



PIBIC/CNPq/UFCEG-2009

LIOFILIZAÇÃO DA POLPA DE MANGABA PARA OBTENÇÃO DA FRUTA EM PÓ

Aline dos S. Chaves¹, Mário E. R. M. Cavalcanti Mata², Maria E. M. Duarte², Severina de Sousa³, Vanúcia S. Dias⁴, Maria Eduarda R. de R. M. Cavalcanti⁴, Anna Sílvia R. de R. M. Cavalcanti⁴

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi estudar a obtenção de mangaba em pó utilizando o processo de liofilização para tanto se determinou a cinética de congelamento de polpa de mangaba às temperaturas de -30, -50, -170 e -196 °C e posteriormente a cinética de liofilização para obtenção do produto em pó. Foram também determinadas as caracterizações químicas e físico-química dos produtos in natura e produto liofilizado. Para expressar a cinética de congelamento utilizou-se o modelo de Fourier para um formato de placa plana e para a cinética de liofilização utilizou-se o modelo de Page. Na cinética de liofilização para a temperatura do produto congelado a -50 °C. Verificou-se que após 24 h de processo o produto se mantinha ainda úmido, com um teor de água de 24% b.u., necessitando de um tempo maior para atingir a umidade ideal para o armazenamento. Verificou-se também que o tempo de congelamento para as amostras de polpa de mangaba, como esperado, foi menor à medida que se utilizaram temperaturas mais baixas. Conclui-se que os modelos utilizados representam satisfatoriamente o fenômeno físico de congelamento e liofilização da mangaba.

PULP LYOPHILIZATION OF MANGABA TO OBTAIN THE POWDER FRUIT

ABSTRACT

The objective of this research was to study the acquisition of “mangaba” powder using the process of lyophilization. Thus, it was determined the kinetics of freezing of the “mangaba” pulp at temperatures of -30, -50, -170 and -196 °C and subsequently the kinetics of lyophilization to obtain the powder product. It was also determined the chemical and physical-chemical characteristics of the products in natura and of the lyophilized product. To express the kinetics of freezing it was used the Fourier model for a form of flat plate and the kinetics of lyophilization using the Page model. In the kinetics of lyophilization to the temperature of frozen product to -50 °C. It was verified that after 24 h in case the product is still kept moist with a water content of 24% w.b.s. requiring a longer time to reach the ideal humidity for storage. Also, it was checked the time of freezing for samples of “mangaba” pulp as expected, was lower as it was used lower temperatures. It is concluded that the models used satisfactorily represent the physical phenomenon of freezing and lyophilization of “mangaba”.

Keywords: freezing- dryer, exotic fruit, kinetic

¹ Aluna de Curso de Desenho Industrial, Centro de Ciências e Tecnologia, UFCEG, Campina Grande, PB, E-mail: aline@hotmail.com

² Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UFCEG, Campina Grande, PB, Email: mmata@deag.ufcg.edu.br; elita@deag.ufcg.edu.br

³ Engenheira Agrônoma, Doutora, Bolsista de DCR, U.A. de Engenharia Agrícola, Email: sev@deag.ufcg.edu.br

⁴ Desenhista Industrial, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UFCEG, vanuciadiaz@yahoo.com.br; dudah@hotmail.com; paramiachar@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) é uma fruta de clima tropical, da família das Apocináceas. Ocorre exclusivamente no Brasil, com maior abundância nos tabuleiros e baixadas litorâneas do Nordeste. Pode ser encontrada também nos cerrados do Centro-Oeste, no Norte e Sudeste (SILVA JÚNIOR, 2004).

É uma fruta que apresenta um significativo valor comercial, e destaca-se pelo sabor e aroma, além de grande importância na medicina popular.

É uma das frutas mais apreciadas no Nordeste, sendo industrializada principalmente na forma de polpa congelada para sucos e como sorvetes. Embora muito procurada, ainda é pouco produzida comercialmente, sendo o volume de fruta que chega ao mercado não dá conta da procura e, de olho nesse potencial econômico, as instituições de pesquisa agropecuária do Nordeste têm se dedicado a realizar estudos com objetivo de domesticar a espécie, verificar seu comportamento e fomentar o plantio comercial (EMEPA, 2008).

De acordo com SANTOS et al. (2008) a mangaba como ator na tradição cultural nordestina pode se tornar uma grande cultura como forma de agregação de valor para assentamento e agricultura familiar, nas mais diversas partes da região nordeste.

Diante do potencial econômico da mangaba, surge a necessidade de realização de estudos visando a possibilidade de agregação de valor à fruta. O emprego de novas tecnologias de pós-colheita poderá aumentar a vida útil da fruta, e alcançar mercados atraentes, tanto internos como externo. E o desenvolvimento de um novo produto, como mangaba em pó, visando manter suas propriedades nutricionais e sensoriais poderia agregar maior valor à fruta, estando disponível em qualquer época do ano.

Assim, torna-se necessária a utilização de um dos melhores métodos de desidratação que proporciona um produto final de melhor qualidade – a liofilização.

Segundo CAVALCANTI MATA (2006) A liofilização (freeze drying) consiste em uma operação na qual a água é removida do alimento por transferência do estado sólido (gelo) para o estado gasoso (vapor de água). Essa transformação (sublimação), consiste na secagem primária com remoção da água congelada (Figura 1), e ocorre quando a pressão e a temperatura da superfície do gelo, onde ocorre a sublimação, é inferior àquela do ponto triplice (4,58 mmHg e 0 °C), (KAREL (1975).

KROKIDA et al. (1998), relata que para acontecer o processo, torna-se necessário o suprimento de energia térmica para transformar a água congelada em vapor de água, o qual é continuamente removido do material alimentício mantendo-se a pressão na câmara de liofilização abaixo da pressão existente na superfície do gelo. Durante a liofilização, a sublimação do gelo gera uma estrutura porosa, cujas paredes podem sofrer contração devido a esforços superficiais ou gravitacionais. O final da etapa de sublimação é determinado pela observação da pressão interna no liofilizador. A pressão se reduz significativamente quando a geração de vapor diminui de maneira expressiva; simultaneamente a temperatura no condensador (que consiste em um acessório do liofilizador) diminui (EDWARDS, 1989).

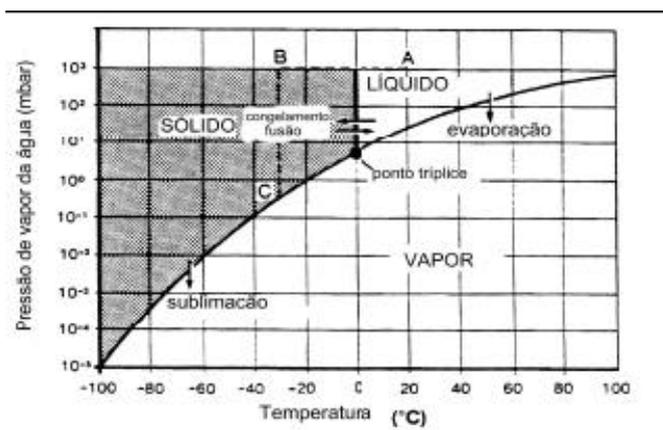


Figura 1. Congelamento e Sublimação

Segundo CAVALCANTI MATA (2006) a etapa que precede a operação de liofilização é o congelamento do alimento, que é a etapa mais importante. Durante o congelamento, a água transforma-se em cristais de gelo. O líquido migra da solução e mantém os solutos na matriz sólida. Esses cristais podem interferir na aparência e qualidade do produto final. Segundo WOINET et al. (1998a) empiricamente, sabe-se que um congelamento rápido produz pequenos cristais, enquanto o processo lento possibilita a formação de cristais grandes. Para materiais celulares (frutas e vegetais), grandes cristais levam à destruição da parede celular com perdas de qualidade organoléptica durante o descongelamento (WOINET et al., 1998b).

Por esta razão, o principal interesse dos trabalhos de pesquisa com o processo de liofilização de alimentos, é a influência das condições de processo no tempo de liofilização, bem como os diferentes métodos de congelamento e conseqüente velocidades de congelamento.

A etapa final da liofilização consiste na dessorção da água não congelada, isto acontece ao aumentar a temperatura da câmara de liofilização para um valor próximo da temperatura do ambiente externo à câmara, mantendo-se a pressão baixa (FELLOWS, 1988).

Os alimentos liofilizados são caracterizados por apresentarem propriedades de alta qualidade, tais como: pequena densidade aparente, alta porosidade, sabor apreciável, retenção de aromas e excelente reidratação, comparados com produtos obtidos por outros processos de secagem. Além de preservar suas qualidades, se devidamente embalado, pode ser armazenado fora de refrigeração por até dois anos sem perder suas qualidades nutricionais. Além disso, facilita os processos de transporte e armazenagem (KROKIDA et al., 1998; CAVALCANTI MATA, 2005).

Objetivo geral

Obter a mangaba em pó, desidratada pelo processo de liofilização.

Objetivos específicos

- Caracterização química e físico-química dos produtos in natura e produto liofilizado.
- Estudar a cinética de congelamento da polpa de mangaba as temperaturas de temperaturas de -30, -50, -170 e -196 °C.
- Estudar a cinética de liofilização para obtenção da mangaba em pó.

MATERIAL E MÉTODOS

O processo de obtenção da mangaba liofilizada foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - PB.

Matéria-prima

Frutos da mangabeira (*Harconia speciosa* Gomes) foram obtidos na região produtora da Paraíba.

Seleção

Foi realizada uma seleção manual das frutas, com o objetivo de eliminar frutos estragados e com estágio de maturação diferente do desejado.

Critérios da seleção:

- Estágio de maturação semi-madura
- Tamanho
- Cor da casca
- Ausência de injúrias provocadas por choques térmicos ou insetos
- Pedúnculo totalmente preso
- Firmeza.

Higienização

Os frutos foram lavados em água potável corrente. Depois de lavados, os frutos serão postos a secar em ambiente natural, antes da próxima fase de processamento.

Despolpamento

O despolpamento, processo de separar a polpa das partes não comestíveis da fruta, tais como o material fibroso, as sementes e o resto de casca, foram realizados manualmente.

Caracterização da polpa

A polpa foi caracterizada no início e também ao final do processamento, quanto às análises químicas (acidez total titulável, ácido ascórbico, açúcares totais e redutores) e físico-químicas (teor de água, pH, sólidos solúveis totais).

Acidez total titulável

Realizada através de titulometria de neutralização utilizando hidróxido de sódio a 0,1 N seguindo a metodologia descrita no manual do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

Ácido ascórbico

Foi determinado pelo método da AOAC (1997) modificado por BENASSI & ANTUNES (1998) no qual utiliza-se como solução extratora o ácido oxálico.

Açúcares totais e redutores

O método utilizado se baseou na redução de íons de cobre bivalente, em meio básico, pelos açúcares redutores, conforme metodologia proposta pela AOAC (1997).

Sólidos solúveis totais

A determinação dos sólidos solúveis totais foi realizada com um refratômetro do tipo Abbe, colocando-se uma gota do suco no prisma e fazendo-se a leitura direta em °Brix. A seguir a leitura do °Brix foi corrigida em função da temperatura da amostra utilizando-se a tabela contida no manual do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

pH

O pH foi determinado com um peagâmetro digital, modelo TE-902 marca DIGIMED com precisão de 0,01 unidades de pH, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

Teor de água

O teor de água foi obtido seguindo-se o descrito pelo Instituto Adolfo Lutz, (1985) utilizando-se o binômio temperatura e tempo . Utilizou-se uma estufa a temperatura de 70oC até peso constante.

Congelamento

Amostras de polpa de mangaba foram submetidas a diferentes temperaturas de congelamento (-30, -50, -170, e -196 °C). A cinética de congelamento foi obtida com o auxílio de termopares inseridos no centro das amostras para monitoramento e registro da queda da temperatura, até atingir a temperatura de equilíbrio em amostras de 100 gramas distribuídas em embalagens de polietileno, de maneira a se obter um formato de placa plana.

Temperatura de -30 °C (Congelamento lento)

O congelamento das polpas de mangaba a temperatura de -30 °C foi realizado utilizando freezer convencional vertical. O monitoramento da queda da temperatura foi feito em intervalos de 5 minutos.

Temperatura -50 °C (Congelamento intermediário)

O congelamento das polpas de mangaba a temperatura de -50 °C foi realizado utilizando freezer horizontal Marca INDREL, modelo IULT 9504 D. O monitoramento da queda da temperatura foi feito como anteriormente também em intervalos de 5 minutos.

Temperatura de -170°C (Congelamento ultra-rápido)

O congelamento da polpa de mangaba a temperaturas de -170 °C foi realizado em um contêiner metálico aberto, revestido externamente com isopor de 7,0 cm e uma camada de chapa de alumínio de 0,5 mm. Utilizou-se o vapor proveniente do nitrogênio líquido contido neste contêiner onde a amostra ficava

suspensa em uma tela de arame, para o congelamento da amostra. O monitoramento da queda da temperatura foi feito em intervalos de 30 s.

Temperatura de -196 °C (Congelamento ultra-rápido)

Esta operação foi realizada colocando a polpa embalada em uma tela de arame e imergindo-a em nitrogênio líquido contido no interior do contêiner descrito anteriormente, sendo a leitura da queda da temperatura foi feito em intervalos de 5 s.

Cinética de congelamento

As curvas de congelamento foram obtidas introduzindo-se um termopar no centro do produto e registrando o decréscimo de temperatura até que esta se tornasse constante ou bem próximo à temperatura do meio de congelamento. Aplicou-se aos dados experimentais a Lei de Fourier, onde segundo FIOREZE (2004), o número de Fourier (Fo) é o tempo adimensional, em função do comprimento característico L para superfície plana, ou do raio externo r_e para cilindros ou esferas, conforme Equação 1:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Para calcular a transferência de calor, em regime transiente, cuja forma se assemelha a uma placa plana de espessura $2L$, pequena em função do tamanho da mesma, ou seja, placa infinita, inicialmente à temperatura T_i é subitamente colocada em um meio fluido com temperatura T_{inf} , ocorrerá transferência de energia por condução e convecção entre o corpo e o meio, sendo a distribuição de temperatura Tx numa posição "x" qualquer, desse corpo, uma função do tempo, fornecida pela Equação (2) que equivale ao modelo de Fourier:

$$RT = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \exp(\sigma_n^2 - F_0) \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

$$A_n = \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cdot \text{cos} \sigma_1} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$F_0 = (\alpha/L^2) \cdot t \quad (\text{Eq. 4})$$

Para $n=1$ a equação se torna:

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cdot \text{cos} \sigma_1} \text{Exp} \left(\frac{\sigma_1^2 \cdot \alpha}{L^2} \cdot t \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde

$$A_1 = \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cdot \text{cos} \sigma_1} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$A_2 = \left(\frac{\sigma_1^2 \cdot \alpha}{L^2} \right) \quad (\text{Eq. 7})$$

em que,

- RT - Razão de temperatura, adimensional
- T - Temperatura em cada momento, °C
- T_{∞} - Temperatura do meio de congelamento, °C
- T_0 - Temperatura inicial do produto, °C
- A_n - Coeficiente que depende do produto
- σ_n - raiz transcendental
- F_0 - Número de Fourier, adimensional

α - difusividade térmica efetiva, $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
L - espessura da amostra de L/2, mm
t - tempo, s.

Liofilização

O produto foi liofilizado em um equipamento Modelo Terroni Série LB 1500 (Figura 2), com temperatura e pressão fixas. Nesta etapa do trabalho, a liofilização foi realizada para ao produto congelado na temperatura de $-50\text{ }^\circ\text{C}$.

Cinética de Liofilização

Na cinética de liofilização foi adotada a equação de Page, muito utilizada na secagem de diversos produtos agrícolas.

O produto será liofilizado em um equipamento Modelo Terroni Série LB 1500, com temperatura e pressão fixas.

A liofilização será realizada para o produto congelado na temperatura de $-25\text{ }^\circ\text{C}$ com auxílio de um freezer.



Figura 2 – Liofilizador

Análise estatística

Foi realizada uma análise de regressão não linear pelo método de Quase-Newton com o auxílio do programa computacional Statistica 7.0 para o ajuste dos dados experimentais, obtendo-se os referidos coeficientes das equações bem como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os valores da mangaba in natura e da mangaba em pó onde se observa uma alteração nos açúcares uma vez que o produto foi concentrado pela eliminação da água. Na Figura 1, referente a cinética de congelamento percebe-se que a polpa de mangaba segue o comportamento da água existindo as três fases do congelamento, seja a fase I é o resfriamento; a fase II é a cristalização e a fase III o pós-congelamento.

Tabela 1 – Mangaba em pó liofilizada: Análise química

Constituintes	Mangaba	Mangaba em pó
Teor de água	89%	23,1%
Ácido ascórbico, (mg/100g)	25,3	32,6
Açúcares totais	8,2	-
Açúcares redutores,	7,0	-
Acidez total titulável	2,5	1,5
sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$)	10,7	89,4
pH.	4,5	4,7

Congelamento como uma etapa da liofilização

O congelamento de polpa de mangaba foi realizado nas temperaturas de -30, -50, -170 e -196 °C. Nas Figuras de 3 a 6 encontram-se os dados experimentais da cinética de congelamento da polpa de mangaba realizada em formato de placa plana. Nessas Figuras encontram-se também as equações que representam os dados experimentais determinadas pelo modelo de Fourier para as diferentes fases do processo de congelamento.

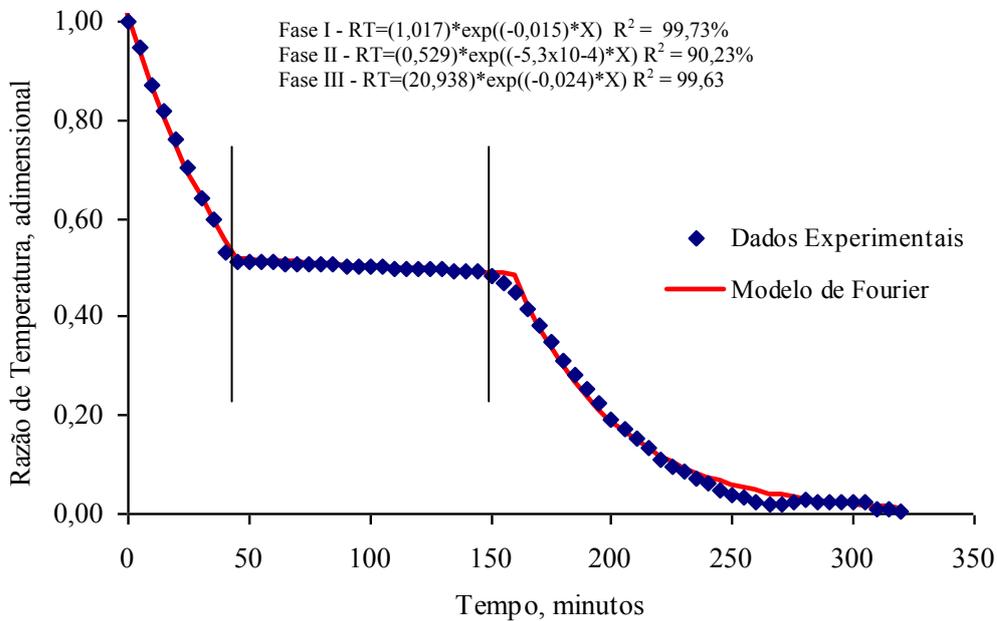


Figura 3. Cinética de congelamento da polpa de mangaba a temperatura de -30 °C

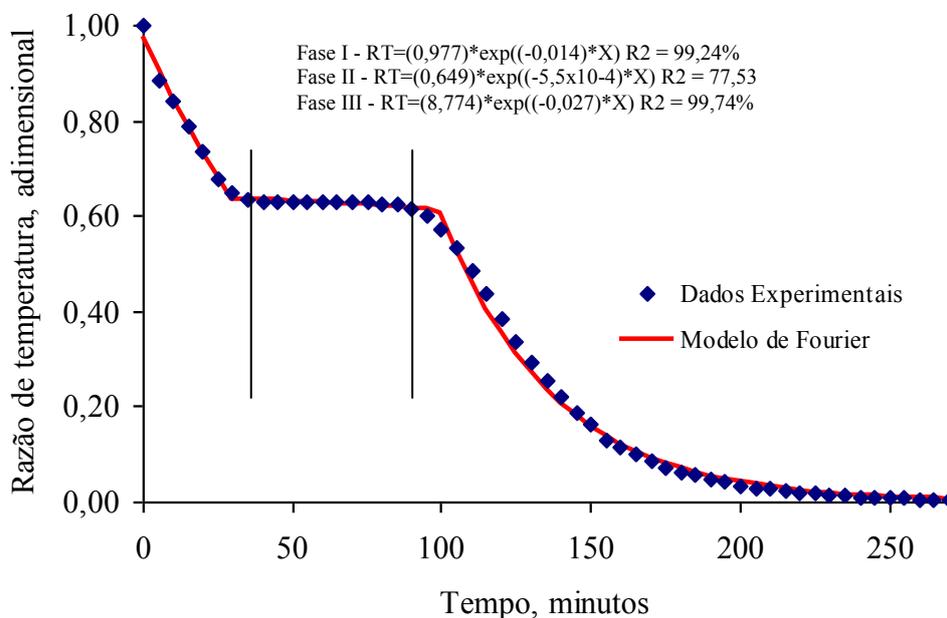


Figura 4. Cinética de congelamento da polpa de mangaba a temperatura de -50 °C

Pela cinética de congelamento das Figuras 3 e 4, que representam o congelamento lento e intermediário respectivamente, percebe-se claramente as três fases pelas quais o produto passa durante o congelamento que são resfriamento (fase I), cristalização (fase II) e a fase de pós-congelamento (fase III). Constata-se na cinética de congelamento de polpa de mangaba à temperatura de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 3) que todo o processo de congelamento durou 320 min, sendo a primeira fase que é o resfriamento, ocorreu em aproximadamente 50 min, em seguida a fase de cristalização foi bem mais lenta que a primeira a qual prolongou-se por aproximadamente 100 minutos. A fase III que corresponde a de pós-congelamento, a qual acaba quando a temperatura entra em equilíbrio com a temperatura do meio, esta durou 170 min. É possível observar também na Figura 4, a temperatura de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ que o processo completo de congelamento durou aproximadamente 270 min, contudo, as fases de congelamento e de cristalização ocorreram em um tempo mais rápido que a temperatura de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, que foram respectivamente em 30 e 50 min. A fase de pós-congelamento foi a mais longa do tratamento.

Na Figura 5 encontra-se a cinética de congelamento de polpa de mangaba utilizando o processo ultra-rápido à temperatura de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ com de circulação de vapor de nitrogênio líquido. Nesta Figura pode-se observar que o processo foi bem mais rápido que nas temperaturas anteriores, durou em aproximadamente uma hora. Pode-se observar também que as fases I e II ocorreram em apenas 1200 s que corresponde a 20 min.

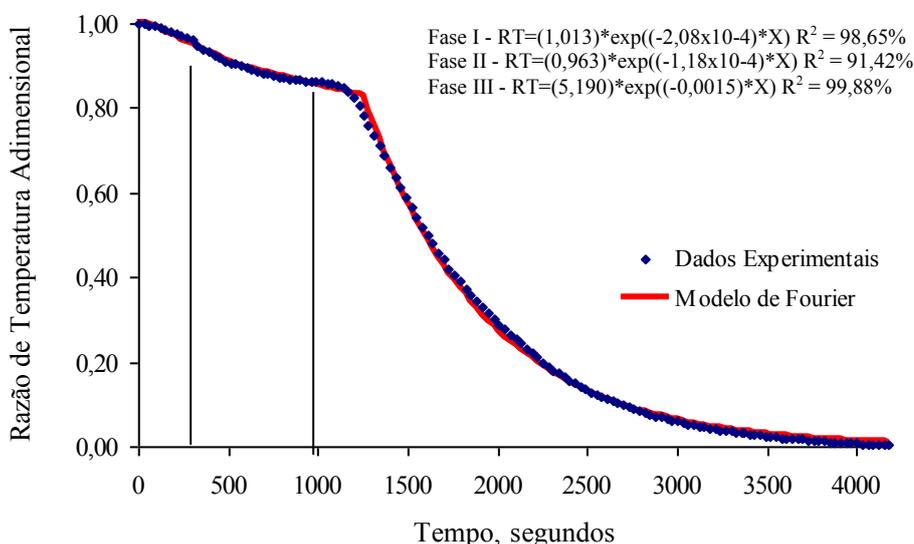


Figura 5. Cinética de congelamento da polpa de mangaba a temperatura de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$

Na Figura 6 encontra-se os dados onde o congelamento foi feito por imersão em nitrogênio líquido a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Neste tratamento onde o congelamento é ultra-rápido, não se observa com nitidez a fase de cristalização da polpa de mangaba. Desta forma as fases de congelamento não são bem definidas, estando de acordo com a literatura para outras frutas, em que não se observou a fase II no processo de congelamento por imersão. Contudo, o processo completo de congelamento neste tratamento ocorreu em aproximadamente 3,5 min.

A literatura tem citado que o processo de congelamento de frutas por imersão dura no máximo três minutos (AGRA, 2006) com manga, (CHAVES, *et al*, 2008) com polpa de pinha.

Vale lembrar que a mangaba é uma fruta cujo processamento ainda não tem sido muito estudado, estando disponível pouca informação sobre o processamento da mesma. Além disso, o tipo de embalagem utilizado durante o processo é de grande importância na transferência de calor. Outro fator que deve ser levado em consideração é a presença do látex que nesta etapa do trabalho não foi realizado nenhuma inativação e que posteriormente deve ser investigada sua capacidade de interferência durante o processo de transferência de calor.

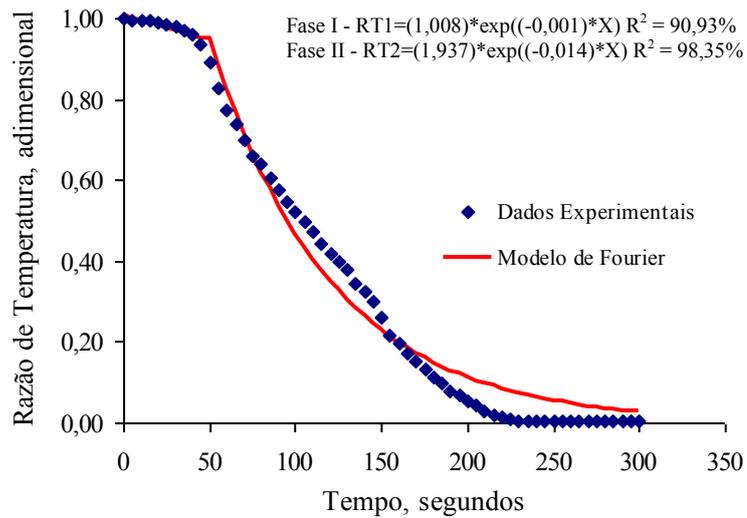


Figura 6. Cinética de congelamento da polpa de mangaba a temperatura de -196 °C

Processo de liofilização

Nesta etapa do trabalho, o processo de liofilização foi estudado à temperatura de -50 °C. Na Figura 7 encontra-se a cinética de liofilização de mangaba à -50 °C ajustada pelo modelo de Page, bem como seus respectivos parâmetros.

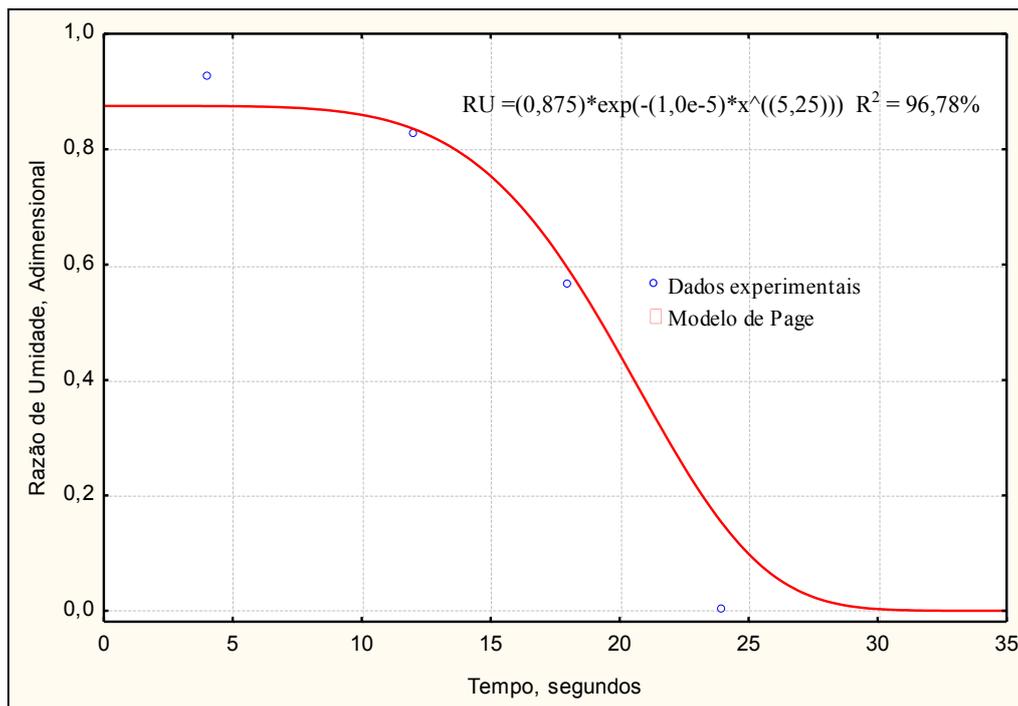


Figura 6. Cinética de liofilização, em 24 horas, de polpa de mangaba congelada à -50 °C

Pode-se observar na Figura acima que com 24 h de processo de liofilização da mangaba, o produto ainda se encontrava muito úmido, em torno de 17% de umidade, necessitando de um tempo maior de processo para atingir a umidade ideal para o armazenamento.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Para uma amostra de 100 gramas de polpa de mangaba, durante o congelamento nas temperaturas de -30, -50 e -170 °C ocorreram as diferentes fases do congelamento

(resfriamento, congelamento e pós-congelamento), não sendo possível visualizar essas três fases na temperatura de -196 °C;

- O congelamento de polpa de mangaba ocorreu em 320 min para a temperatura de -30 °C, em 270 minutos para a temperatura de -50 °C, em aproximadamente uma hora para a temperatura de -170 °C e 3,5 min para o processo de congelamento por imersão em nitrogênio líquido que é de -196 °C;
- O tempo de liofilização estudado não foi suficiente para obtenção de um produto seco para um armazenamento seguro, necessitando de um tempo maior de processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRA, N.G. **Secagem e liofilização de manga: características físico-químicas e sensoriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Obtenção de frutas em pó pelo processo de liofilização**. Projeto de Pesquisa CNPq 2006. 72p.
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Obtenção de frutas em pó**. Projeto de Pesquisa CNPq 2005. 56p.
- CHAVES, A. S., CAVALCANTI, M.E. R. de R.M., CAVALCANTI MATA, M.E. R.M., DUARTE M.E.M. **Obtenção de pinha em pó pelo processo de liofilização**. In: V CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, Campina Grande, 2008.
- EDWARDS HIGH VACUUM INTERNATIONAL. Installation and operation manual. Crawley. 1989.
- FELLOWS, P. **Food processing technology-Principles and practice**, 1o ed., Ellis Horwood. Southampton, 1988, 550p.
- FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora Universitária, 2004, 229p.
- GLOBO RURAL, Disponível em <http://globorural.globo.com/barra.asp?d=edic/179/fichaplanta1.htm>. Acesso em 10 de abril de 2008.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo-SP, v. 1, 3ªed. 1985, 317p.
- KAREL, M. Freeze dehydration of foods. In: Principles of food science; Part II. Physical Principles of Food Preservation, 1º ed., Marcel Dekker, New York. 1975, p359-395.
- KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. "Effect of freeze-drying on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products", **Journal of Food Engineering**, v.35, p.369-380, 1998.
- SANTOS, A.R.F., SILVA, A.V.C., GÓES, I.B., SOUZA, E.M., MUNIZ, E.N., NARAIN, N. **Situação atual e perspectivas para o cultivo da mangaba no Estado de Sergipe**. Disponível em http://www.cnpat.embrapa.br/sbsp/anais/trab_format_PDF/193.pdf. Acesso 10 de abril de 2008.
- SILVA JÚNIOR, J.F. A cultura da mangaba, **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.1-192, 2004.
- WOINET, B.; ANDRIEU. J.; LAURENT, M. Experimental and theoretical study of model food freezing. Part I. Heat transfer modeling. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.381-393, 1998a.
- WOINET, B.; ANDRIEU. J.; LAURENT, M.; "Experimental and theoretical study of model food freezing. Part II. Characterization and modeling of the ice crystal size", **Journal of Food Engineering**, v.35, p.395-407, 1998b.