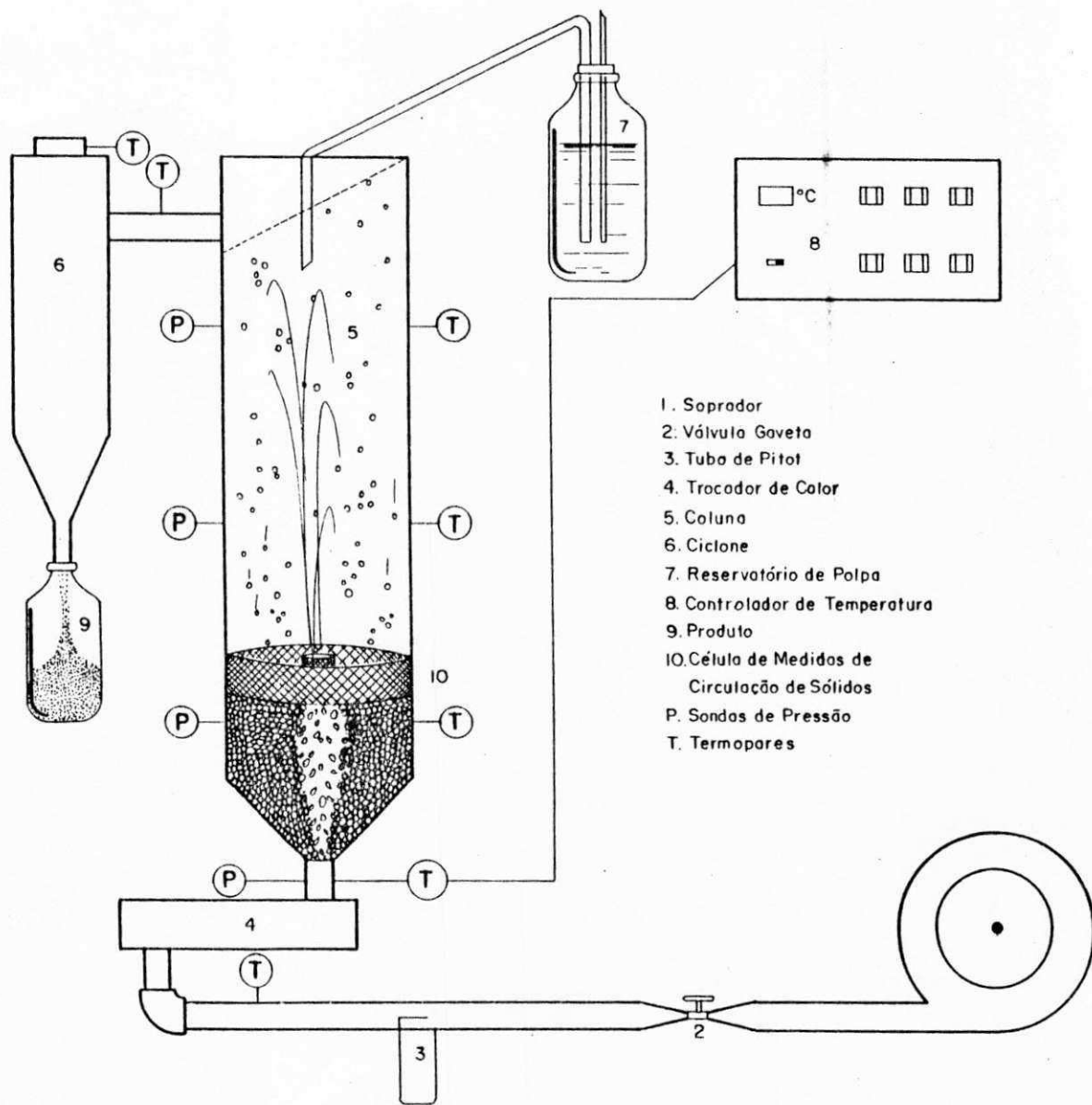


FIGURA 3.1— ESQUEMA DO EQUIPAMENTO

3.2.5 - Sistema de Alimentação de Polpa

A alimentação da polpa foi feita por gravidade através de um frasco de mariotte de 1000 ml, graduado, com tampa de borracha de boa vedação. Nesta tampa foram introduzidos dois tubos de vidro, um para saída da polpa e outro para entrada de ar.

O mariotte foi colocado em um suporte tipo garra com movimentação vertical, o que permitia, através da variação de altura controlar a vazão de alimentação. A alimentação era feita no centro da coluna logo abaixo da placa defletora.

3.2.6 - Sistema de Medida de Temperatura

O controle do aquecimento do ar bem como algumas medidas de temperatura foram efetuadas mediante um controlador digital com sensores a transistores

As demais medidas de temperatura foram feitas em termopares de ferro-constantan. Os termopares eram ligados por meio de cabos de compensação de ferro constantan isolados, ligados a um milivoltímetro digital através de uma chave seletora com dez pontos de contato.

As medidas foram feitas em quatro pontos, após o aquecedor elétrico, entrada, meio e saída do leito.

3.2.7 - Equipamentos Auxiliares

- Compressor radial, tipo exportação, com motor assíncrono trifásico, tipo S100 L2, com 4 CV e 2940 rpm, fabricado pela Metalúrgica Abramo Eburle S.A. / Caxias do Sul, Ind. Bras.

- Controlador de temperatura digital com sensores a transistores, fabricado no Laboratório de Eletrônica da UFPB / Campus II. Apresenta 8 canais para medidas de temperatura e um canal de controle.

Precisão de leitura: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

Controle de temperatura: $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$

- Medidores de temperatura: termopares Fe-constantan ligados através de uma chave seletora a um milivoltímetro, tipo MA-045, fabricado pela Equipamento Científico do Brasil, Ind. Bras.

Precisão de leitura: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

- Medidor de vazão: Tubo de Pitot, previamente calibrado.

Precisão das medidas: $\pm 0,35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

- Manômetros diferenciais em "U" contendo óleo ($\rho = 870 \text{ kg/m}^3$), para medidas de vazão e pressão.

Precisão das medidas de pressão: $\pm 8,6 \text{ Pa}$.

- Cronômetro marca Gallemkanp, referência TKM 340 Y.

- Higrômetro, fabricado pela Haenni, Suíça. René Graf, São Paulo.

- Balança Mettler PC 440, capacidade 0,440 kg, com precisão de leitura de 0,001g, fabricada pela Mettel Instrument, AG, Suíça.

- Balança Sartorius, capacidade de 2,2 kg, com precisão de leitura de 0,01g fabricada pela Sartorius, Alemanha Federal.

- Estufa de secagem e esterilização, modelo 315 SE, fabricado pela VEB Anemometerban Dusden, Alemanha Federal.

- Picnômetro de comparação a ar, fabricado pelo Núcleo de Tecnologia em Armazenamento da UFPB, Campus II.

3.3 - Procedimento Experimental

3.3.1 - Extração da Polpa

A fruta foi selecionada e fazia-se sua lavagem com água corrente. Posteriormente, extraía-se a polpa do umbu em um liquidificador industrial durante 5 minutos e em seguida peneiração em peneira com malha de 2mm de diâmetro. A polpa era armazenada em sacos próprios para congelamento e em seguida estocado em freezer doméstico a uma temperatura próxima de -10°C .

Antes de ser submetida a secagem, a polpa era descongelada e seu teor de sólidos determinado pelo método da estufa a 70°C até peso constante

3.3.2 - Secagem da Polpa

Inicialmente, introduzia-se no leito a massa de partículas de poliestireno escolhida. O jorro desta carga era propiciado pelo ar injetado na base do leito. Estabelecido o jorro, iniciava-se o pré-aquecimento do sistema, até a temperatura escolhida para a operação, o tempo necessário era de aproximadamente 15 minutos. Quando as temperaturas em todos os pontos do equipamento, não apresentavam variações no tempo superiores a $0,5^{\circ}\text{C}$, considerava-se o sistema pronto para a operação de secagem.

Atingida a temperatura desejada, anotava-se o tempo inicial de operação e iniciava-se a alimentação da polpa, procurando-se manter uma vazão razoavelmente constante. Durante o processo era feito o acompanhamento da evolução da secagem

através das medidas de temperaturas nas seguintes posições: antes do aquecedor, entrada, meio e saída do leito, como também as temperaturas de bulbo úmido na entrada e saída do leito conforme mostrado na Figura 3.1.

Transcorridos aproximadamente duas horas de operação, interrompia-se a alimentação da polpa, determinava-se, então a massa de polpa alimentada no leito e prosseguia-se com a secagem durante um tempo total de três horas. No final da secagem determinava-se a massa de pó coletado no ciclone e do pó retido no inerte. O pó coletado era então submetido à análise de umidade, segundo a técnica descrita no item seguinte. Em alguns ensaios, o teor de umidade do pó retido no inerte também foi determinado.

O pó obtido no ciclone era armazenado à temperatura ambiente em dessecador com sílica-gel para em seguida ser submetido à análise, para determinação de teor de vitamina C. A vitamina C foi determinada no Laboratório de Tecnologia Farmacêutica do Campus I da Universidade Federal da Paraíba mediante o método de Roe modificado. Dito método baseia-se na oxidação do ácido ascórbico, transformação em dicetogulônio seguido de acoplamento com 2,4 - dinitrofenilhidrazina para produzir ozonas de cor vermelha. A dosagem é realizada sobre este produto mediante técnicas espectrofotométricas. No apêndice 1, encontra-se o método detalhado.

3.3.3 - Determinação da Umidade do Pó e da Polpa

As unidades, em base seca, das amostras de polpa a serem processadas e do pó obtido foram determinadas pelo método da estufa. As amostras, tomadas em triplicado, eram pesados em balança Mettler, e colocados na estufa, cuja temperatura era controlada em 70°C. Em intervalos de 5 minutos, as pesagens eram repetidas até peso constante.

Não foi possível se estabelecer um tempo uniforme de permanência das amostras na estufa. Tanto a polpa como o pó do umbu atingiam peso constante em tempos totalmente aleatórios. Procurou-se controlar, entretanto, a permanência das amostras na

3.4 - Condições de Operação

As condições de operação foram fixadas com o objetivo de possibilitar a seleção das variáveis que favorecem a uma máxima produção de pó com baixo teor de umidade e um alto teor de vitamina C (pequena degradação térmica). Seleccionadas, nas várias séries de experimentos realizados, foram consideradas as seguintes variáveis: temperatura de entrada do ar (T_{ge}), vazão de gás definida pela razão Q/Q_{jm} e carga de inertes representada por H . Todas as condições encontram-se reunidas na Tabela 3.4. Conforme se observa, as condições operacionais, no que se refere à taxa de alimentação e concentração da polpa, foram muito variadas. O comportamento da polpa de umbu se modificava constantemente, dependendo do grau de maturação, do tempo de estocagem e até do período de safra. Por esta razão, embora se conseguisse conduzir os ensaios com uma vazão de polpa razoavelmente constante, a reprodutividade do nível de vazão era difícil de ser obtida. Apesar disto, foi possível estabelecer, a partir dos dados obtidos, o estudo do desempenho do equipamento.

Tabela 3.4 - Condições de operação mantidas no estudo de secagem de polpa de umbu em leito de jorro

Nº do exp.	H (m)	Qs (kg/s) x 10 ³	Xp (%)	Wg (kg/s) x 10 ³	Tge (°C)	Y (%)	Tamb (°C)
1	0,133	8,8	9,6	26,4	55,9	83	28,0
2		6,7	8,5	26,4	60,9	85	25,2
3		4,9	9,9	26,4	74,9	88	25,1
4		9,4	10,6	26,4	79,7	80	25,8
5		5,9	13,7	29,7	55,5	60	28,0
6		3,6	10,8	29,7	60,8	76	26,0
7		5,3	10,2	29,7	75,2	64	27,8
8		8,7	10,9	29,7	79,4	64	27,9
9		4,9	14,4	26,4	70,1	60,9	29,3
10		6,6	9,5	28,4	70,4	68	27,3
11		2,8	15,4	29,7	70,1	57	29,0
12		6,9	16,2	31,03	69,6	68	27,4
13		8,6	17,4	32,2	69,4	69	27,3
14	0,163	7,3	7,6	27,8	70,0	86	25,3
15		5,2	12,7	29,7	70,3	92	24,7
16		9,4	10,5	31,0	69,6	81	25,5
17		4,6	10,9	32,2	69,3	52	28,0
18		6,9	11,7	34,0	69,1	88	25,0
19	0,183	7,4	11,8	32,2	69,5	75	27,5
20		10,5	19,9	34,6	69,2	90	26,0
21		13,1	9,0	36,2	69,0	82	27,0
22		15,3	8,9	37,3	70,0	83	27,0
23		16,5	8,6	39,4	69,7	96	24,0

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Qualidade do Produto

Na qualidade do produto foram estudadas o efeito da temperatura de entrada de ar, da vazão de ar, e altura do leito. Nas condições de operação estudadas foi obtido um produto com teor de vitamina C na ordem de 500 a 650 mg de vitamina C/100g de pó, o que mostra a pequena degradação térmica sofrida pelo produto. O pó de umbu obtido possui boa reconstituição da polpa, verificado através de teste informal feito no laboratório.

Os resultados experimentais estão reunidos na Tabela 4.1.

4.1.1 - Efeito da Temperatura

Como um dos objetivos deste estudo de secagem é a obtenção de um produto que sofra a menor degradação térmica possível durante o processo, inicialmente foi feita uma série de experimentos registrando o efeito da temperatura de entrada do ar nas propriedades do produto.

Para detectar a temperatura do ar a ser mantida na entrada do secador que favoreça a obtenção de um pó com baixa umidade e um alto teor de vitamina C, é necessário uma análise nas Figuras 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 - Secagem da polpa - Resultados Experimentais

Nº exp.	Wp (kg/s) x 10 ⁵	Xp (%)	Wg (kg/s) x 10 ³	Tge (°C)	W _{ev} (kg/s) x 10 ⁵	Upó (%)
1	8,8	9,6	26,4	55,9	7,9	3,9
2	6,7	8,5	26,4	60,9	6,1	4,4
3	4,9	10,0	26,4	74,9	4,4	4,2
4	9,4	10,6	26,4	79,7	8,4	3,3
5	5,9	13,7	29,7	55,5	5,1	5,1
6	3,6	10,8	29,7	60,8	3,2	10,0
7	5,3	10,2	29,7	75,2	4,8	5,2
8	8,7	10,9	29,7	79,4	7,8	3,7
9	4,9	14,4	26,4	70,1	4,2	5,0
10	6,6	9,5	28,4	70,4	6,0	6,7
11	2,8	15,4	29,7	70,1	2,4	6,4
12	6,9	16,3	31,0	69,6	5,8	5,0
13	8,6	17,4	32,2	69,4	7,1	3,1
14	7,3	7,6	27,8	70,0	6,7	10,5
15	5,2	12,7	29,7	70,3	4,5	5,5
16	9,4	10,5	31,0	69,6	8,4	8,5
17	4,6	10,9	32,2	69,3	8,9	8,2
18	6,9	11,7	34,0	69,1	6,1	7,0
19	7,4	11,8	32,2	69,5	6,5	5,0
20	10,5	19,9	34,6	69,2	8,4	3,3
21	13,1	9,0	36,2	69,0	11,9	5,8
22	15,3	8,9	37,3	70,0	13,9	4,6
23	16,5	8,6	39,4	69,7	15,0	3,2

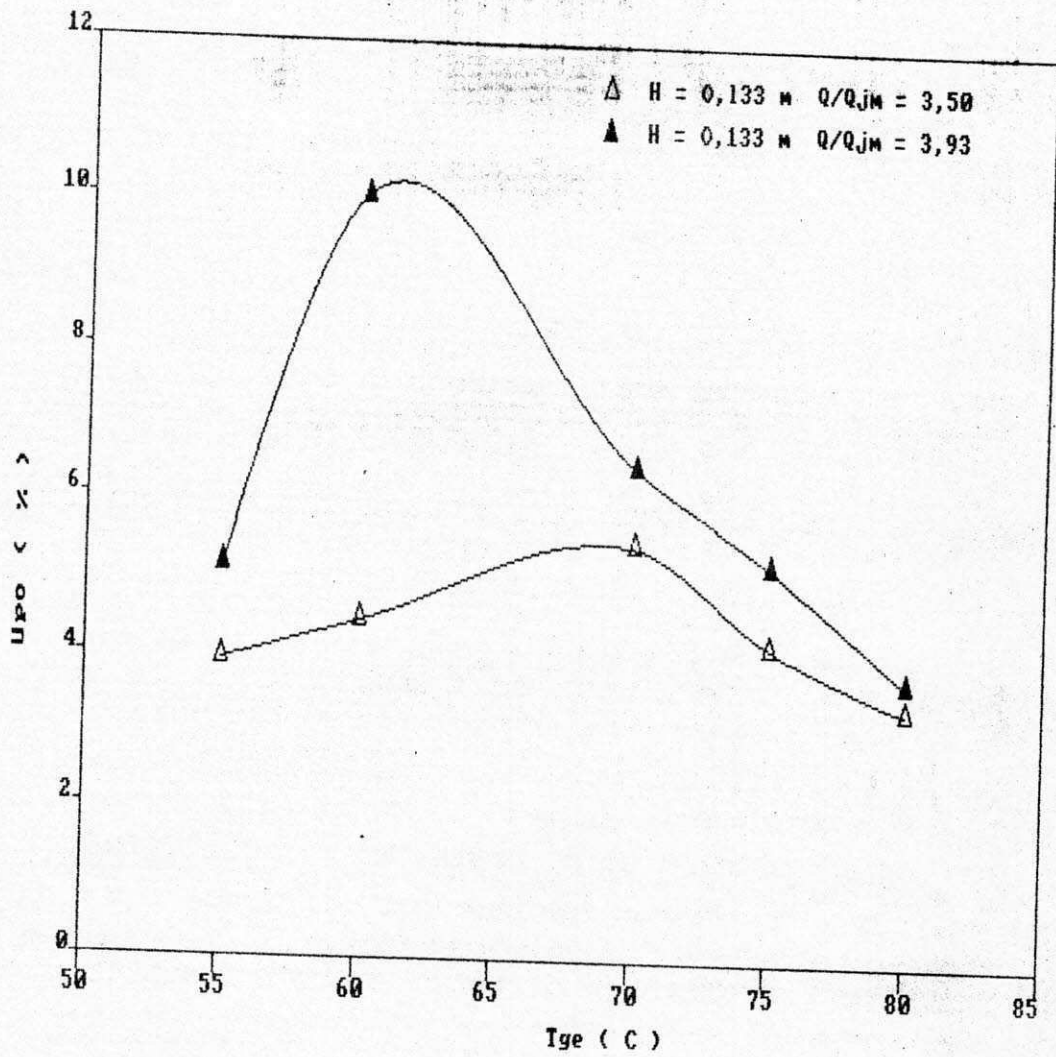


Figura 4.1 - Efeito da temperatura de entrada do ar na umidade do produto.

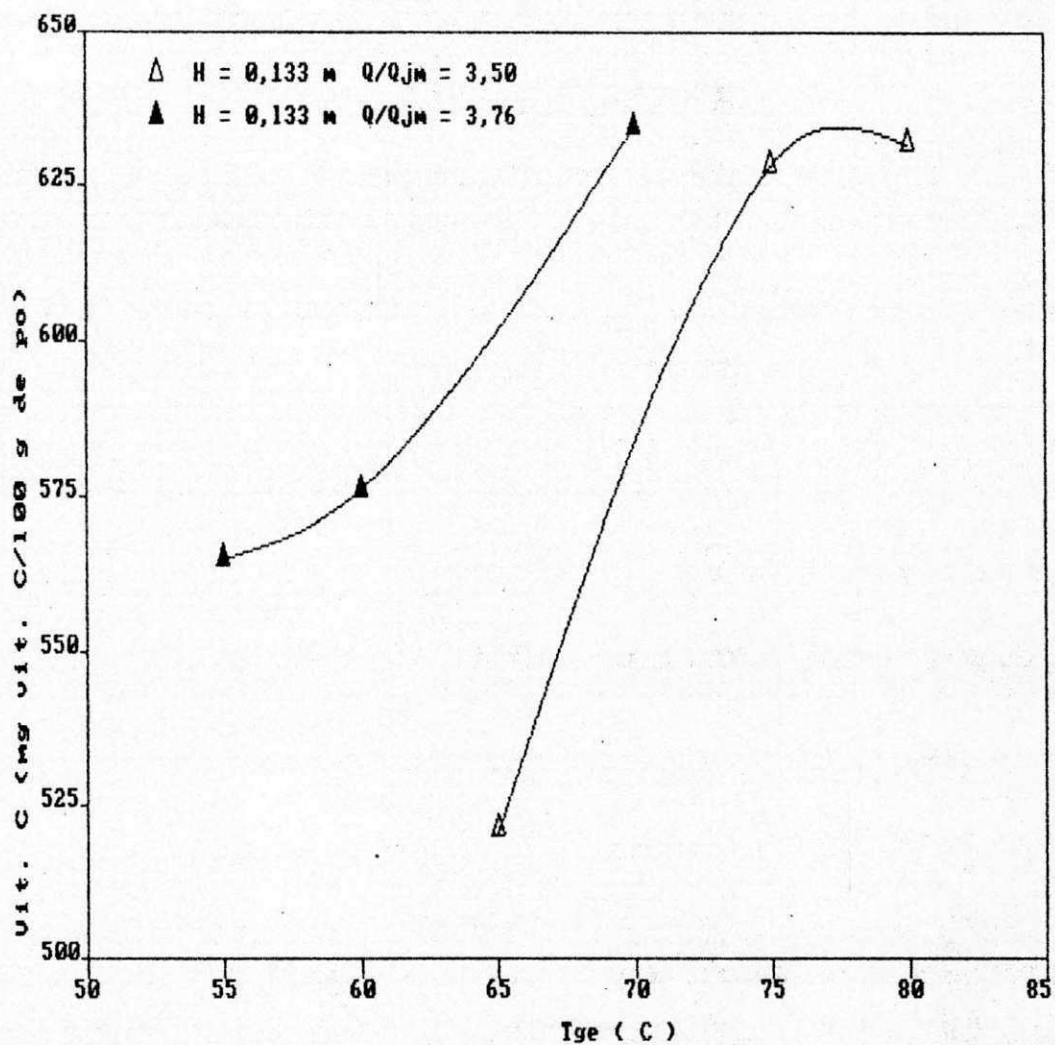


Figura 4.2 - Efeito da temperatura de entrada do ar no teor de vitamina C total do produto.

A Figura 4.1 mostra o efeito da temperatura de entrada do ar na umidade do pó para duas razões de Q/Q_{jm} e altura do leito de 0,133m. Observa-se que a umidade do pó aumenta com a temperatura até um valor máximo e em seguida volta a diminuir. Para as duas razões de Q/Q_{jm} encontra-se que o máximo de umidade do pó corresponde a um valor de temperatura em torno de 65° C. Nota-se também que trabalhando com Q/Q_{jm} maiores, obteve-se um produto final com umidades maiores. Como foi visto no capítulo 2 POVRENOVIC et alii (1990) verificaram na secagem de plasma sanguíneo, que a umidade aumenta com o aumento da temperatura na faixa estudada. Já RÉ & FREIRE (1986) estudando a secagem de sangue animal, verificaram que a umidade do produto passa por um máximo, como encontrado no presente trabalho.

O aparecimento do máximo está intimamente relacionado com as etapas determinantes do processo ou seja, a medida que se aumenta a vazão de ar o pó é arrastado com menor tempo de residência e conseqüentemente com um maior teor de umidade. Já o aumento da temperatura favorece a secagem da polpa, onde inicialmente a camada superficial que cobre a partícula inerte é seca e destruída pelo atrito entre as partículas, e com isto o pó é obtido com um menor teor de umidade.

A Figura 4.2 representa o teor de vitamina C do produto desidratado como função da temperatura de entrada do ar, para diferentes valores de Q/Q_{jm} e altura do leito de 0,133m. Foi observado uma menor degradação do produto ou seja um aumento do teor de vitamina C com o aumento da temperatura tendendo para um máximo em torno de 75°C. Este fato atribui-se a uma rápida secagem do produto, associado a um tempo de residência menor com que diminui a deteriorização do produto, analogamente, POVRENOVIC et alii (1990), encontraram um máximo no conteúdo proteico do pó obtido, a partir de plasma sanguíneo em função da temperatura de entrada, embora com um efeito muito pequeno.

4.1.2 - Efeito da Vazão de Ar

O efeito de Q/Q_{jm} sobre a umidade do produto para uma temperatura de entrada do ar a 70°C e três alturas de leito pode ser visualizado na Figura 4.3. Analisando as curvas desta figura verifica-se que a influência de Q/Q_{jm} é complexa, apresentando máximos e mínimos. As curvas correspondentes as alturas de 0,163m e 0,183m apresentam comportamento semelhante, já o pó obtido com altura de leito de 0,133m teve umidades intermediárias entre as outras duas alturas. Nota-se que trabalhando com alturas de leito maiores, a inversão ocorre para Q/Q_{jm} de 3,55, enquanto que para altura menor o máximo ocorre em Q/Q_{jm} , igual a 3,8.

4.1.3 - Efeito da Altura do Leito

A Figura 4.4 mostra o efeito da altura do leito sobre a umidade do produto obtido. Foram estudadas três alturas de leito, 0,133; 0,163 e 0,183m, sendo fixa a temperatura de entrada do ar em 70°C , como parâmetro foram usadas velocidades do ar variando de $Q/Q_{jm} = 3,12$ a 4,26, observa-se que o teor de umidade aumenta com o decréscimo da velocidade. É interessante observar que a dependência da umidade com a altura do leito, passa por um máximo verificado para a altura de 0,163m.

A presença do máximo pode ser explicada considerando-se que segundo LIMA (1992), a circulação de sólidos aumenta com o aumento da altura do leito. Uma maior circulação de sólidos favorece por um lado a diminuição da umidade do pó, mas também, pelo aumento do atrito entre partículas, aumenta a velocidade de quebra da película e portanto o arraste do pó ocorre com menor tempo de residência.

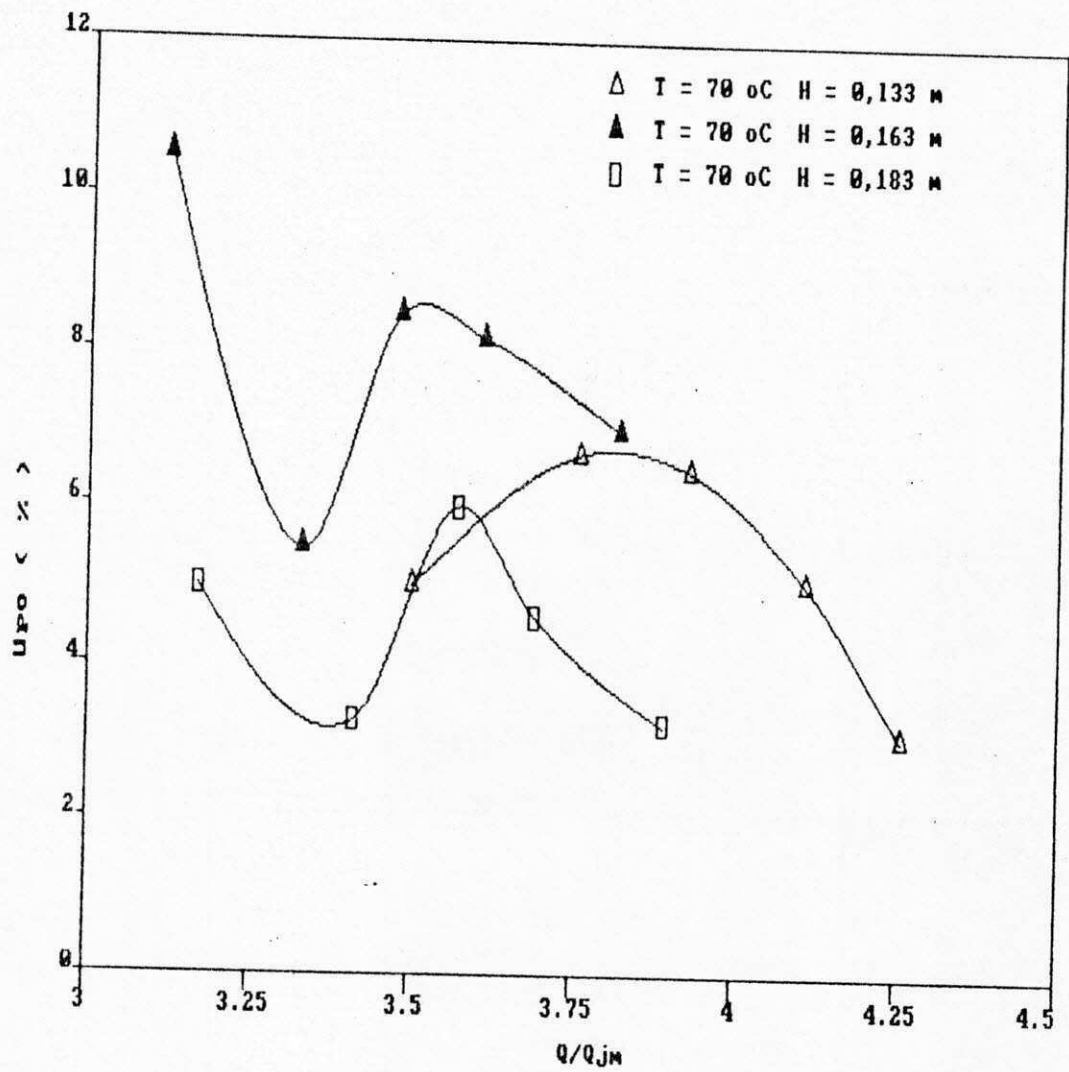


Figura 4.3 - Efeito da vazão de ar na umidade do produto.

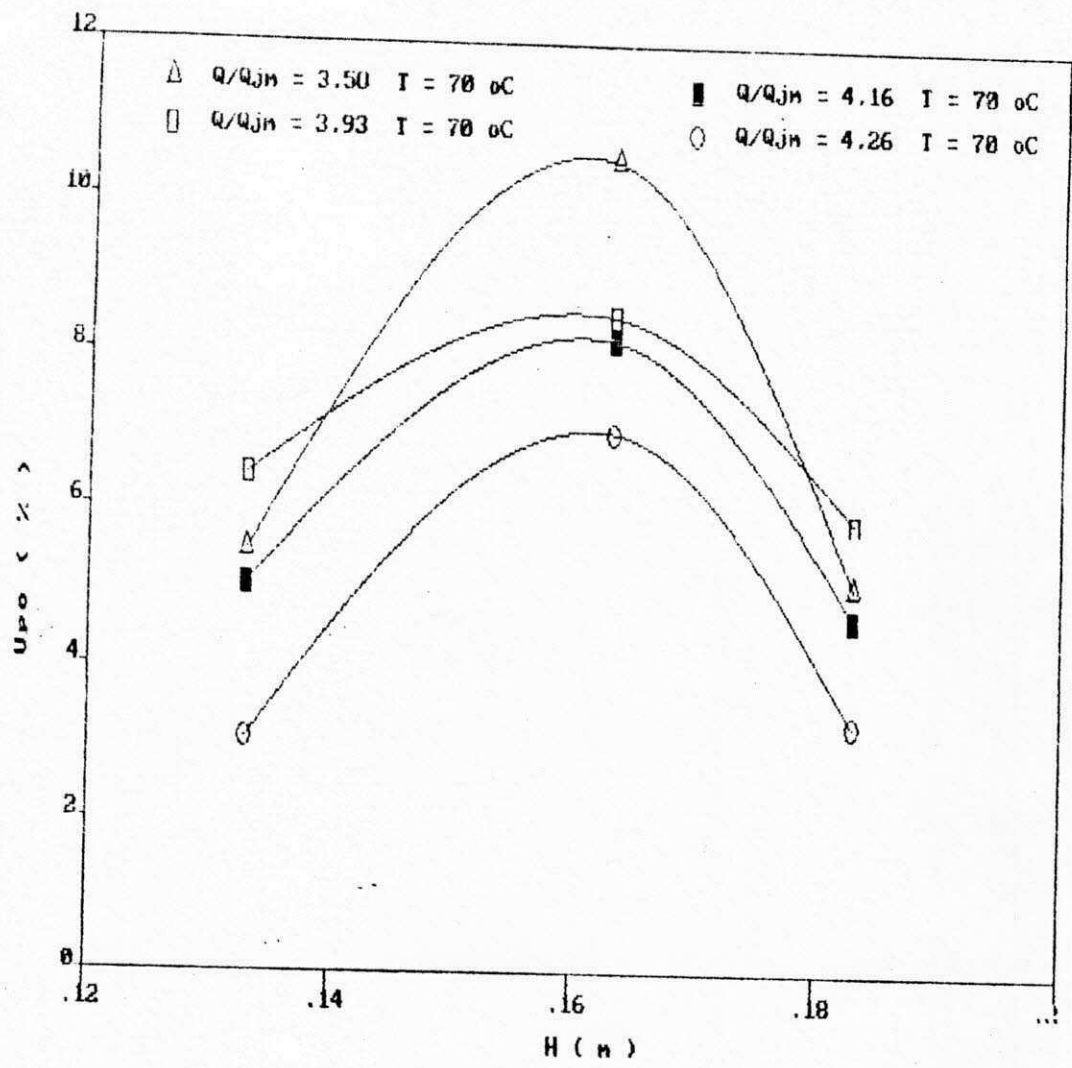


Figura 4.4 - Efeito da altura do leito na umidade do produto.

4.2 - Capacidade de Secagem

4.2.1 - Rendimento Total de Secagem

A Figura 4.5 apresenta o efeito da temperatura na produção de pó, nota-se que para baixas temperaturas de entrada de ar e razão Q/Q_{jm} maior verifica-se um rendimento menor do que com a razão Q/Q_{jm} menor. Enquanto que para temperaturas maiores e próximas de 70°C este comportamento se inverte. Com o aumento da temperatura e da vazão a troca de calor partícula-gás é favorecida, com isso as partículas secam mais rapidamente e portanto são arrastadas pela corrente de gás. No entanto, as perdas de calor aumentam com a vazão e a temperatura. Esses dois efeitos opostos explicam a presença do mínimo, bem como a inversão em relação vazão. Na região de temperaturas menores, predomina o efeito da diminuição da produção devido as perdas de calor, enquanto que, na região após o mínimo, passaria a predominar uma maior velocidade de secagem, com que a produção aumenta com a temperatura e a vazão.

O efeito da altura do leito sobre a produção de pó é observado na Figura 4.6, nota-se que existe uma relação quase linear do rendimento com a altura do leito, usando velocidades maiores no caso $Q/Q_{jm} = 3,93$ foi conseguido um rendimento maior ao alcançado com a relação $Q/Q_{jm} = 3,50$, LIMA (1992) estudou a variação da circulação de sólidos com a altura do leito e verificou que esta aumentava com o aumento da altura do leito, o que favorece a taxa de transferência.

4.2.2 - Vazão Máxima de Polpa

No estudo da capacidade de alimentação de polpa no secador, considerou-se a máxima capacidade de alimentação de polpa no secador. Na Figura 4.7 a curva superior (Q_s) representa a vazão máxima de polpa que pode ser introduzida no leito sem provocar o colapso do jorro, e a inferior (q_s) a vazão de sólidos alimentada no leito. A capacidade máxima de alimentação cresce com o aumento da velocidade do gás (representada por

Q/Q_{jm}), tendendo a estabilizar para $Q/Q_{jm} = 3,80$, ou seja um aumento da velocidade do ar a partir deste valor não implica no aumento da capacidade de produção do leito de jorro. Com relação a alimentação de sólidos no leito, nota-se uma relação quase constante, isto indica que a capacidade de alimentação de sólidos independe da velocidade de entrada do ar para a faixa estudada. Estas duas observações nos leva a concluir que resulta mais interessante, trabalhar com polpa com maior teor de sólidos, que permitiriam utilizar vazões de gás menores e em consequência com um menor consumo energético.

4.2.3 - Taxa de Evaporação

Mediante uma análise da Figura 4.8, que representa a taxa de evaporação em função da vazão de entrada de ar, para diferentes alturas do leito, verifica-se que a taxa de evaporação aumenta com o aumento da vazão de ar e com a altura do leito. Observa-se que a taxa de evaporação como era de se esperar segue, a mesma tendência que a capacidade de polpa alimentada e segundo LIMA (1992), (ver Tabela 3.3) com a taxa de circulação de sólidos.

Naturalmente, uma maior circulação de sólidos favorece a taxa de evaporação, e, conseqüentemente aumenta a capacidade de alimentação de polpa, pois o atrito entre as partículas é mais intenso, favorecendo a quebra da película, com isso o pó é arrastado com maior facilidade pela corrente de gás.

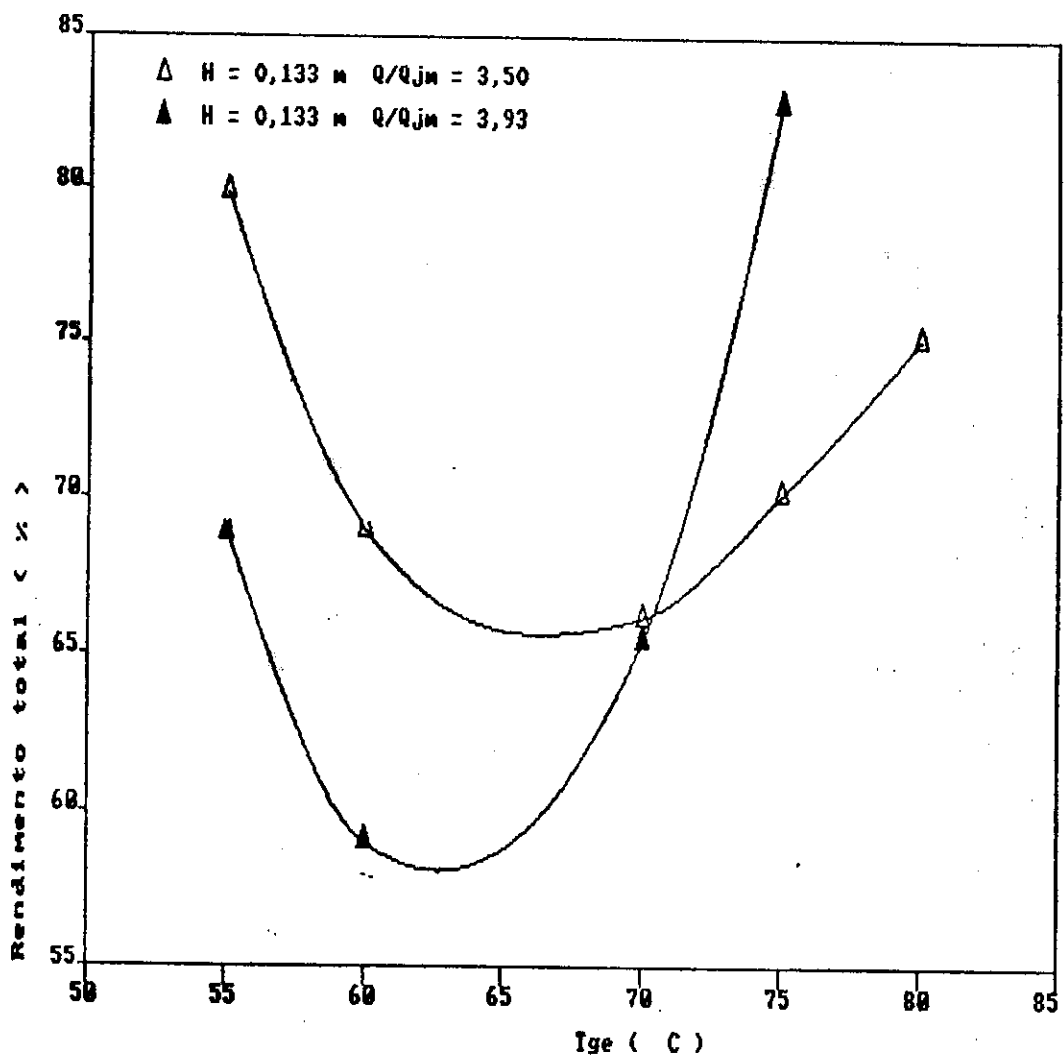


Figura 4.5 - Efeito da temperatura de entrada de ar na produção de pó.

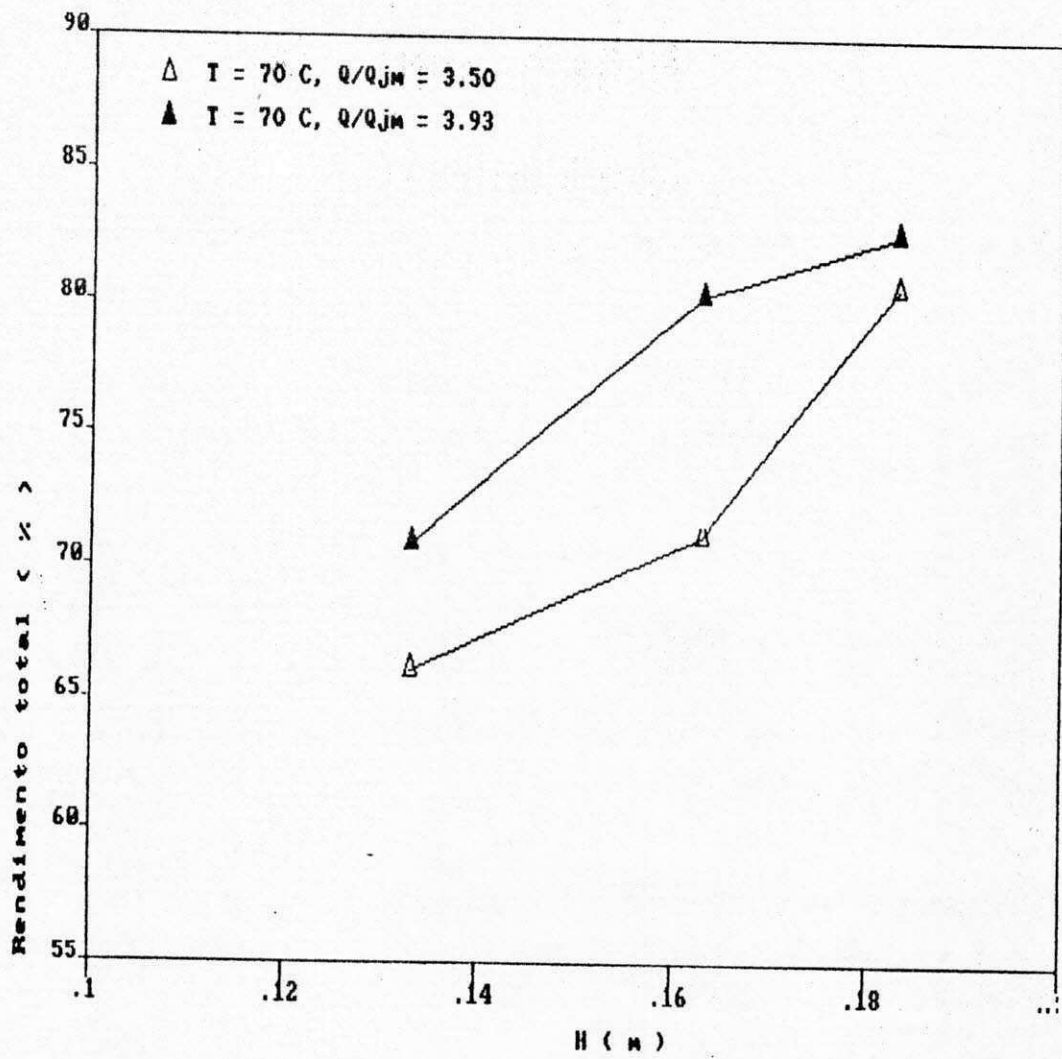


Figura 4.6 - Efeito da altura do leito na produção de pó.

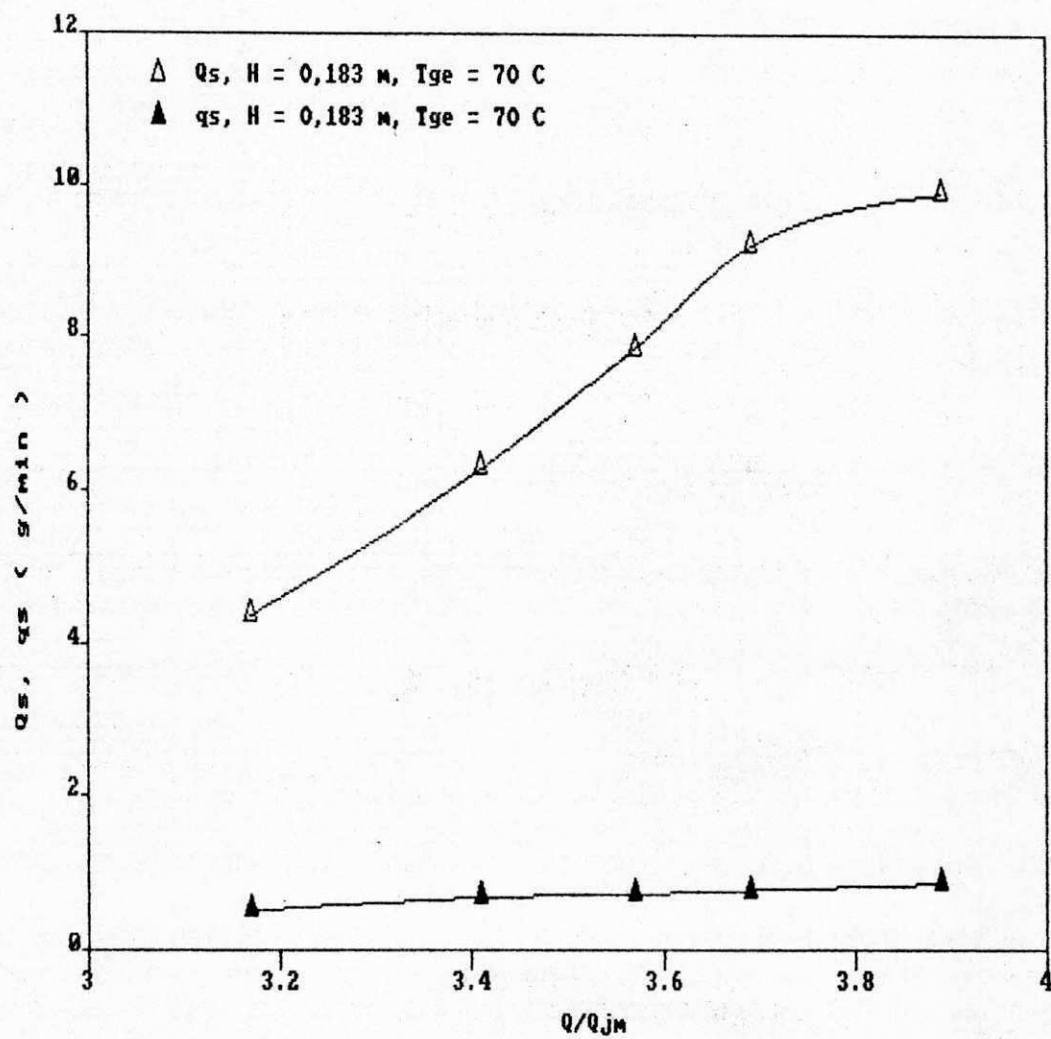


Figura 4.7 - Efeito da vazão de ar na vazão máxima de alimentação de polpa.

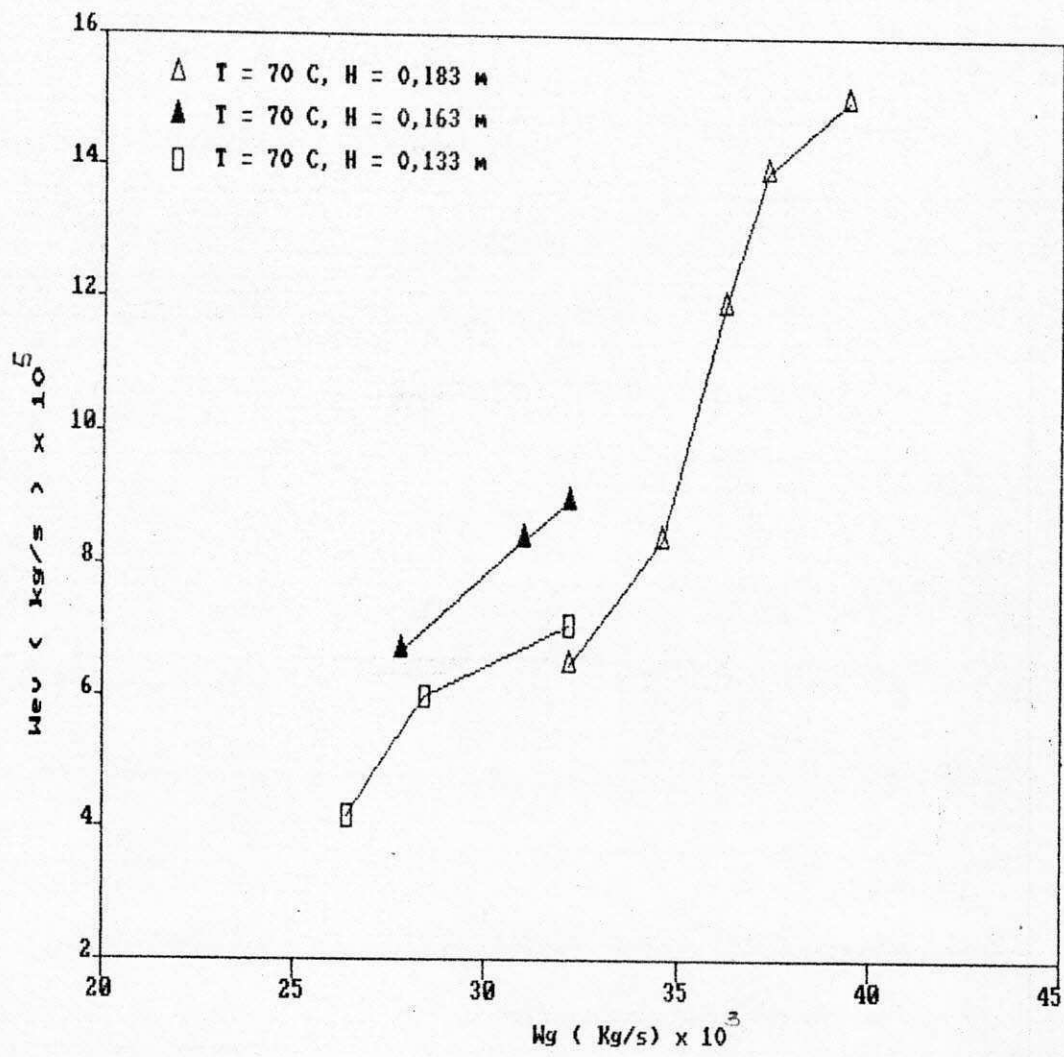


Figura 4.8 - Taxa de secagem influencia da altura do leito.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se extrair as seguintes conclusões, válidas na faixa estudada.

- O teor de umidade do produto final, está diretamente relacionado com a temperatura de entrada do ar, passando por um máximo em torno de 65°C para as duas velocidades estudadas.

- A umidade do pó obtido em função da altura também apresenta um máximo para a altura de 0,163m.

- A temperatura de entrada do ar no leito de jorro, exerce influência na degradação térmica sofrida pelo produto no secador utilizado. Temperaturas altas, favorecem um maior conteúdo de vitamina C, devido a uma secagem mais rápida do produto.

- A produção de pó é afetada pela temperatura de operação, passando por um mínimo para temperaturas de aproximadamente 65°C e aumentando com a altura e vazão de ar.

- A taxa de evaporação aumenta com o aumento da vazão do ar e da altura do leito.

- A capacidade máxima de polpa alimentada no leito de jorro tende a estabilizar a partir de $Q/Q_{jm} = 3,8$.

Com base nessas conclusões, recomenda-se trabalhar com temperaturas de entrada do ar acima de 65°C , porém não muito elevadas para não diminuir a eficiência térmica do processo, que de acordo com ALMEIDA (1991); LIMA (1992) diminui com a temperatura. Com relação à altura, recomenda-se alturas maiores que $0,163\text{m}$ (máximo de umidade) com o que diminui a umidade do pó, aumentando a sua produtividade. As vazões do gás deve corresponder a $Q/Q_{jm} = 3,80$, que propicia a máxima capacidade de alimentação de polpa.

CAPÍTULO 6

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Quanto a qualidade do produto.

- Fazer o controle microbiológico do produto obtido.
- Análise sensorial rigorosa.
- Controle de riboflavina e outros parâmetros nutricionais.

Quanto ao desempenho do equipamento.

- Estudo da mudança de escala.
- Melhorar o sistema de alimentação da polpa, com a introdução de um aspersor rotatório.
- Fazer o isolamento térmico do equipamento.
- Estudo da viabilidade econômica do processo.
- Verificar a aplicabilidade a outras frutas da região.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, M. M. "*Desidratação de Polpa de Umbu*". Relatório de Estágio Integrado. Campina Grande: UFPB, 1991.
- ALSINA, O. L. S., SOUZA, S. E. & SOARES, J. "*Propriedades Fluidodinâmicas da Polpa de Umbu*". Anais do XVI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. Petrópolis, 1988. v.2, p. 592-601.
- BARRET, N. & FANE, A. "*Drying Liquid Materials in a Spouted Bed*". In: Drying. Canadá: Hemisphere, 1989. p. 415-420.
- BERRUTI, F., MUIR, J. R. & BEHIE, L. A. "*Solids Circulation in a Spout-Fluid Bed with Draft Tube*". In: The Canadian Journal of Chemical Engineering. v. 88, p. 919-923, dez. 1988.
- CLAFLIN, J. K. & FANE, A. G., "*Spouting with a Porous Draft-Tube*". In: The Canadian Journal of Chemical Engineering. v. 81, p. 356, 1983.
- CLAFLIN, J. K., & FANE, A. G. "*Gas Distribution and Heat Transfer in a Draft-Tube Spouted Bed*". A.I.Ch.E, Symp. Serv., n. 241, 80, 17, 1984.
- CREMASCO, M. A., ROCHA, S. C. S. & MASSARINI, G. "*Secagem de Milho em Leito de Jorro*". Anais do XV Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. p. 382-393, 1987.
- GOMES, P. "*Umbuzeiro*". Mundo Agrícola. v. 14, n. 159, p. 95-98, 1965.
- GUBULIN, J. C. & FREIRE, J. T. "*Secagem de Pastas e Similares em Leito de Jorro*"; Teses de Secagem e Estudos Hidrodinâmicos Globais em Escala Piloto. Anais do

XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. v. 1, p. 203-213, 1989.

HADZISMAFLOVIC, Dz. E. et al. In: "*Fluidization V*". Ed. J. R. GRACE et al. Citados por MUJUNDAR, A. S. "*Spouted Beds: principles and recent developments*". Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. v. 1, 1989.

HUFENUSSLER, M. & KACHAN, G. C. "*Secagem de Purê de Banana em um Secador de Leito com Jorro*". Anais do XIII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. São Paulo, 1988. v. 2, p. 350-354.

KACHAN, G. C. & CHIAPPETTA, E. "*Desidratação da Pasta de Tomate em um Secador de Leito com Jorro*". Anais do XIII Congresso de Engenharia Química. 1988. v.2, p. 510-523.

KACHAN, G. C., TAQUEDA, M. E. & GONTER, P. A. S. "*Características do Pó de Tomate obtido por Desidratação da Pasta de Tomate em um Secador de Leito com Jorro*". Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. v.2, p. 524-531, 1988.

KHOE, G. K. & VAN BRAKEL, J. "*Solids Sep. Processes, I.*", citados por MUJUNDAR, A. S. "*Spouted Beds: Principles and Recent Developments*". Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. v.1, 1989.

LIMA, M. F. M. "*Desidratação de Polpa de Umbu em Leito de Jorro - Estudos Fluidodinâmicos e Térmicos*". Dissertação de Mestrado. Campina Grande: UFPB, 1992.

LIMA, M. F. M., SOUZA, F. M. F., ALSINA, O. L. S. "*Secagem de Polpa de Umbu em Leito de Jorro - Variáveis, Fluidodinâmicas do Leito*". XIX Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Volume I, Campinas, 1991, p. 367-377.

LIMA, M. F. M., ALMEIDA, M. M., VASCONCELOS, L. G. S. & ALSINA, O. L. S., *"Drying of "Umbu" Polp in Spouted Bed: Characteristic Cueves"*.

Drying'92, Elsevier Science Publishers B.V., Canadá. p. 1508, 1992.

LISBOA, O. *"O Umbuzeiro"*. Boletim de Agricultura, Zootecnia e Veterinária. Sec. Agricultura, MG. V.5, n. 7, p. 35-37, 1932.

MATHUR, K. B. & EPSTEIN, N. *"Spouted Beds"*. New York: Academic Press, 1974.

MATHUR, K. B. & GISHLER, P. E. *"A Technique of Contacting Gases with Coarse Solid Particles"*, citados por MATHUR, K. B. & EPSTEIN, N. *Spouted Beds*. New York: Academic Press, 1974.

MEDEIROS, J. W. A. *"Pareceres Técnicos - O Umbuzeiro"*. O Agrônomo. n. 19, p. 3-4, 1967.

MINCHEV, A. D.; ROMANKOV, P. G.; RASHKOVSKAYA, *"Determination of the Optimal Conditions for Drying of Pastes in Spouted Beds of Inert Materials"*. Zh Prikl. Rhim, Lenigrado, 1969.

PALLAI, I. & NEMETH, J. *"Residence Time Distribution in Spouting Beds"*, citados por MATHUR, K. B. & EPSTEIN, N. *Spouted Beds*. New York: Academic Press, 1974.

PHAM, Q. T. & POOLEY, E. J. *"A Spouted Bed Dryer using Inert Particles"*. Proc. 9th Australasian Chem. Eng. Conf., Chistchurch, New Zealand, 1981. p. 57.

POVRENOVIC, D. S., GRBAVCIC, Z. A., HADZISMAILOVIC, D. E. VUKOVIC, D. V. *"A Drying of Termo-Sensitive Suspensions in the Draft Tube Spout-Fluid Bed Sistem"*, IDS, '90-7th International Drying Simposium, Praga, Checoslováquia, Volume 2, p. 880, 1990.

- RÉ, J. I. & FREIRE, J. T. "*Secagem de Sangue Animal em Leito de Jorro*". Anais do XIV Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. p. 85-98. Campinas, 1986.
- RÉ, J. I. & FREIRE, J. T. "*Secagem de Extratos Farmacológicos*", Anais do XVI ENEMP, Petrópolis, v. 1, p. 163-174, 1988.
- REGER, E. O., ROMANKOV, P. G. & RASHKOVSKAYA, N. B. "*Drying of Paste-Like Materials on Inert Bodies in a Spouting Bed*", citados por MATHUR, K. B. & EPSTEIN, N. "*Spouted Beds*". New York: Academic Press, 1974.
- REYES, A., MASSARANI, G., "*Secado de Pastas em Lecho de Chorro*". Resumo do XIX Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. São Carlos. p. G1, 1991.
- SAMPAIO, L. "*Dinâmica do Leito de Jorro*". Teses de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1978.
- SCHNEIDER, T. & BRIDGWATER, J. "*Drying '89*". Ed. by A. S. MUJUNDAR, McGill University. Canadá: Hemisphere, p. 421-425, 1989
- SILVA, E. L., FREIRE, J. T. "*Transferência de Calor em Leito de Jorro Cônico: Determinação do Coeficiente de Troca Térmica Parede-Leito*". Anais do XVII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. v. 1, p. 163-174, 1989.
- SOUZA, A. H. "*O Umbu e seu Suco*". Revista Brasileira de Farmácia. p. 335-353, nov/dez 1970.
- SOUZA, F. M. F. "*Efeito da Altura do Leito de Inerte*". Relatório de Iniciação Científica. CNPQ, 1992.
- TIGRE, C. B. "*Estudos de Silvicultura Especializada do Nordeste*". II Congresso Brasileiro de Frutas Tropicais. v. 41, Coleção Mossoroense, 1976

APÉNDICE 1

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE VITAMINA C - TOTAL

Introdução

Este procedimento descreve como determinar o teor de vitamina C, denominado ácido ascórbico total, nos materiais que a contém. O ácido ascórbico total é representado pelos ácidos ascórbico, dehidroascórbico e dicetogulônico. Este método é adequado para a análise antiescorbútica de diversos alimentos.

Procedimento Experimental

1 - Extração

- Homogenizar 200g da amostra com 200g de HPO_3 a 10% durante a 2 a 5 min para obtenção de uma pasta uniforme.

- Pesar de 10 a 40g da pasta que contenham de 1 a 2mg de ácido ascórbico em um balão de 100cm^3 . Diluir com HPO_3 5% até perfeita homogenização.

- Eliminar as partículas sólidas em suspensão, centrifugando e decantando o líquido sobre nadante, filtrando em seguida através de um papel de filtro "Nhatman" nº

2 - Oxidação à Ácido Dehidroascórbico

- Com um conta gotas adicionar 2 gotas de solução de bromo, agitar rapidamente, até que a solução tome uma cor amarelada. Decantar para eliminar o excesso de bromo, e passar uma corrente de gás nitrogênio saturado pela solução para eliminar o bromo em excesso.

- Adicionar 10cm^3 de tiuréia a 2% em HPO_3 , 5% a uma alíquota de 10cm^3 do extrato oxidado e misturar bem para obter uma amostra diluída de 20cm^3 que contenha aproximadamente 10 mg de ácido ascórbico por cm^3 .

- Adicionar 10cm^3 de tiuréia 2% em H_3PO_4 e 5cm^3 de HPO_3 a 5%, a uma alíquota de 5cm^3 de extrato oxidado e misturar bem para obtenção de 20cm^3 que contenha aproximadamente 5mg de ácido ascórbico por cm^3 .

3 - Formação de Osazona

- Em três tubos de ensaio (ou tubos do colorímetro "Evelyn"), pipetar 4cm^3 de cada uma das diluições da amostra.

- Separar um tubo de cada diluição para utilizar como branco.

- Em cada um dos tubos restantes, colocar 1cm^3 de 2,4 dinitrofenilhidrazina 2%.

- Colocar todos os tubos em um banho de água a $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ durante exatamente, 3 horas.

- Depois, tirar os tubos do banho de água, e colocá-los num banho de gelo.

4 - Tratamento com H_2SO_4 85% (Formação do Pigmento Solúvel)

- Colocar nos tubos que estão no banho de gelo, adicionando lentamente $5,0\text{cm}^3$ de H_2SO_4 85%. Esta adição deve ser gota a gota durante pelo menos 1 min.
- Com os tubos ainda no banho de gelo, adicionar 1cm^3 de 2,4 dinitrofenilhidrazina 2% e agitá-los.
- Retirar os tubos do banho de gelo e deixá-los 30 min a temperatura ambiente.

5 - Medida de Cor

- Deixar estabilizar o espectrofotômetro colorimétrico. Selecionar uma faixa luminosa na região de 510 a 540 m μ . Por meio de um jogo de filtro.
- Ajustar o instrumento a 100% de transmissão, usando o branco.
- Com o aparelho ajustado, ler e anotar a percentagem de transmissão das amostras.

6 - Calibração do Equipamento

- Adicionar 2 a 3 gotas de bromo líquido a 50cm^3 da solução padrão do ácido ascórbico.
- Ventilar a solução oxidada para eliminar o excesso de bromo. Pipetar 10cm^3 da solução num balão aferido de 500cm^3 e adicionar 5 gotas de tiuréia. Ajustar o volume com HPO_3 .

- Preparar soluções diluídas de ácido dehidroascórbico que contenham 1, 2, 4, 5, 8, 10 e 12 mg/cm³, pipetando 5, 10, 20, 25, 40 e 60cm³ da solução diluída em 7 balões de 100cm³.

- Tratar com uma das soluções padrão de ácido ascórbico da mesma forma que as amostras anteriores.

- Preparar uma curva de calibração gráfico em papel semilogaritmico, representando % de transmissão nas ordenadas e concentração de ácido ascórbico (mg/cm³) nas abcissas.

7 - Cálculo

- Calcular o conteúdo de ácido ascórbico de cada alíquota segundo a forma:

$$\frac{R}{W} \times \frac{100}{1000} = \text{mg de ácido ascórbico total por 100g}$$

Onde:

R = mg de ácido ascórbico total por CC de solução, obtido da curva de calibração do valor correspondente.

W = g da amostra por CC da solução diluída.

$\frac{100}{1000}$ = fator para converter mg por g a mg por 100g.

O ácido ascórbico total, inclui os ácidos ascórbico, dehidroascórbico e dicetogulônicos que estão presentes na amostra.