



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS

DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FRUTÍCULOS DE JACA
(*Artocarpus integrifolia* L.):
APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS

TATIANA SANT'ANNA DE SOUZA

ITAPETINGA - BAHIA
2007

TATIANA SANT'ANNA DE SOUZA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FRUTÍCULOS DE JACA (*Artocarpus integrifolia* L.):
APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:
Modesto Antonio Chaves

Co-orientadora:
Renata Cristina Ferreira Bonomo

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
2007

641.44	Souza, Tatiana Sant'Anna de.
S719d	Desidratação osmótica de frutículos de jaca (<i>Artocarpus Integrifolia L.</i>): aplicação de modelos matemáticos / Tatiana Sant'Anna de Souza. – Itapetinga, BA: UESB, 2007. 65p.
	Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB - <i>Campus</i> de Itapetinga. Sob a orientação do Prof. DSc. Modesto Antonio Chaves e co-orientação da Profª DSc. Renata Cristina Ferreira Bonomo.
	1. Jaca – Desidratação – Osmose. 2. Desidratação osmótica – Jaca – Modelos matemáticos. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, <i>Campus</i> de Itapetinga. II. Chaves, Modesto Antonio. III. Bonomo, Renata Cristina Ferreira. IV. Título.
	CDD(21): 641.44

Catálogo na Fonte:

Cláudia Aparecida de Souza – CRB 1014-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Jaca – Desidratação
2. Jaca – Osmose
3. Desidratação osmótica – Jaca
4. Desidratação osmótica – Modelos matemáticos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Área de Concentração Engenharia de Processos de Alimentos

Campus de Itapetinga – BA

TERMO DE APROVAÇÃO

Título: “DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FRUTÍCULOS DE JACA (*Artocarpus integrifolia* L.): APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS”.

Autor: TATIANA SANT’ANNA DE SOUZA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, área de concentração em **Engenharia de Processos de Alimentos**, pela Banca Examinadora:

Prof. Dr. Modesto Antonio Chaves – UESB
Presidente

Prof^a. Dr^a. Alessandra Almeida Castro – UFS

Prof. Dr. Arienilmar Araújo Lopes da Silva – UESB

Data da defesa: 14/12/2007

UESB – Campus Juvino Oliveira, Praça Primavera n° 40 – Telefone: (77) 3261-8629

Fax: (77) 3261-8701 – Itapetinga – BA – CEP: 45.700-000 – E-mail: ppgeal@uesb.br

Aos meus pais, Waldir Salvador e Sandra Sant'Anna, os quais muito amo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu o dom da vida, a saúde e a coragem para vencer os obstáculos, por nunca me abandonar nos momentos difíceis e permitir chegar até aqui.

Ao meus pais Waldir Salvador e Sandra Sant'Anna por estarem sempre ao meu lado, com amor e uma mão disposta a ajudar. Agradeço pelo exemplo de dignidade e pela lição de amor!

Agradeço ao Professor Doutor Modesto Antônio Chaves pela orientação e por seus ensinamentos sempre oportunos.

À Professora Doutora Renata Cristina Ferreira Bonomo pelos conselhos, atenção e pelas valiosas sugestões na elaboração da dissertação.

Ao Professor Leonardo Pontes por conceder a utilização do laboratório para realização do experimento.

Aos professores Arienilmar Silva e Alessandra Castro pela participação da banca de Qualificação.

À coordenação de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos pelo suporte na obtenção deste título.

A toda minha família e todas as pessoas que estiveram do meu lado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus grandes e eternos amigos Saulo e Eliza pela atenção, carinho, colaboração (direta ou indiretamente), paciência e amizade.

À minha colega Michelle, tia Cacau e ao meu primo Tony por todos os tipos de incentivo que me deram durante todo o curso.

Aos colegas Ellen, Leandro, Betânia, Isadora, Yara e Rilvânia pela ajuda nos experimentos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela oportunidade de realização do curso.

À FAPESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia) pelo suporte para a realização da pesquisa.

E muito obrigada também a todos que de alguma maneira cruzaram e colaboraram nesta minha jornada.

RESUMO

SOUZA, T. S. **Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus integrifolia* L.): Aplicação de modelos matemáticos.** Itapetinga – BA: UESB, 2007. 65p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Alimentos – Engenharia de Processos de Alimentos).*

A desidratação osmótica tem sido sugerida como uma operação unitária importante, em conjunto com uma secagem convectiva, na transformação de frutos perecíveis em novos produtos com maior vida de prateleira e maior valor agregado. A aplicação de modelos matemáticos confiáveis torna possível prever o comportamento de diversos fenômenos que ocorrem no processo bem como possibilita a redução do seu custo operacional. A jaca é uma fruta muito rica em fibras. É rica também em cálcio, fósforo, ferro e vitaminas do complexo B. Este trabalho foi realizado no Módulo de Laboratório da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Campus de Itapetinga-BA, com o objetivo de estudar a aplicação de modelos matemáticos na desidratação osmótica de frutículos de jaca para diferentes concentrações de sacarose:glicose (0:100, 25:75, 50:50, 60:40, 75:25, 100:0) e diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) das soluções, no tempo de 2880 minutos, sendo padronizado o teor de sólidos solúveis totais da solução em 64 °Brix. Em todos os procedimentos experimentais, a desidratação osmótica foi realizada em banho termostatizado. A determinação de características Físico-Química da fruta foi feita medindo-se os teores de sólidos solúveis (SST), pH, acidez titulável (ATT) e umidade. Todas as determinações foram feitas em amostras da fruta *in natura* e após a desidratação osmótica. O modelo decaimento exponencial 2 se ajustou melhor aos dados experimentais de perda de água, constatando-se uma variação do coeficiente de determinação de 76,73% a 97,16%, enquanto que, para as variáveis SST e ATT, o modelo logístico ajustou-se melhor aos dados experimentais, obtendo variação de 80,5% a 98,2% e 89,5% a 99,4%. Já para o pH, o modelo decaimento exponencial 1 obteve bom ajuste aos dados experimentais, com coeficientes de determinação variando de 80,5% a 98,2%.

Palavras-chave: Secagem, conservação, glicose, sacarose, osmose.

*Orientador: Modesto Antonio Chaves, DSc., UESB e Co-orientadora: Renata Cristina Ferreira Bonomo, DSc., UESB

ABSTRACT

SOUZA, T. S. **Osmotic Dehydration of Jaca Fruit (*Artocarpus integrifolia* L.): Application of Mathematical Models.** Itapetinga – BA: UESB, 2007. 65p. (Dissertation – Master Degree in Food Engineering – Food Process Engineering).*

Osmotic dehydration has been suggested as an important unit operation, jointly with a convective drying in processing of perishable fruit into new products with greater shelf life, and also a greater aggregate value. The application of reliable mathematical models make possible to predict the behavior of several phenomena which occur in the process enabling the reduction of operational cost as well. The jaca fruit is very rich in fibers. It is also rich in calcium, phosphorus, iron and vitamins of B complex. This work was conducted at the Laboratory Module of Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Campus de Itapetinga BA with the objective of studying the application of mathematical models in osmotic dehydration of jaca fruit at different concentrations of sucrose: glucose (0: 100, 25:75, 50:50, 60:40, 75:25, 100:0) and also different temperatures (40, 50, 60 and 70 °C) of solutions in a duration of 2880 minutes, it has been standardized the whole content of soluble solids of the solution in 64 °Brix. In all experimental procedures, the osmotic dehydration was conducted in thermostatic bath. The determination of Physical Chemistry characteristics of fruit was made up measuring the levels of soluble solids (SST), pH, titratable acidity (ATT) and humidity. All determinations were performed on samples of fruit *in natura* and after the osmotic dehydration. The exponential decay model 2 was better adjusted to experimental data of water loss, with the determination coefficient ranging from 76,73% to 97,16%, while the variables SST and ATT, the logistic model adjusted better to the experimental data, obtaining variation from 80,5% to 98,2% and from 89,5% to 99,4%. For pH, the exponential decay model 1 got a good adjustment to the experimental data with determination coefficients ranging from 80,5% to 98,2%.

Keywords: Drying, Conservation, Glucose, Sucrose, Osmosis

*Advisor: Modesto Antonio Chaves, DSc., UESB e Co-advisor: Renata Cristina Ferreira Bonomo, DSc., UESB

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fenômenos de transporte de massa durante o processo osmótico (Adaptado de Lenart, 1996)	14
Figura 2 – Frutículos de jaca, acondicionados em copos plásticos	24
Figura 3 – Banho Termostático desenvolvido na UESB.....	26
Figura 4 – Determinação do teor de sólidos solúveis	28
Figura 5 – Determinação do pH	28
Figura 6 – Titulação	20
Figura 7 – Frutículos de jaca acondicionado em estufa, para determinação de umidade	30
Figura 8 – Curvas de desidratação osmótica dos frutículos de jaca – temperatura 40 °C. Análise de Regressão. Exemplo da mudança de declividade nas curvas, distinguindo duas fases (1 e 2) distintas para variável perda de umidade em função do tempo	34
Figura 9 – Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução com diferentes proporções de sacarose:glicose, à temperatura de 40°C	35
Figura 10 – Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução com diferentes proporções de sacarose:glicose, à temperatura de 50°C	36
Figura 11 – Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução com diferentes proporções de sacarose:glicose, à temperatura de 60°C	37
Figura 12 – Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução com diferentes proporções de sacarose:glicose, à temperatura de 70°C	37
Figura 13 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 100% sacarose : 0% glicose (solução A), à diferentes temperaturas	39
Figura 14 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 75% sacarose : 25% glicose (solução B), à diferentes temperaturas	40
Figura 15 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 60% sacarose : 40% glicose (solução C), à diferentes temperaturas	41
Figura 16 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 50% sacarose : 50% glicose (solução D), à diferentes temperaturas	41
Figura 17 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 25% sacarose : 75% glicose (solução E), à diferentes temperaturas	42
Figura 18 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 0% sacarose : 100% glicose (solução F), à diferentes temperaturas	43

LISTA DE FIGURAS (Cont.)

Figura 19 - Variação do teor de sólidos solúveis (°BRIX) de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose: (a) a temperatura de 40°C; (b) temperatura de 50°C; (c) temperatura de 60°C; (d) temperatura de 70°C	45
Figura 20 - Variação do teor de sólidos solúveis (°BRIX) dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em diferentes temperaturas: (a) solução de 100% sacarose (solução A); (b) solução de 75% sacarose (solução B); (c) solução de 60% sacarose (solução C); (d) solução de 50% sacarose (solução D); (e) solução de 25% sacarose (solução E) e (f) solução com 100% glicose ((solução F)	48
Figura 21 - Variação do pH de frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose: (a) temperatura de 40°C; (b) temperatura de 50°C; (c) temperatura de 60°C; (d) temperatura de 70°C	50
Figura 22 - Variação do pH dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em diferentes temperaturas. (a) solução de 100% sacarose (solução A); (b) solução de 75% sacarose (solução B); (c) solução de 60% sacarose (solução C); (d) solução de 50% sacarose (solução D); (e) solução de 25% sacarose (solução E) e (f) solução com 100% glicose (solução F)	52
Figura 23 - Variação da ATT dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose: (a) temperatura de 40°C; (b) temperatura de 50°C; (c) temperatura de 60°C; (d) temperatura de 70°C	56
Figura 24 - Variação da ATT dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em diferentes temperaturas. (a) solução de 100% sacarose (solução A); (b) solução de 75% sacarose (solução B); (c) solução de 60% sacarose (solução C); (d) solução de 50% sacarose (solução D); (e) solução de 25% sacarose (solução E) e (f) solução com 100% glicose (solução F)	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Soluções desidratantes ajustadas para 64 °Brix, combinação de sacarose:glicose avaliados no experimento.	25
Tabela 2 – pH, Acidez titulável, teor de sólidos solúveis e teor de água dos frutículos de jaca <i>in natura</i> , utilizados no experimento.	31
Tabela 3 – Coeficientes obtidos para o modelo Exponencial de Primeira um termo, para estimativa da perda de água, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C. ...	31
Tabela 4 - Coeficientes obtidos para o modelo Exponencial de Segunda dois termos para estimativa da perda de água, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C. ...	32
Tabela 5 - Parâmetros da equação ajustada (Função Logística), para o teor de sólidos solúveis (°BRIX) estimado, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose-glicose, a temperatura de 40, 50, 60 e 70°C.	44
Tabela 6 - Parâmetros do Decaimento Exponencial de um termo para estimar o pH em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose-glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C	49
Tabela 7 - Parâmetros da equação ajustada, por regressão não-linear (Função Logística), para estimativa da Acidez Titulável (ATT), em % da ácido cítrico, em frutículos de jaca, em função do tempo (x em minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose-glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Fluxograma do processo de desidratação osmótica	22
3.2 Matéria Prima	23
3.2.1 Preparação dos frutículos	23
3.3 Preparação das Soluções Osmóticas	23
3.4 Descrição do Banho Termostático Utilizado	25
3.5 Processo de Desidratação Osmótica	27
3.6 Métodos Analíticos	27
3.6.1 Sólidos Solúveis Totais (SST)	27
3.6.2 pH	27
3.6.3 Acidez Total Titulável (ATT)	28
3.6.4 Umidade	29
3.7 Análise dos Resultados	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Características da fruta <i>in natura</i>	31
4.2 Perda de Água	31
4.2.1 Efeito da solução em cada temperatura	35
4.2.2 Efeito da temperatura em cada solução	39
4.3 Ganho de Sólidos	43
4.3.1 Efeito da solução em cada temperatura	44
4.3.2 Efeito da temperatura em cada solução	46
4.4 pH	49
4.4.1 Efeito da solução em cada temperatura	51
4.4.2 Efeito da temperatura em cada solução	52
4.5 Acidez Titulável	54
4.5.1 Efeito da solução em cada temperatura	55
4.5.2 Efeito da temperatura em cada solução	55
5 CONCLUSÕES	59
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

As frutas são altamente perecíveis em virtude do elevado teor de umidade com que são colhidas, geralmente acima de 80% (JAYARAMAN e DAS GUPTA, 1992). Sendo que em alguns países de clima tropical e subtropical, as perdas de frutas podem chegar a aproximadamente 40-50% da produção devido à inadequada refrigeração e armazenamento.

O principal objetivo do processamento de alimentos é convertê-los em produtos mais estáveis que possam ser estocados por longos períodos, tendo como técnicas mais importantes o enlatamento, o congelamento e a desidratação (JAYARAMAN e DAS GUPTA, 1992).

A desidratação é um dos métodos de conservação mais antigos, em que o calor do fogo e a energia solar eram utilizados para a obtenção dos produtos desidratados, com a finalidade de preservar os excedentes das colheitas para serem consumidos nos períodos de escassez (VAN ARSDEL e BROWN, 1973). É definida como a operação unitária que converte um alimento líquido, sólido ou semi-sólido em um produto com baixo teor de umidade. Baseia-se na redução da atividade de água do alimento, com conseqüente inibição do crescimento microbiano, atividade enzimática, oxidação de lipídeos e escurecimento não-enzimático que ocorrem em alimentos (CABRAL *et al*, 1979; UBOLDI EIROA, 1981; JAY, 1994; BARRUFALDI e OLIVEIRA, 1998). Além da preservação, a desidratação reduz o peso e o volume do produto, aumentando a eficiência do transporte e do armazenamento. Também pode fornecer produtos de sabor diferenciado do mesmo “in natura”, podendo ser adicionados em muitos produtos (biscoitos, cereais em barra, misturas secas para bolos, entre outros), como ingredientes naturais, uma vez que, as frutas desidratadas são consideradas nutritivas e com baixo teor de gordura (LABELL, 1990; citado por SARANTÓPOULOS, *et al*, 2001).

Dentre as técnicas de desidratação, uma técnica simples e bastante utilizada é a desidratação osmótica, que ocorre por imersão do produto em soluções de açúcar ou sal. Porém, esse processo geralmente não é capaz de reduzir a atividade de água do alimento a níveis suficientemente baixos que garantam a sua estabilidade, de forma que é usada como um pré-tratamento de vegetais em combinação com outras técnicas de preservação como secagem com ar aquecido, liofilização e secagem a vácuo. Estas técnicas se aplicadas isoladas, oferecem algumas desvantagens. Por exemplo, a secagem convectiva se mal controlada, pode provocar danos e efeitos indesejáveis ao produto em função das temperaturas e taxas de secagem (KARATHANOS *et al.*, 1995).

A comercialização de frutas processadas vem aumentando no mercado brasileiro, em virtude da melhoria da qualidade dos produtos ofertados, do maior número de pessoas morando sozinhas, do aumento de renda e da maior facilidade proporcionada pelos produtos já prontos para o consumo, muitas vezes até importados. Desta forma, sucos prontos para beber, frutas minimamente processadas e outros alimentos industrializados têm recebido a preferência do consumidor (FERRAZ, *et al*, 2002).

Existem poucas opções de frutas desidratadas osmoticamente e, em especial, a falta de estudos em relação ao fruto em questão.

A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*, L.) é uma árvore de regiões quentes e úmidas, de clima tropical úmido que também se desenvolve em regiões de clima subtropical e semi-árido desde que haja a utilização da irrigação artificial (Ceará), cujo fruto é conhecido como jaca. Pela facilidade com que se dissemina, prolifera espontaneamente nas regiões mais quentes do país. Atualmente é cultivada em toda a região Amazônica e toda a costa tropical brasileira, do Pará ao Rio de Janeiro.

A jaca apresenta característica de sazonalidade bem específica marcada pela concentração da oferta no período de dezembro/abril e de escassez entre maio/novembro.

A coloração amarelada, sabor doce e cheiro forte característico, reconhecível a longa distância, são os principais atributos ao seu favor. Os bagos podem ser de consistência um pouco endurecida ou totalmente mole, daí a distinção de duas variedades muito conhecidas e denominadas popularmente de “jaca-mole” e “jaca-dura” (MITRA & MAITY, 2002). É uma fruta rica em fibras, sendo indicada às pessoas com problemas intestinais. É rica também em cálcio, fósforo e ferro e vitaminas do complexo B, principalmente as vitaminas B2 (Riboflavina) e B5 (Niacina) (CRANE, *et al* 2002).

Neste trabalho teve-se como objetivo o estudo da aplicação de modelos matemáticos na desidratação osmótica de frutículos de jaca para diferentes concentrações de soluções de sacarose:glicose e diferentes temperaturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A jaca (*Artocarpus integrifolia*, L.) é uma das maiores de todas as frutas cultivadas, sendo muito popular em países do Sudoeste da Ásia e da África. Foi difundida no Brasil pelos portugueses durante o século XVIII. O fruto chega a pesar até 10kg e atingir um comprimento de 40cm, é um sincarpo de forma ovalada ou arredondada que nasce diretamente no tronco e nos galhos mais grossos da jaqueira. Maduro, a casca tem cor amarelo-acastanhada e aroma peculiar e forte (CAVALCANTE, 1996).

A jaqueira encontra-se difundida de forma endêmica em quase todas as regiões tropicais do mundo. No Brasil, na região sul do estado da Bahia, onde as boas condições edafoclimáticas favorecem a produção de culturas como as do cacau, existe grande quantidade de jaqueiras, já que esta é utilizada para sombreamento do cacauzeiro. O cultivo da jaca (*Artocarpus integrifolia*, L.) nessa região é o maior do Brasil e com essa produção elevada, a jaca não é totalmente consumida pela população local, apresentando excedente (PEREIRA *et al*, 2007).

A parte comestível da jaca são os frutículos encontrados no interior dos sincarpós, em grande número, ultrapassando geralmente a centena. Estes nada mais são do que o desenvolvimento dos ovários das flores, constituindo os “bagos” de cor amarelada, envoltos por uma camada grudenta, sabor doce, cheiro forte e característico, reconhecível a longa distância. Os bagos podem ser de consistência um pouco endurecida ou totalmente mole, daí a distinção de duas variedades muito conhecidas e denominadas popularmente de “jaca-mole” e “jaca-dura” (OLIVEIRA, 2006).

Oliveira (2006) mediu características físico-químicas dentre as quais citamos: Umidade $71 \pm 0,16\%$; Matéria seca $28,50 \pm 0,16\%$; proteína $1,45 \pm 0,001\%$; lipídeos $0,16 \pm 0,02\%$; cinzas $0,0072 \pm 0,001\%$; pH $5,32 \pm 0,01$; acidez total $0,53 \pm 0,015\%$; Açúcares totais $17,40 \pm 1,51$; açúcares redutores $4,49 \pm 0,25$; açúcares não-redutores $11,66 \pm 1,76$ e compostos fenólicos $103,70 \pm 0,43$ mg/100g.

A produção mundial de frutas tropicais vem crescendo em um ritmo considerável e a cada dia novos mercados são conquistados. De acordo com Schottler e Hamatschek (1994) a atração por essas frutas tropicais é devido a sua aparência e o sabor exótico que elas detêm.

Em pico de safra, o alcance de menores preços devido ao excesso de oferta e a concorrência de outras frutas, causam grandes perdas. Portanto, faz-se necessária a industrialização, como alternativa para reduzir as perdas.

Segundo Bennett (1964), o processo de degradação dos frutos, inicia-se ao serem retirados da planta mãe, e o tempo de permanência como organismo vivo, vai depender do gasto de energia

que o fruto depende para permanecer vivo. Por esta razão, alguns autores entre eles Rocha e Spagnol (S/D); Lajolo (1979) e Chitarra e Chitarra (1990), mencionam que a armazenagem dos produtos se inicia durante o período de colheita e que, a partir desse período, os produtos só perdem qualidade. Portanto, após este período, deve-se começar o controle de qualidade do produto, ou submetê-lo a um processamento. Os frutos *in natura* podem ser processados nas formas de polpas, sucos, sucos concentrados, sorvetes, frutas cristalizadas, frutas desidratadas, doces, compotas e geléias.

Uma das principais causas da deterioração de alimentos frescos e conservados é a quantidade de água livre neles presente fato que, para os pesquisadores El-aouar (2001) e Azoubel (2002), deve ser resolvido mediante técnicas de desidratação, para cujo emprego Borges e Menegalli (1994) descrevem a utilização da desidratação osmótica seguida da secagem convectiva, fornecendo um produto atrativo ao consumo e minimizando, desta forma, os danos causados pelo calor à cor, à textura e ao sabor do alimento.

A desidratação osmótica, ou alternativamente denominada impregnação ou saturação, tem sido considerada uma ferramenta tecnológica importante para se desenvolver novos produtos derivados de frutas, com valor agregado (TORREGGIANI e BERTOLO, 2001). Mediante a aplicação desta técnica é obtida uma eficiência na pré-secagem, possibilitando o uso de temperaturas amenas e tempos relativamente curtos, implicando não só em economia de energia, mas, principalmente, conferindo à fruta desidratada, características mais próximas da fruta *in natura*.

A desidratação osmótica é uma técnica que envolve a imersão do produto em soluções aquosas hipertônicas e está diretamente relacionado à remoção de água do material celular de frutas e hortaliças (SERENO *et al*, 2001; RASTOGI *et al*, 1997). Nas células vegetais, a parede celular, que contém numerosos interstícios relativamente grandes, não se apresenta como a principal barreira, sendo permeável à água e à pequenos solutos. O plasmalema (membrana plasmática que envolve todo conteúdo da célula, excetuando a parede celular) pode estriar ou dilatar-se sob o aumento de uma pressão gerada no interior das células e, dependendo do soluto, funciona como membrana seletiva. Este tipo de membrana geralmente apresenta permeabilidade diferencial, isto é, permite que solventes a atravessem mais facilmente, mas restringe a passagem de um grande número de solutos (NOBEL, 1991).

Trabalhos vêm demonstrando que a secagem convectiva é influenciada pela desidratação osmótica prévia. Como observado por Rodrigues (2003), em geral, a impregnação prévia dos tecidos reduz as taxas de secagem em comparação com o tecido fresco. Karathanos *et al*, (1995) concluíram que os coeficientes de difusividade diminuíram significativamente durante a secagem

quando cilindros de maçã foram pré-tratados osmoticamente em soluções de sacarose ou de glicose (15%, 30% e 45%, p/p) por 12 horas. Simal *et al.*, (1997) conduziram trabalho semelhante ao de Kartathanos *et al.* (1995) também com maçãs e perceberam redução nos coeficientes de difusividade em suas amostras em estudo. Além disso, houve maior encolhimento para as maçãs não tratadas osmoticamente. Rahman e Lamb (1991) também chegaram à mesma conclusão secando fatias de abacaxi frescas e pré-tratadas osmoticamente com ar aquecido a 60°C.

Park *et al.*, (2002) obtiveram coeficientes efetivos de difusão de água maiores para cubos de pêra desidratados osmoticamente do que para cubos não tratados, quando utilizaram velocidade do ar de secagem igual a 2m/s. A diferença entre os coeficientes aumentou com o acréscimo da temperatura do ar de secagem (40, 60 e 80°C). Segundo estes autores, a rápida perda de água das amostras não tratadas provavelmente causou formação de áreas superficiais endurecidas, o que reduziu a eficiência da secagem. Isso não foi observado quando a velocidade do ar foi igual a 1m/s, devido à menor taxa de perda de água nessa condição. O pré-tratamento reduziu esse efeito, através do menor teor inicial de umidade. Resultados semelhantes também foram obtidos por Shigematsu (2004) em secagem de carambolas pré-tratadas em soluções de sacarose a 50%, p/p, quando a secagem foi conduzida a 70°C.

Em países como o Brasil, que além da grande variedade de frutas, possuem grande disponibilidade de açúcar de cana, o processo de desidratação osmótica torna-se, além das vantagens citadas acima, uma alternativa promissora (FALCONE e SUAZO, 1988).

A complexa estrutura da parede e das membranas celulares dos vegetais, que são parcialmente seletivas, propicia três tipos de transferência de massa com fluxo contra-corrente durante a desidratação osmótica: fluxo de água do sólido para solução, transferência de soluto da solução para o sólido e fluxo natural de solutos do sólido para a solução (RAOULT-WACK, 1994). O resultado desta transferência de massa complexa é uma redução do conteúdo de umidade com um incremento simultâneo de sólidos, além de uma modificação na constituição química do alimento parcialmente desidratado (Figura 1) (LENART, 1996).

A perda de água durante a desidratação osmótica divide-se em duas etapas, no período inicial (aproximadamente 2 horas) ocorre alta taxa de remoção de água e em aproximadamente 30 minutos elevado ganho de sólidos, devido à maior diferença entre a pressão osmótica da solução e do fluido celular do material a ser desidratado, bem como da pequena resistência à transferência de massa neste estágio do processo (RAOULT-WACK, 1994; LENART e PIOTROWSKI, 2001). Numa segunda etapa, de 2 a 6 horas ocorre um decréscimo da taxa de remoção de água. Em solução com concentração de 50 a 75%, a remoção de água é geralmente da ordem de 40 a 70% (p/p) e a

incorporação de solutos de 5 a 25% (p/p) (TORREGGIANI, 1993; ANTONIO, 2002; ANGELINI, 2002).

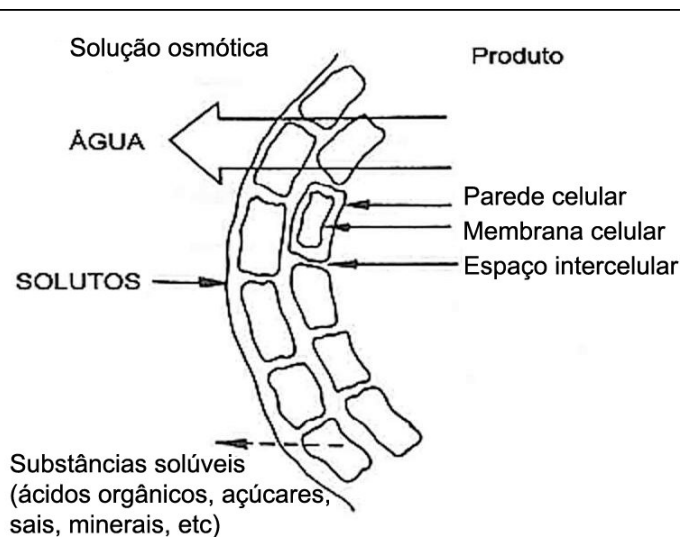


Figura 1 – Fenômenos de transporte de massa durante o processo osmótico (Adaptado de Lenart, 1996)

Giangiaco *et al*, (1987) relatam que a perda de água em frutas ocorre principalmente durante as duas primeiras horas, enquanto Kowalska e Lenart (2001) mostraram que em maçã, abóbora e cenoura, as maiores taxas de perda de água e de ganho de sólidos ocorreram durante os primeiros 30 min do processo.

A taxa de remoção de água durante a desidratação osmótica depende de diversos fatores, tais como concentração e temperatura da solução, tempo de contato, grau de agitação da solução, forma e tamanho do sólido, grau de maturação, razão solução/sólido e nível de vácuo, aplicando-se (RASTOGI *et al*, 1997). Os efeitos da concentração de soluto, da temperatura e do tempo de contato têm sido estudados em um grande número de produtos, como por exemplo, em banana (MAURO e MENEGALLI, 1995; RASTOGI *et al*, 1997), pêssego (ASKAR *et al*, 1996), abacaxi (BERISTAIN *et al*, 1990), maçã (HAWKES e FLINK, 1978; QUINTERO-RAMOS *et al*, 1993) e cenoura (QI *et al*, 1998).

A perda de água e o ganho de sólidos são principalmente controlados pelas características da matéria-prima. A grande variabilidade observada entre frutas de diferentes espécies está relacionada, especialmente, ao teor inicial de sólidos solúveis e insolúveis, aos espaços intercelulares, à presença de gás, à proporção entre as diferentes frações pécticas (pectina solúvel

em água e protopectina), aos níveis de gelificação da pectina (TORREGIANI, 1993), à capacidade de compactação dos tecidos e à atividade enzimática da fruta (GIANGIACOMO et al, 1987).

Em trabalho onde avaliaram a transferência de massa durante o pré-tratamento osmótico de maçã, abóbora e cenoura, utilizando solução de sacarose a 61,5% e temperatura de 30°C, Kowalska e Lenart (2001) atribuíram à variação observada entre as taxas de desidratação de cada produto ao tipo de planta, mais especificamente às diferenças entre os tipos de tecidos de cada uma. Nas condições empregadas no trabalho, a abóbora se destacou como o material mais adequado à desidratação osmótica, levando-se em conta a maior perda de água para o xarope e o menor ganho de sólidos solúveis, enquanto a maçã teve um comportamento inverso, apresentando o pior desempenho dentre os três.

De acordo com Torreggiani (1993), fenômenos que modificam a permeabilidade dos tecidos da planta, como pré-tratamentos com substâncias químicas, como sulfitos, por exemplo, branqueamento ou congelamento, favorecem o ganho de sólidos em detrimento da perda de água.

A temperatura da solução osmótica influencia decisivamente a taxa de desidratação e as propriedades do produto final. Valores entre 20 e 50°C são considerados ótimos para o processo de transferência de massa e têm sido os mais frequentemente citados nos trabalhos sobre este tema. O emprego de valores acima desta faixa causa perda de componentes nutricionais, mudanças de cor e deterioração de membranas celulares (BERISTAIN *et al*, 1990). Segundo Torreggiani (1993) a velocidade de transferência de massa aumenta com o aumento da temperatura, porém, acima de 60°C ocorrem modificações nas características dos tecidos, favorecendo o fenômeno de impregnação e, conseqüentemente, o ganho de sólidos.

Park *et al*, (2002), ao estudarem a cinética da desidratação de pêra D'anjou em temperaturas de 40, 50 e 60°C e concentrações de soluto de 40, 55 e 70°Brix, concluíram que a perda de água e o ganho de sólidos aumentaram com o aumento da temperatura e da concentração da solução osmótica. Resultado similar foi obtido por Silveira *et al*, (1996) em estudo com abacaxi desidratado osmoticamente em temperaturas entre 30 e 60°C e concentrações da solução entre 50 e 75°Brix. Alguns autores relatam, entretanto, ter observado uma aceleração na perda de água, sem modificação no ganho de açúcares pelo alimento, quando a temperatura do processo é aumentada (PONTING, 1966; HAWKES e FLINK, 1978). O fenômeno é atribuído, essencialmente, às diferenças difusionais entre água e açúcar, assim como às diferenças nas massas molares dos diferentes solutos (TORREGIANI, 1993).

Lazarides *et al*, (1997) cita os trabalhos de Vial *et al*, (1991) e Heng *et al*, (1990), que avaliaram o efeito da temperatura sobre o processamento de kiwi e mamão, respectivamente. Vial *et al*, (1991) verificaram que temperatura igual ou superior a 50°C levou a modificações indesejáveis

na cor e nos teores de ácido ascórbico e clorofila da fruta, enquanto o emprego de temperaturas iguais ou inferiores a 40°C resultou em teores de ácido ascórbico e pigmentos satisfatórios no produto final. Heng *et al.*, (1990) mostraram que o processamento dos frutos em xarope, com temperatura acima de 60°C, induziu perdas significativas de ácido ascórbico e descoloração do produto.

Uma das principais características dos produtos sujeitos à desidratação osmótica é a formação de uma camada superficial do soluto concentrado, com espessura de 2 a 3mm (BOLIN *et al.*, 1983; RAOULT-WACK, 1994), enquanto mudanças no teor de água são observadas a profundidades maiores que 5mm (SALVATORI *et al.*, 1999, apud LEWICKI e LUKASZUK, 2000). Segundo Vial *et al.*, (1990) citado por Raoult-Wack (1994), a formação de tal camada exerce um efeito importante no controle da transferência de massa durante o processo, uma vez que favorece a perda de água, limita a impregnação de soluto e reduz a perda de solutos solúveis em água, como ácido ascórbico e frutose. Além disso, de acordo com Raoult-Wack (1994), a presença da camada concentrada pode influenciar o comportamento do produto durante o processo complementar de secagem ou durante o armazenamento.

A escolha do soluto é uma questão fundamental por estar relacionada com as alterações nas propriedades sensoriais e no valor nutritivo do produto final, além do custo de processo (LENART, 1996, QI *et al.*, 1998).

Características do agente osmótico usado, como o seu peso molecular e seu comportamento iônico, afetam fortemente a desidratação, tanto na quantidade de água removida quanto no ganho de sólidos (ERTEKIN e CAKALOZ, 1996).

O tipo de açúcar utilizado no preparo do xarope afeta expressivamente a cinética de remoção de água, o ganho de sólidos e o equilíbrio do teor de água. Quanto maior a massa molecular do soluto empregado, maior a perda de água para a solução e menor o ganho de sólidos pelo alimento, favorecendo, assim, a perda de massa e o processo de desidratação (BOLIN *et al.*, 1983). A impregnação do alimento com o soluto é, de forma contrária, favorecida com o uso de açúcares com menor massa molecular, como glicose, frutose e sorbitol, em função da maior velocidade de penetração das moléculas no produto (TORREGGIANI, 1993; RAOULT- WACK, 1994).

Com relação à concentração da solução, a transferência de massa é favorecida pelo uso de xaropes altamente concentrados, e até certo ponto, pela redução do tamanho das frações da fruta a ser desidratada (PONTING *et al.*, 1966). O ganho de sólidos é, no entanto, altamente favorecido pela diminuição acentuada do tamanho dos pedaços (TORREGGIANI, 1993). O aumento da concentração da solução favorece mais a perda de água que o ganho de sólidos (PONTING *et al.*,

1966). Giraldo *et al*, (2003) demonstraram que o tratamento de cilindros de manga com solução de sacarose a 45°Brix e 30°C levou a mais alta relação ganho de sólidos: perda de água, dentre as demais concentrações testadas no estudo, ou seja, 35, 55 e 65°Brix. Khoyi e Hesari (2006) estudaram a cinética da desidratação osmótica de damascos em solução de sacarose a 50%, 60% e 70% e concluíram que a perda de água e o ganho de sólidos aumentam com o aumento da concentração da solução e da temperatura do processo.

Sacarose e cloreto de sódio têm sido os agentes osmóticos mais utilizados nos estudos sobre desidratação osmótica, mas qualquer soluto com alta solubilidade, como glicose, ou solvente miscível em água, como etanol, pode ser destinado ao preparo da solução de imersão. Dentre os edulcorantes, além de sacarose, destacam-se como substâncias com grande potencial para o processo, a glicose e os xaropes de amido (mistura de glicose, maltose e maltoligossacarídeos) (LAZARIDES, 1994; RAOULT-WACK, 1994).

A sacarose é formada por uma unidade α -D-glicopiranosídeo e outra β -D-frutofuranosídeo, unidas pelos extremos redutores, constituindo, portanto, um açúcar não redutor. Como a maioria dos carboidratos de baixa massa molecular, caracteriza-se pela alta capacidade hidrofílica e alta solubilidade, podendo formar soluções altamente concentradas que não necessitam aditivos antimicrobianos para manter-se em boas condições microbiológicas. Estas características conferem-lhe, ainda, propriedades como umectante e conservante (BE MILLER e WHISTLER, 2000).

Por ser um dissacarídeo, é esperado que a migração das moléculas de sacarose para o interior do alimento ocorra mais lentamente que a de moléculas de frutose, um monossacarídeo. Ao realizar estudo histológico de fatias de maçã submetidas à Desidratação por Imersão-Impregnação (DII) com xarope de frutose e de sacarose, Bolin *et al*, (1983) mostraram que nos primeiros 30 min de processo a penetração de ambas as moléculas deu-se de forma muito similar, perfazendo uma distância de 1 a 2mm da superfície da amostra. Da mesma forma, considerando as três primeiras horas de imersão, as taxas de migração foram essencialmente às mesmas para ambos os açúcares. Com o decorrer do tempo, no entanto, a frutose passou a ser mais absorvida que a sacarose e, depois de 5 h, as fatias imersas no xarope de frutose tinham absorvido 70% a mais de sólidos que aquelas em solução de sacarose.

A sacarose é tida como um ótimo agente osmótico, especialmente quando a desidratação osmótica é empregada como etapa preliminar à secagem convectiva, pois previne o escurecimento enzimático e a perda de aromas. Esta prevenção é devido à presença de uma camada do dissacarídeo, formada na superfície do produto desidratado, que constitui um obstáculo ao contato com o oxigênio, minimizando ou impedindo o escurecimento enzimático, além da influência positiva sobre a manutenção de substâncias aromatizantes do alimento (LENART, 1996, QI *et al*,

1998). A desidratção osmótica em soluções de sacarose também pode prevenir perda de nutrientes, como já constatado em abóboras, onde o pré-tratamento osmótico em solução de sacarose (60%, p/p) melhorou a retenção de carotenóides durante a secagem convectiva (MAURO *et al.*, 2005).

As reações enzimáticas e de escurecimento não-enzimático são os maiores fatores de deterioração em frutas desidratadas, ocorrendo durante o processo de secagem e armazenamento. Para reduzir tais reações as frutas devem ser tratadas antes da desidratção, minimizando perdas de cor, aroma e sabor característicos do produto. O pré-tratamento de frutas pode ser realizado com o uso de agentes químicos ou pelo branqueamento (aquecimento com água ou vapor por alguns minutos). Mauro e Menegalli (1995) observaram que o soluto penetra em maior quantidade na fruta que sofre branqueamento a vapor previamente à desidratção osmótica do que naquela que não sofre o tratamento, o que certamente se deve ao aumento da permeabilidade das membranas celulares.

A adição de compostos químicos como ácido ascórbico, benzoato, sorbatos, metabissulfito e pirofosfatos são eficientes para reduzir a deterioração das frutas, mantendo a qualidade. Esses compostos atuam como antioxidantes, aumentando a vida de prateleira de frutas através da redução de reações de escurecimento, descoloração de pigmentos, perdas sensoriais e nutricionais. Entretanto, a eficiência destes agentes depende de uma série de fatores ambientais como: pH, luz, atividade de água (A_w), temperatura e presença de metais pesados (LINDLEY, 1998).

Em geral, o objetivo da desidratção osmótica é maximizar a perda de água do alimento e, ao mesmo tempo, minimizar o ganho de soluto por parte do mesmo (QI *et al.*, 1998). Contudo, a desidratção osmótica geralmente não é capaz de abaixar a atividade de água do alimento a níveis que dispensem técnicas adicionais para a sua conservação. Portanto, têm sido conduzidos estudos sobre a combinação da desidratção osmótica com posterior secagem convencional, com objetivo de obter produtos de melhor qualidade (KARATHANOS *et al.*, 1995), o que tem levado à produção de alimentos de boa qualidade, de fácil conservação e praticidade. Estes podem ser consumidos diretamente como produtos prontos para o consumo ou como ingredientes para elaboração de produtos de confeitaria, iogurtes, sorvetes, entre outros (LOPÉZ-MALO, 1994).

A eficiência do processo de desidratção osmótica pode ser quantificada pelos valores de perda de peso e incorporação de sólidos (ANGELINI, 2002; SANTOS, 2003)

O cálculo da perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e perda percentual de peso (PP), com base na massa inicial do material, no processo de desidratção osmótica podem ser obtidos através das equações 01, 02 e 03 (SOUZA NETO *et al.*, 2005 e LIMA *et al.*, 2004):

$$PA(\%) = \frac{(P_0 \cdot U_0) - (P_t \cdot U_t)}{P_0} \quad (01)$$

$$GS(\%) = \frac{(P_t \cdot B_t) - (P_0 \cdot B_0)}{P_0} \quad (02)$$

$$PP(\%) = \frac{(P_0 \cdot P_t)}{P_0} \times 100 \quad (03)$$

Sendo:

PA = Perda percentual de água (%);

GS = Ganho percentual de sólidos (%);

PP = Perda percentual de massa (%);

P₀ = Massa do fruto no tempo t=0, em gramas;

P_t = Massa do fruto tratado no tempo t, em gramas;

U₀ = Umidade do fruto no tempo t=0 (% base úmida);

U_t = Umidade do fruto tratado no tempo t (% base úmida);

B₀ = Sólidos solúveis totais do fruto no tempo t=0 (°Brix);

B_t = Sólidos solúveis totais do fruto tratado no tempo t (°Brix).

Para expressar a desidratação osmótica em alimentos, muitos autores, entre eles, Mauro e Menegalli (1995), Rastogi *et al.* (1997), Sousa (1999), Araujo (2000) e Kross (2002), têm utilizado a equação de Fick (Equação 04) para expressar a perda de água dos alimentos. No entanto, os autores, em todos os trabalhos, têm relatado as limitações dessa equação, quer seja pela necessidade de um grande número de termos, quer seja por não representar os dados experimentais em trechos das curvas.

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right] \quad (04)$$

em que:

X = conteúdo de água em base seca;

X_e = conteúdo de água de equilíbrio em base seca;

X₀ = conteúdo de água inicial em base seca;

$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ = razão de umidade, adimensional;

D_{ef} = difusividade efetiva, (m²/s);

t = tempo;

L = dimensão característica.

Alguns desses autores, dentre os quais citamos Mauro e Menegalli (1995), Rastogi *et al* (1997), Sousa (1999), Araujo (2000) e Kross (2002), têm sugerido a utilização do Modelo de Page (Equação 5) que é uma simplificação do modelo de Fick com algumas considerações, sendo considerado um modelo semi-teórico. No modelo de Page, considera-se a equação de Fick, tomando-se, apenas, o primeiro termos da série. Neste caso a Equação 04 ficaria:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left[\frac{-\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right] \quad (05)$$

Na Equação 05, considera-se que o termo $8/\pi^2$ estaria próximo de 1, o que satisfaria a condição inicial, ou seja para $t = 0$, $RX = 1$. Outra consideração feita para chegar ao Modelo de Page é que $\pi^2 D_{ef} / 4L^2$ é igual a K que é denominada de constante de secagem. Desta forma a Equação 05, se tornaria (SILVA, *et al.*, 2003):

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \exp[-Kt] \quad (06)$$

A última consideração feita para o Modelo de Page é a introdução de um coeficiente de correção no tempo t de ordem potencial (N). Desta forma o Modelo de Page para secagem de produtos agrícolas seria (SILVA, *et al.*, 2003):

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \exp[-Kt^N] \quad (07)$$

Outra equação de caráter empírico, também, tem sido sugerida, como é caso do Modelo de Thompson (Equação 08), no entanto, esse modelo tem sido utilizado mais para aplicações em secagem de grãos do que para desidratação de frutas

$$t = A(\ln RX) + B(\ln RX)^2 \quad (08)$$

em que, A e B são coeficiente que dependem do produto.

Rastogi *et al* (1997) estudaram, a secagem de banana por desidratação osmótica. Os autores assumiram que a fruta tinha uma configuração cilíndrica e o processo de desidratação obedece a uma difusão Fickiana. No trabalho, foi determinado o coeficiente de difusão efetivo para uma variação de temperatura de 40°C a 70°C. Um estudo semelhante foi conduzido por Mauro e Menegalli (1995), considerando as fatias de banana como um cilindro bidimensional. Foi verificado o efeito do tempo de exposição, concentração da solução e temperatura na concentração osmótica das fatias de banana.

Silva *et al* (2003), estudaram a aplicação de modelos matemáticos sobre a desidratação osmótica de banana da terra e concluíram que o modelo matemático proposto por Page é superior ao modelo proposto por Thompson para expressar o comportamento da desidratação osmótica desta fruta.

Azuara *et al* (1992) encontraram uma equação capaz de prever a cinética de desidratação osmótica, bem como a determinação do ponto de equilíbrio, utilizando apenas um curto período de processo. Em se partindo de um balanço de massa no material que sofre desidratação, chegaram a seguinte equação para a perda de água do produto (PA):

$$PA = \frac{S_1 t (PA_\infty)}{1 + S_1 t} \quad (10)$$

Os valores de S_1 (constante relacionada à perda de água) e PA_∞ (situação de equilíbrio) podem ser encontrados a partir da linearização da Equação 10:

$$\frac{t}{PA} = \frac{1}{S_1 (PA_\infty)} + \frac{t}{PA_\infty} \quad (11)$$

O modelo pode ser usado para caracterizar a desidratação osmótica de diferentes tipos de alimentos, sem restrições de geometria, segundo El-Aquar *et al* (2003).

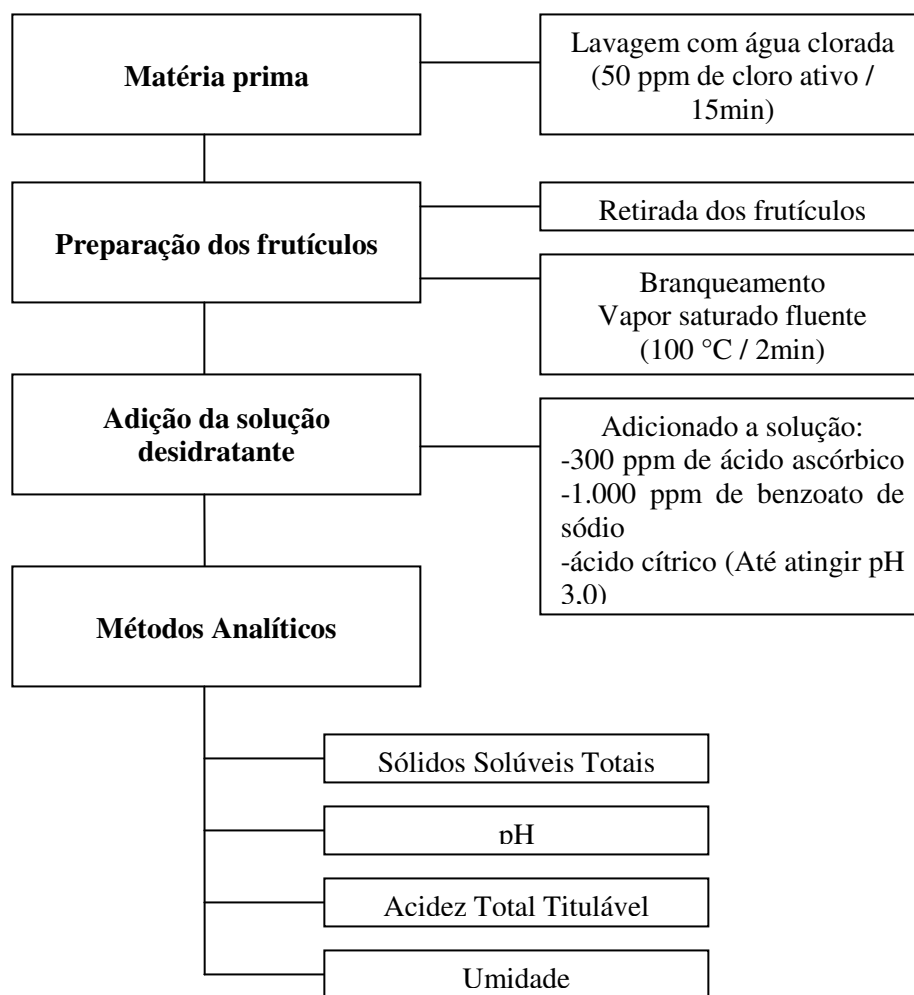
Apesar de haver diversas pesquisas sendo conduzidas, a complexidade dos processos osmoconvectivos não está bem esclarecida e exige maior sofisticação na modelagem matemática. Existe, portanto, muito que ser estudado nessa área, uma vez que tecidos vegetais são materiais de estrutura

complexa, dificultando o estabelecimento de modelos para projeto e controle de processos, sendo necessárias, investigações que possam contribuir para melhor elucidação dos fenômenos envolvidos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB, campus de Itapetinga.

3.1 Fluxograma do processo de desidratação osmótica



3.2 Matéria Prima

As jacas (*Artocarpus integrifolia* L.) utilizadas no estágio maduro, variedade jaca dura, com aproximadamente 5 kg, foram adquiridas no mercado local e armazenadas em temperatura ambiente. Os agentes osmóticos foram sacarose (açúcar refinado comercial) e glicose de milho (glicose comercial).

3.2.1 Preparação dos Frutículos

As jacas foram lavadas, por imersão, com água clorada (50 ppm de cloro ativo/15min) e segmentadas longitudinalmente em quatro peças, para facilitar a manipulação, com uso de faca de aço inoxidável, desprezando o sincarpo (eixo central). As peças foram limpas manualmente com luvas plásticas, onde os manipuladores passavam as mãos com as luvas em cada peça para remoção do visgo. A seguir as peças foram desgomadas (retirada dos frutículos) também com facas de aço inoxidável. Os frutículos foram cortados no sentido longitudinal para retirada dos caroços e colocados em recipiente plástico com tampa de onde foram retiradas, aleatoriamente, as amostras.

Os frutículos foram submetidos a branqueamento, para evitar o escurecimento enzimático, sendo utilizado vapor saturado fluente a cerca de 100°C por 2 min. Para produção do vapor utilizou-se um fogão doméstico, e panela com água fervente, sendo os frutículos colocados sobre uma malha fina de aço inox e está colocada sobre o vapor.

Em seguida as amostras foram lavadas com água corrente por 1 min e secas com papel toalha, removendo o excesso de água.

Cinco frutículos foram usados em cada amostra. Na Figura 2 estão apresentados os frutículos de Jaca, acondicionados em copos plásticos, antes de serem pesados e adicionados às soluções osmóticas.



Figura 2 – Frutículos de jaca, acondicionados em copos plásticos.

3.3 Preparação das Soluções Osmóticas

Foram elaboradas as soluções desidratantes com diferentes proporções de sacarose:glicose, utilizando sacarose comercial (marca União) e glicose de milho comercial (marca CARGIL 40/82). As soluções utilizadas na desidratação osmótica foram preparadas com água destilada na temperatura ambiente e agitação manual e tiveram seu teor de sólidos solúveis ajustados para 64° Brix, com o uso de refratômetro portátil (marca ATAGO), obtendo uma boa homogeneização.

Às soluções desidratantes foram adicionados 300 ppm de ácido ascórbico, 1.000 ppm de benzoato de sódio como conservante e ácido cítrico para o ajuste do pH do xarope até 3, com o uso de pHmetro digital de Marca COMBO, com a finalidade de garantir um menor desenvolvimento microbiano.

Os frutículos de jaca foram desidratados em soluções combinadas de sacarose:glicose. Na Tabela 1 estão discriminadas as soluções desidratantes, com as devidas proporções estudadas.

As soluções foram preparadas em volume de 20 litros e colocadas em baldes plásticos cobertos com filme plástico de polietileno, de onde eram transferidas para frascos de vidro de 500ml com tampa rosqueável. As soluções foram armazenadas a 7 °C, durante o período experimental.

Tabela 1 Soluções desidratantes ajustadas para 64 °Brix, combinação de sacarose:glucose avaliados no experimento.

SOLUÇÃO	AGENTES OSMÓTICOS	
	GLICOSE (%)	SACAROSE (%)
A	0	100
B	25	75
C	40	60
D	50	50
E	75	25
F	100	0

3.4 Descrição do Banho Termostático Utilizado

A desidratação osmótica foi realizada em um banho termostático, com agitação da água do banho, desenvolvido especialmente para este experimento (Figura 3).

O banho consta de um tanque de zinco com volume de 100 litros de água, coberto com madeira revestida de filme plástico. No fundo do tanque foi instalada uma resistência elétrica, blindada, de 3500W.

Suportes metálicos foram colocados no fundo do tanque, sobre os quais foram colocados os frascos de 500ml contendo as soluções e as amostras de frutas para a desidratação. O tanque tem capacidade de armazenar até 40 destes frascos.

Na tampa do tanque foi instalado um motor de 12 volts (Figura 3b), com rotação de 70rpm, adquirido em autopeças e utilizado em levantamento automático de vidros de automóveis. Este motor foi acoplado a um eixo, constituído de um cano de ferro. Na extremidade do eixo se colocou uma cantoneira de alumínio (3/4'') de 40cm de comprimento. O acionamento do motor movimentava esta cantoneira que, após a colocação da tampa, ficava no fundo do tanque, promovendo a agitação da água do banho termostático.

O motor é acionado por fonte externa, ligada à rede de 220 volts. Para controle da temperatura do banho, utilizou-se um controlador digital (TIC 107 – marca FULLGAUGE) acoplado a uma chave contactora de 18 Amperes (marca SIEMENS).

O acionamento do motor também foi acoplado ao controlador de temperatura de forma que sempre que a água era aquecida o agitador também era ligado.

Um termômetro de cinco canais (MARCA FULLGAUGE) permitiu monitorar a temperatura da água do banho e, simultaneamente, das soluções osmóticas.

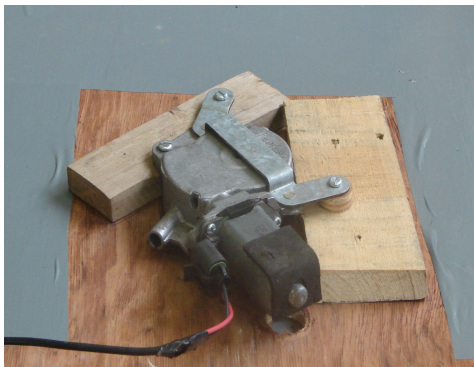
Observou-se que o banho permitiu uma temperatura homogênea, dentro da precisão de 0,1°C.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 3 – Banho Termostático desenvolvido na UESB.

(a) Banho; b) Banho aberto; c) Agitador acoplado a tampa do banho; d) Controlador de temperatura do banho; e) Termômetro de cinco canais; f) Chave contatora.

3.5 Processo de Desidratação Osmótica

Os frutículos de jaca foram pesados (cerca de 25g) e imersos em frascos de vidros de 500 ml com tampa rosqueável contendo 200 ml de solução desidratante mantida nas temperaturas 40, 50, 60 e 70°C, utilizando-se, para tal, o banho termostático com agitação descrita no item 3.3.

Para o estudo da cinética de secagem, as amostras foram retiradas do banho termostático em diferentes tempos de processo (15, 45, 90, 150, 240, 420, 720, 1440, 2160 e 2880 min).

Após retirados da solução, os frutos foram enxaguados com água destilada, para resfriamento e remoção do filme de açúcar formado na superfície e, em seguida, envolvidos em papel absorvente para retirada do excesso de água, antes da pesagem do produto.

Amostras do frutículo, no instante inicial e nos diferentes tempos de processo, tiveram determinadas a umidade, pH, acidez titulável, e teor de sólidos solúveis (°Brix), sendo cada determinação feita em triplicata.

3.6 Métodos Analíticos

3.6.1 Sólidos Solúveis Totais (SST)

O teor de SST, expresso em °Brix foi determinado pelo método proposto pela AOAC (1990) nas frutas *in natura* e das frutas desidratadas nos tempos determinados. O aparelho foi devidamente calibrado com água destilada. Uma alíquota da amostra diluída e triturada foi colocada sobre o prisma de um refratômetro portátil ATAGO com escala 0°Brix a 32°Brix, procedendo-se à leitura direta do índice refratométrico indicado pelo aparelho (Figura 4).

3.6.2 pH

Cerca de 3g das amostras de frutas *in natura* e desidratadas foram trituradas e diluídas em 10ml de água destilada e o pH da suspensão foi determinado diretamente em pHmetro digital portátil marca COMBO (Figura 5).



Figura 4 – Determinação do teor de sólidos solúveis.



Figura 5 - Determinação do pH.

3.6.3 Acidez Total Titulável (ATT)

A ATT foi determinada de acordo com método da AOAC (1990), 5g de amostra foram triturados em 25ml de água destilada e submetido à titulação (Figura 6) com solução de NaOH 0,1N

(padronizada com bifitalato de potássio), utilizando fenolftaleína 1% como indicador. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Ácido cítrico (\%)} = \frac{V \times f \times N \times PE \times 100}{m} \quad (12)$$

Em que:

V = volume de NaOH gasto na titulação, ml

F = fator de correção

N = Normalidade do NaOH

PE = peso equivalente-grama do ácido cítrico

m = massa da amostra, g



Figura 6 – Titulação.

3.6.4 Umidade

A determinação de umidade das amostras (Figura 7) dos frutículos de jaca *in natura* e desidratados foi realizada pelo método de secagem em estufa (marca FANEM) a 105 °C por 24 horas, conforme recomendado pela norma nº 4.5.1 do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985).



Figura 7 – Frutículos de jaca acondicionados em estufa para determinação de umidade.

3.7 Análise dos Resultados

Os dados foram submetidos à análise de regressão não-linear (Decaimento exponencial de 1 e 2 termos; Função Logística; Hiperbólico e Sigmoidal), para verificar a existência de uma relação funcional entre as variáveis dependentes: perda de água, ganho de sólidos solúveis, pH e acidez com as variáveis independentes: temperatura, tempo e diferentes níveis de sacarose:glicose. Portanto, foram obtidas equações que expliquem o comportamento da variação das variáveis dependentes pela variação dos níveis das variáveis independentes.

Foram utilizados os “softwares” SPSS (vrs.13,0), NCSSPAS (vrs.13,0) e MICROCAL-ORINGIN (vrs. 6,0).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da fruta *in natura*

A caracterização dos frutículos de jaca *in natura*, encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – pH, Acidez titulável, teor de sólidos solúveis e teor de água dos frutículos de jaca *in natura*, utilizados no experimento.

Variável	Média	Desvio Padrão
pH	5,8	0,28
ATT (% ácido cítrico)	1,6	0,68
SST (°Brix)	30,5	4,24
Teor de água (%)	69,5	10,39

Observou-se que estes valores estão próximos dos obtidos por Oliveira (2006), confirmando o estágio de maturação dos frutículos.

4.2 Perda de Água

Nas Tabelas 3 e 4, encontram-se os coeficientes das equações de Regressão não-linear, obtidos pelo ajuste do modelo Exponencial de um termo e de dois termos, respectivamente, para cada temperatura e solução.

Tabela 3 - Coeficientes obtidos para o modelo Exponencial de um termo, para estimativa da perda de água, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo Exponencial de um termo			
		a	t	χ^2	R^2
40	A	0,84735	364,21552	0,00567	0,95279
40	B	0,88857	335,53797	0,00589	0,95738
40	C	0,96813	231,04255	0,00531	0,96347
40	D	0,85412	443,02898	0,00841	0,92677
40	E	0,87991	353,13735	0,01167	0,89845
40	F	0,89569	399,81488	0,00379	0,97158

Tabela 3 (Cont.) - Coeficientes obtidos para o modelo Exponencial de um termo, para estimativa da perda de água, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo Exponencial de um termo			
		$y = ae^{-x/t}$			
		a	t	χ^2	R^2
50	A	0,89928	170,08223	0,01628	0,86008
50	B	0,79103	535,77892	0,01369	0,86655
50	C	0,80799	995,92918	0,01093	0,89177
50	D	0,89334	205,98728	0,00729	0,94191
50	E	0,85426	367,20195	0,01014	0,91464
50	F	0,80038	600,52844	0,02448	0,76731
60	A	0,79086	705,79043	0,01433	0,85705
60	B	0,93209	423,67256	0,00951	0,92878
60	C	0,91549	497,26476	0,01020	0,92557
60	D	0,82594	518,05512	0,00630	0,94832
60	E	0,90263	1225,84517	0,01316	0,88784
60	F	0,81941	729,63315	0,00804	0,92684
70	A	0,81003	447,67527	0,01965	0,79971
70	B	0,83068	266,83647	0,01190	0,89629
70	C	0,76223	203,56735	0,01765	0,82097
70	D	0,84539	586,74753	0,00554	0,9529
70	E	0,85646	153,78983	0,01414	0,86769
70	F	0,83836	620,26362	0,01342	0,86905

Soluções: A = 100% sacarose; B = 75% sacarose; C = 60% sacarose; D = 50% sacarose; E = 25% sacarose e F = 0% sacarose.

Tabela 4 - Coeficientes obtidos para o modelo Exponencial de dois termos, para estimativa da perda de água, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo Exponencial de dois termos					
		$y = A_1e^{-x/t_1} + A_2e^{-x/t_2}$					
		A_1	t_1	A_2	t_2	χ^2	R^2
40	A	0,32077	22,80845	0,66706	577,44305	0,00093	0,99399
40	B	0,36606	48,97810	0,62655	589,10315	0,00193	0,98916
40	C	0,73178	120,27990	0,28221	1239,02220	0,00128	0,99316
40	D	0,44273	80,29953	0,51483	1105,13999	0,00257	0,98262
40	E	0,56719	87,41803	0,41673	1478,85989	0,00251	0,98303
40	F	0,43950	132,13787	0,50632	840,80372	0,00198	0,98844
50	A	0,67683	50,99243	0,33287	1306,24409	0,00306	0,97956
50	B	0,46032	36,20985	0,53781	1199,80358	0,00081	0,99386
50	C	0,34358	42,09837	0,64823	1449,12410	0,00268	0,97934
50	D	0,55205	48,08834	0,44980	660,06902	0,00028	0,99825
50	E	0,48672	62,01552	0,49425	1020,28395	0,00170	0,98888

Tabela 4 (Cont.) - Coeficientes obtidos para o modelo Exponencial de dois termos, para estimativa da perda de água, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo					
		$y = A_1 e^{-x/t_1} + A_2 e^{-x/t_2}$					
		A_1	t_1	A_2	t_2	χ^2	R^2
50	F	0,56731	64,04332	0,44801	1969,26978	0,00445	0,96712
60	A	0,44687	44,19965	0,55243	1431,06312	0,00119	0,99080
60	B	0,57002	128,43135	0,44251	1418,93753	0,00270	0,98426
60	C	0,46490	94,5992	0,55672	1151,35090	0,00364	0,97935
60	D	0,25732	5,25168	0,74268	636,75300	0,00175	0,98881
60	E	0,31806	84,38918	0,72046	1727,20188	0,00807	0,94647
60	F	0,31738	22,52465	0,68641	1023,01413	0,00129	0,99089
70	A	0,55100	71,54026	0,41525	1944,33187	0,00406	0,96784
70	B	0,51722	32,08319	0,48654	771,80998	0,00078	0,99470
70	C	0,58953	17,80569	0,41127	768,97413	0,00008	0,99934
70	D	0,25823	16,97207	0,73452	782,55865	0,00165	0,98908
70	E	0,64505	32,25695	0,35998	938,11239	0,00025	0,99821
70	F	0,51044	146,69637	0,42279	2084,85908	0,00544	0,95869

Soluções: A = 100% sacarose; B = 75% sacarose; C = 60% sacarose; D = 50% sacarose; E = 25% sacarose e F = 0% sacarose.

Ao comparar os coeficientes de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2) da Tabela 3 com os da Tabela 4, observa-se que o Modelo Exponencial de dois termos se ajustou melhor aos dados experimentais, pois os valores de R^2 variaram entre 94,65% a 99,93% e χ^2 entre 0,00008 a 0,00807, enquanto que para o Modelo de um termo o R^2 variou entre 76,73% a 97,16% e o χ^2 entre 0,00379 a 0,02448.

Os valores máximos e mínimos de cada parâmetro das equações ajustadas, foram calculados, pelo teste de t, para identificar se havia equações que poderiam ser consideradas iguais, para posterior ajuste destas em apenas uma equação. Contudo, constatou-se que, as equações ajustadas para cada tratamento diferenciaram entre si, pelo teste t.

Os resultados obtidos, para todas as soluções, independentemente da temperatura, permitem distinguir duas fases distintas para o comportamento da variável perda de água em função do tempo. Na primeira etapa (fase 1), perda de água foi muito rápida, acontecendo nos primeiros 150 minutos do processo. Em seguida (fase 2), a taxa de desidratação passou a decrescer gradualmente, tendendo ao equilíbrio a partir de 500 minutos. Este comportamento está detalhado na Figura 8, para a temperatura de 40 °C.

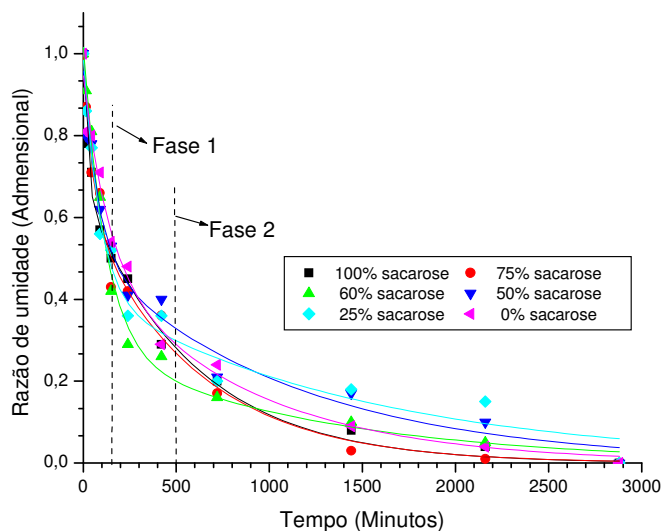


Figura 8 – Curvas de desidratação osmótica dos frutículos de jaca – temperatura 40 °C. Análise de Regressão. Exemplo da mudança de declividade nas curvas, distinguindo duas fases (1 e 2) distintas para variável perda de água em função do tempo.

Estes resultados estão em conformidade com os relatados por Martim (2003) em estudo das características de processamento da manga variedade TOMMY ATKINS desidratada, utilizando sorbitol, sacarose e estévia a 50 °C, em que obtiveram uma maior taxa de perda de água nas primeiras 2 horas, tempo estabelecido por ensaios preliminares, o que também foi mostrado por Cardoso Andrade *et al.* (2007) que o fluxo de massa entre pedaços de jenipapo e as soluções de sacarose a 30, 50 e 70% começou a reduzir de forma considerável depois das duas primeiras horas de desidratação osmótica, atingindo o equilíbrio apenas às 12, 24 e 32 h de osmose, respectivamente. Os autores argumentaram que este tempo mais longo é devido, provavelmente, ao tipo de tecido desta fruta, mais permeável ao soluto osmótico. El-Aquar e Murr (2003), estudando a desidratação osmótica do mamão formosa, encontraram a maior taxa de desidratação em 240 minutos. Isso se deve ao fato das diferentes concentrações utilizadas na solução desidratante e na geometria deste estudo em questão. Kowalska e Lenart (2001), na desidratação osmótica de maçã, abóbora e cenoura, mostram que as maiores taxas de perda de água e de ganho de sólidos ocorrem durante os primeiros 30 minutos do processo. Park *et al* (2002) relataram maior perda de água e ganho de sólidos em cubos de pêra D'anju até os 40 min de imersão em soluções osmóticas de 40, 55 e 70 °Brix, a partir do qual houve também redução nas taxas de redução de massa.

4.2.1 Efeito da solução em cada temperatura

Na Figura 9 verifica-se que, na temperatura de 40°C, ocorre uma maior perda de água para a solução A, a qual também obteve um melhor ajuste do modelo exponencial de dois termos aos dados experimentais, obtendo um R^2 de 0,994 sendo que a solução B apresentou um decaimento da curva semelhante ao da solução A. Estatisticamente, pelo teste de t, verificou-se que as curvas referentes as soluções A e B são análogas, nesta temperatura de 40°C.

Observou-se também, que a solução E obteve uma menor perda de água, na temperatura de 40°C. Portanto, foi possível verificar que na temperatura de 40°C, houve um aumento na perda de água à medida que se aumenta a proporção de 25 a 100% de sacarose.

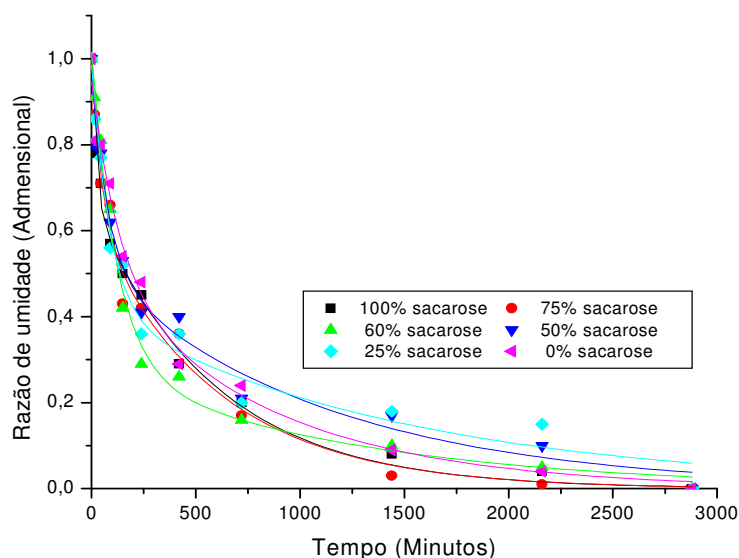


Figura 9 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose: glicose, à temperatura de 40°C.

Viberg *et al* (1998), ao estudarem duas variedades de morango (Honeoye e Dania) pré-tratados osmoticamente, observaram que a perda de água aumentou com a elevação da concentração de açúcar de 20 até 85% de sacarose. Park *et al* (2002) também relataram, em cubos de pêra D'anju desidratados com solução de sacarose entre 40 e 70°Brix, que a perda de água aumentou com o aumento da concentração do xarope.

Por outro lado, nas Figuras 10 e 11, verificou-se que a solução D obteve uma maior perda de água em ambas temperaturas, 50°C e 60°C, onde o R^2 do modelo ajustado aos dados experimentais foi de 0,998 e 0,989, respectivamente.

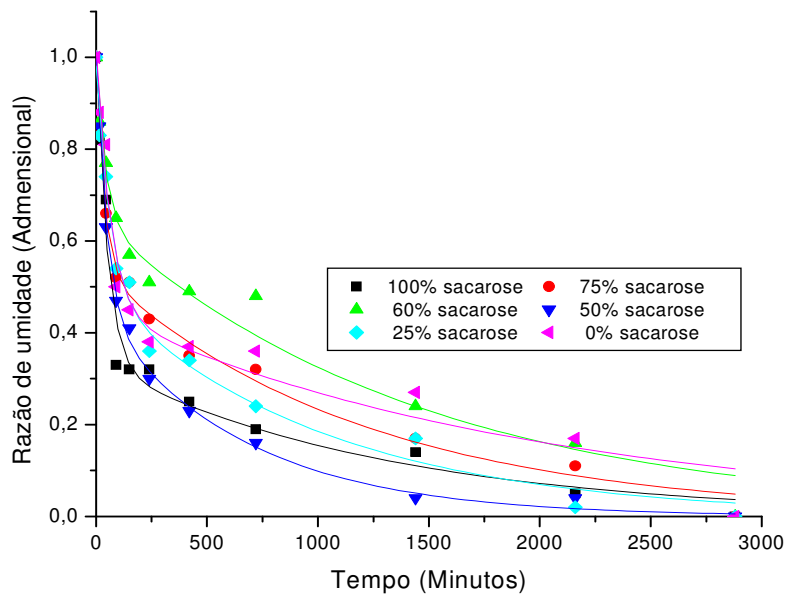


Figura 10 – Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, à temperatura de 50°C.

Na figura 12 observou-se que a solução C apresenta comportamento semelhante à solução E ao longo de toda curva ajustada, a partir de 750 min a solução B passa a ter também comportamento semelhante aos tratamentos citados anteriormente, o mesmo é observado na solução D após 1750min, verificando que ao final do processo, 2880min, as soluções B, C, D e E, obtiveram valores de perda de água bem próximos.

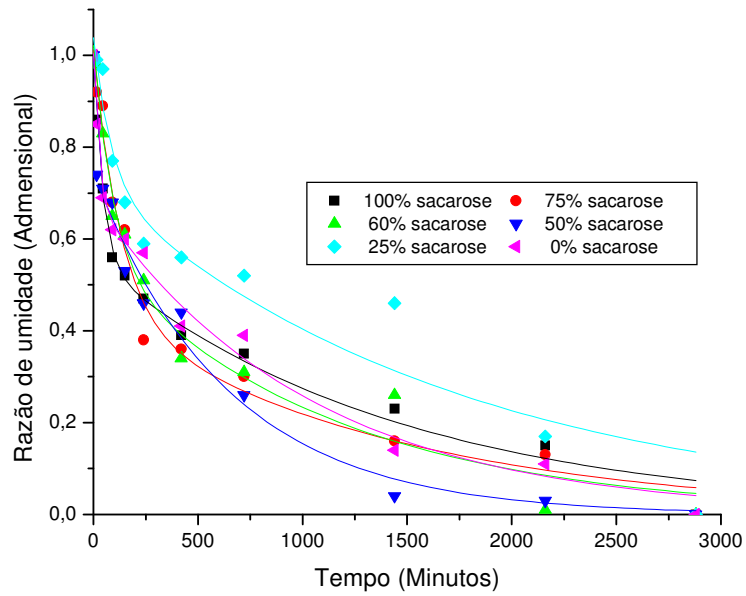


Figura 11 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, à temperatura de 60°C.

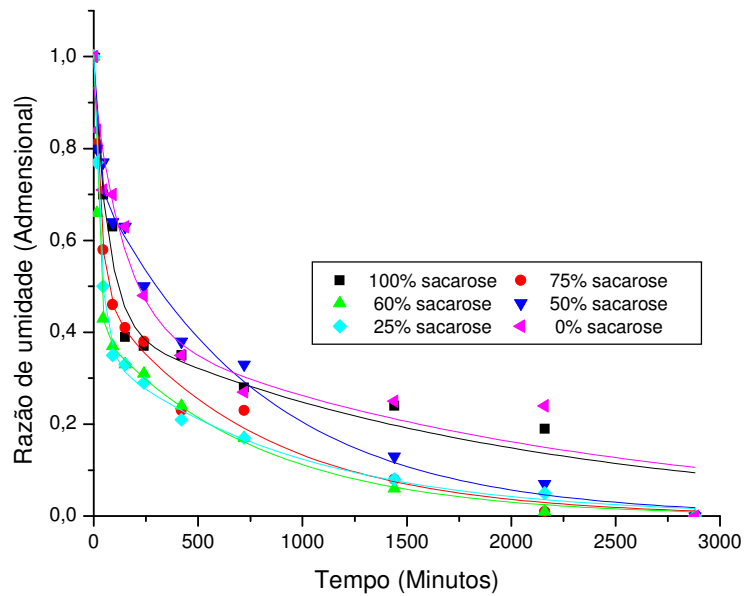


Figura 12 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose, à temperatura de 70°C.

A temperatura da solução osmótica influencia decisivamente a taxa de desidratação e as propriedades do produto final. Valores entre 20 e 50°C são considerados ótimos para o processo de transferência de massa e têm sido os mais freqüentemente citados nos trabalhos sobre este tema. O emprego de valores acima desta faixa causa perda de componentes nutricionais, mudanças de cor e deterioração de membranas celulares (BERISTAIN *et al.*, 1990). Foi observado neste experimento mudança de cor, somente nos frutículos de jacas desidratados osmoticamente em temperaturas de 70 °C nos tempos de processo acima de 720 min. Segundo Torreggiani (1993) a velocidade de transferência de massa aumenta com o aumento da temperatura, porém, acima de 60 °C ocorrem modificações nas características dos tecidos, favorecendo o fenômeno de impregnação e, conseqüentemente, o ganho de sólidos.

Entre os seis níveis de sacarose estudados para cada temperatura (40, 50, 60 e 70°C), verificou-se que a solução D apresentou comportamento semelhante nas temperaturas de 50 e 60°C, resultando em uma maior perda de água, sendo que a 70°C a solução D, obteve também maior perda de água ao final do processo, o qual pode ser explicado, em conformidade com Galli (1996), que afirma que a glicose utilizada em combinação com açúcares, tem como finalidade prevenir a cristalização, promovendo, desta maneira, uma melhor impregnação do soluto e uma maior expulsão da água do fruto.

Jackix (1988) recomenda que para elaboração de frutas desidratadas osmoticamente a concentração máxima de glicose a ser utilizada, em combinação com açúcares, seja de 20% para controlar a cristalização e dar brilho, pois durante o açucaramento boa parte de sacarose inverte-se, sendo que o grau de inversão aumenta com o acréscimo da temperatura e com a diminuição do pH. Este autor afirma, ainda, que certo nível de inversão é desejado, uma vez que aumenta a solubilidade da solução. No entanto, uma inversão elevada deve ser evitada, pois acarreta característica de flacidez à fruta. Contudo, neste experimento, observou este efeito de flacidez nos frutículos de jaca em temperaturas mais altas.

Segundo Karathanos *et al* (1995), em estudos de desidratação osmótica de maçãs em soluções de sacarose e glicose a 15, 30 e 45%, amostras desidratadas em glicose apresentaram maior ganho de sólidos que aquelas desidratadas em sacarose. Segundo estes autores, a glicose exerce maior efeito osmótico que a sacarose devido a sua menor massa molecular (praticamente a metade), sendo assim existe praticamente o dobro de moléculas de glicose que de sacarose na solução, o que discorda em partes com o estudo do presente trabalho, que observou uma melhor perda de água quando utilizado o tratamento com proporção de 50% sacarose-50% glicose (solução D).

Giraldo *et al*, (2003), em estudos em desidratação osmótica com manga, explicaram que o

choque osmótico causado por soluções muito concentradas levou à rápida perda de água pelas células externas e a um conseqüente colapso na estrutura das mesmas. Estas células formaram uma camada rígida ao redor dos pedaços de fruta funcionando como barreira protetora contra a entrada de sólidos para o interior das amostras. Isto pode ser considerado uma vantagem por permitir a manutenção das características do produto mais próximas daquelas do fruto fresco, com menor incorporação de açúcar (LAZARIDES, 1994)

Este colapso e a formação da camada rígida ocorreu no presente trabalho. Mais ainda, uma característica dos frutículos de jaca é que, mesmo após desgomados, estes apresentam uma pequena camada de visgo, o que pode vir a impedir uma penetração uniforme dos agentes osmóticos. A ação da temperatura pode estar ligada à remoção deste visgo. Isto explicaria os diferentes comportamentos obtidos, após a primeira fase de desidratação, nas diferentes temperaturas.

4.2.2 Efeito da temperatura em cada solução

Na Figura 13, solução A, observou-se que até próximo de 750 min de processamento, obtém-se para a temperatura de 50°C uma maior perda de água, logo após 750 min, a temperatura de 40°C começa a perder mais água, quando comparado as outras temperaturas, até o final do processo.

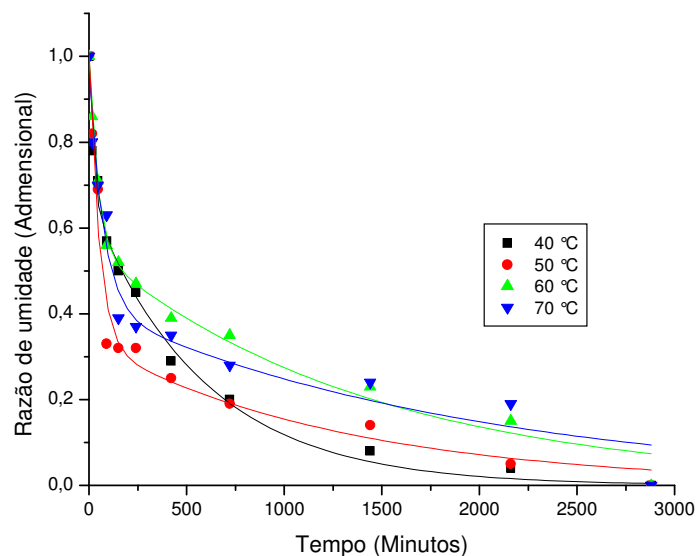


Figura 13 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 100% sacarose : 0% glicose (solução A), a diferentes temperaturas.

Segundo Bobbio (1995) e Galli (1996), a sacarose é o açúcar mais utilizado na formulação

dos xaropes na desidratação osmótica, porém quando utilizado sozinho pode ocorrer cristalização a depender da temperatura. No presente trabalho, com o aumento da temperatura e o choque osmótico causado por soluções muito concentradas, ocorreu uma rápida perda de água pelas células externas e a um conseqüente colapso na estrutura delas. Portanto, estas células formam uma camada rígida, ao redor dos pedaços de fruta, funcionando como barreira protetora contra a entrada de sólidos para o interior das amostras. Nas figuras 14 e 15, cujas soluções são B e C, respectivamente, observa-se uma semelhança entre as curvas ajustadas de 40 e 70°C. Ambas temperaturas demonstram uma maior perda de água ao longo do processo, para os dois tratamentos. Portanto, pode-se concluir que é possível obter uma maior expulsão de água utilizando uma temperatura de 40°C, já que a 70°C atinge valores de perda de água próximos à temperatura de 40°C, resultando em uma boa economia de consumo de energia, o que é de grande interesse industrial, no que se refere a custos.

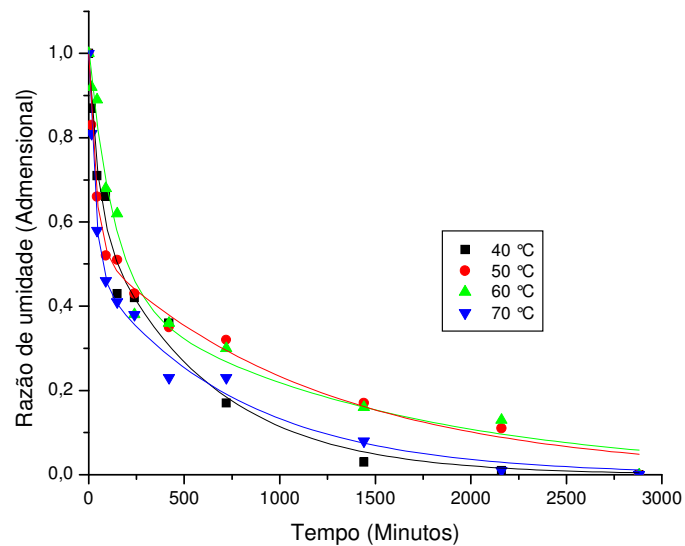


Figura 14 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 75% sacarose : 25% glicose (solução B), a diferentes temperaturas.

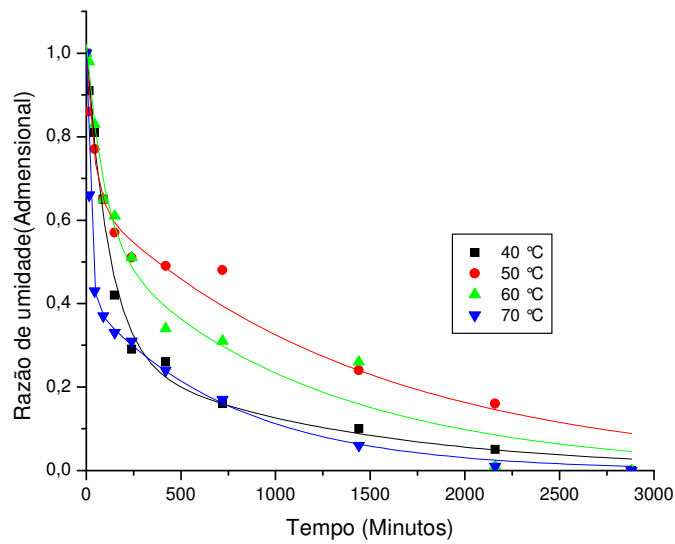


Figura 15 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 60% sacarose : 40% glicose (solução C), a diferentes temperaturas.

Na figura 16, solução D, observou-se que até próximo de 2000 min de processamento, a temperatura de 50°C obtém uma maior perda de água, logo após 2000 min, as temperaturas de 50 e 60°C começam a atingir valores de perda de água bem semelhantes até o final do processo.

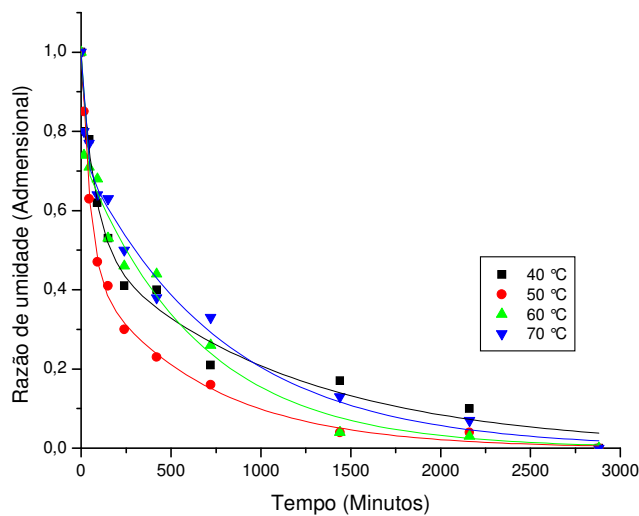


Figura 16 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 50% sacarose : 50% glicose (solução D), a diferentes temperaturas.

Na figura 17, solução E, observou-se que a temperatura de 70°C obtém uma maior perda de água ao longo de todo o processo de desidratação osmótica.

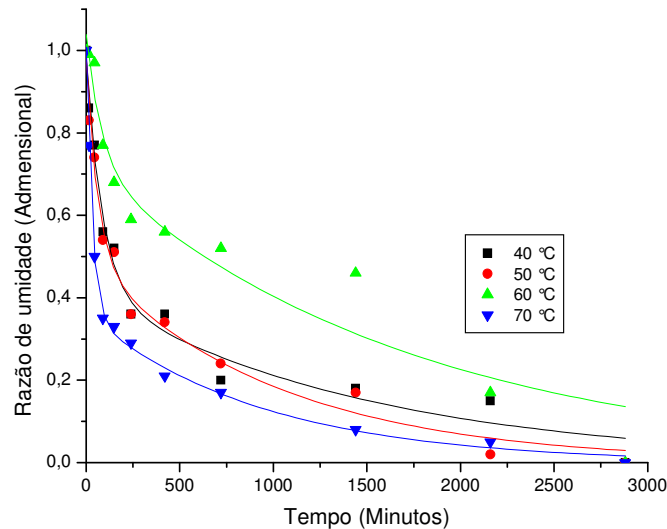


Figura 17 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 25% sacarose : 75% glicose (solução E), a diferentes temperaturas.

Este efeito da temperatura foi bem evidenciado no trabalho de Khoiyi e Hesari (2006) com desidratação osmótica de fatias de damascos. Estes autores observaram que, para uma mesma concentração de solução (sacarose a 60 ou a 70%), houve um aumento significativo na perda de água ao se elevar a temperatura de 30 para 60°C. Neste mesmo experimento, no tratamento com sacarose 70%, verificou-se maior ganho de sólidos nas amostras desidratadas a 60°C que naquelas tratadas a 30°C até 4 h de desidratação. A partir deste tempo houve aumento no ganho de sólidos das fatias de damascos a 30°C chegando, no final do processo, a valores bem semelhantes aos desidratados a 60°C.

Na figura 18, solução F, observou-se que até próximo de 300 min de processamento, a temperatura de 50°C obtém-se uma maior perda de água, logo após 300 min, os frutículos na temperatura de 40°C começam a perder mais água, quando comparado com as outras temperaturas, até o final do processo.

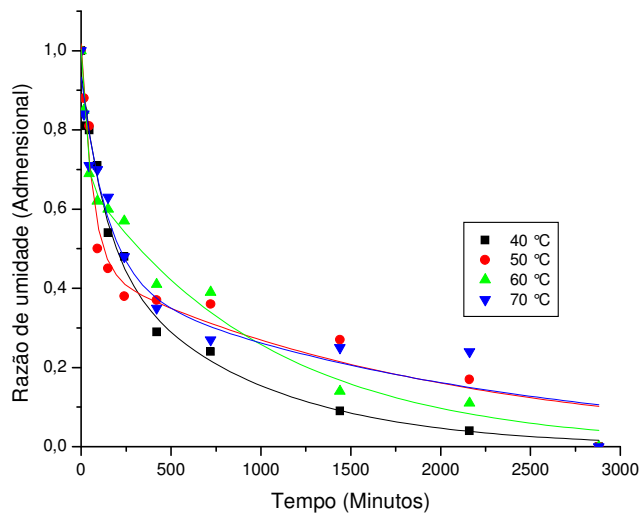


Figura 18 - Variação da perda de água dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em solução de 0% sacarose : 100% glicose (solução F), a diferentes temperaturas.

4.3 Ganho de Sólidos

Para o estudo do comportamento da variação dos SST foram testados os modelos de regressão não-linear: Decaimento Exponencial de 1 e 2 termos; Função Logística; Hiperbólico e Sigmoidal, sendo que o modelo da Função Logística apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais.

O modelo da Função logística é dado por:

$$y = \left(\frac{A_1 - A_2}{1 + (x/x_0)^p} \right) + A_2 \quad (12)$$

Sendo o parâmetro y o teor de sólidos solúveis (°Brix); x o tempo de desidratação (min) e A_1 ; A_2 ; x_0 e p são parâmetros estimados pela análise de regressão.

No ajuste feito neste experimento foi estabelecido um valor fixo para o parâmetro x_0 de 2880 minutos, com base na análise das curvas de cinética obtidas.

Na Tabela 5 encontram-se os coeficientes da equação obtida na regressão não-linear, obtidos pelo ajuste do modelo da Função Logística, para cada temperatura e para cada solução.

Tabela 5 – Parâmetros da equação ajustada (Função Logística), para o teor de sólidos solúveis (°BRIX) estimado, em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose-glicose, a temperatura de 40, 50, 60 e 70°C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo				
		$^{\circ}\text{Brix} = \left(\frac{A_1 - A_2}{1 + (x / 2880)^p} \right) + A_2$				
		A_1	A_2	p	χ^2	R^2
40	A	27,539	93,298	0,348	2,36	0,982
40	B	27,592	78,513	0,596	1,20	0,987
40	C	25,079	73,924	0,384	3,22	0,957
40	D	27,361	64,661	0,544	1,09	0,978
40	E	27,110	70,938	0,420	2,07	0,967
40	F	27,218	74,809	0,494	1,27	0,984
50	A	27,858	95,182	0,324	2,34	0,982
50	B	27,752	79,977	0,544	0,77	0,992
50	C	26,280	77,219	0,362	1,89	0,940
50	D	26,518	73,371	0,278	4,47	0,929
50	E	27,066	74,587	0,361	3,22	0,954
50	F	27,259	80,216	0,404	1,87	0,979
60	A	26,292	114,508	0,244	15,78	0,927
60	B	24,517	92,120	0,366	11,17	0,924
60	C	25,973	91,007	0,287	12,43	0,902
60	D	27,857	97,810	0,234	1,62	0,987
60	E	27,499	90,446	0,408	8,41	0,936
60	F	26,732	94,887	0,333	8,73	0,938
70	A	27,527	68,626	1,059	3,90	0,986
70	B	25,219	95,471	0,344	20,01	0,877
70	C	25,220	95,536	0,244	17,10	0,881
70	D	26,913	106,184	0,219	2,224	0,986
70	E	27,246	94,845	0,369	3,98	0,972
70	F	26,467	102,464	0,251	6,347	0,959

Soluções: A = 100% sacarose; B = 75% sacarose; C = 60% sacarose; D = 50% sacarose; E = 25% sacarose e F = 0% sacarose.

Em se observando os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2), que variaram entre 87,7% a 99,2% e 0,77 a 20,01, respectivamente, verifica-se que o modelo Logística, apresenta um bom ajuste aos pontos experimentais.

4.3.1 Efeito da solução em cada temperatura

O teor de SST, em °BRIX, nos frutículos de jaca desidratados osmoticamente nas soluções A, B, C, D, E e F, exibiu aumento com o tempo de desidratação (Figura 19). Mudanças na

declividade das curvas permitem distinguir duas fases distintas para o comportamento no ganho de SST em função do tempo. Na fase 1, que compreende nos primeiros 90 minutos, o ganho de SST realizou-se de rapidamente. Enquanto que na fase 2 o fluxo de massa passou a decrescer gradualmente tendendo ao equilíbrio a partir de 250 minutos.

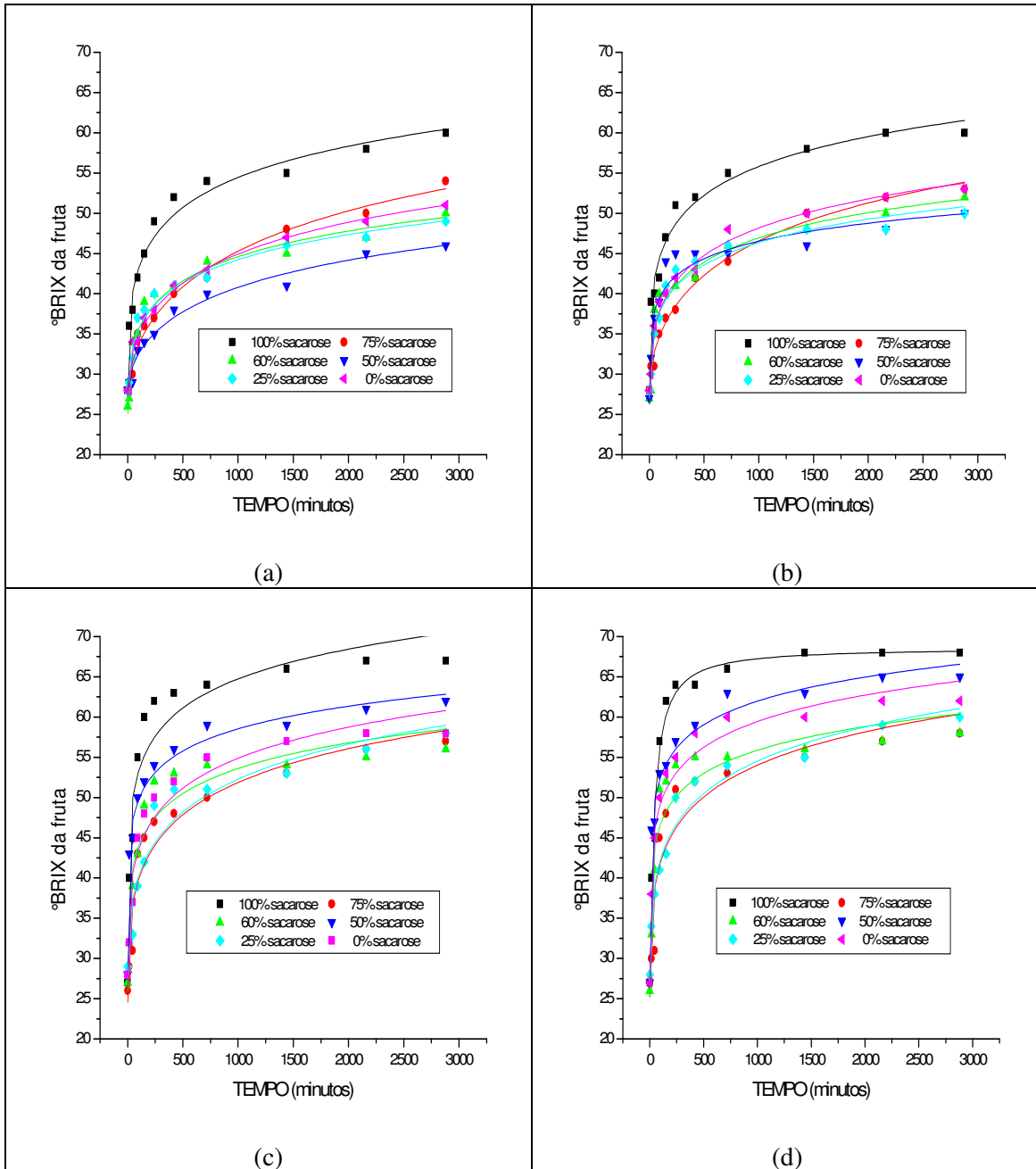


Figura 19 – Variação do teor de sólidos solúveis (°BRIX) de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glucose: (a) a temperatura de 40°C; (b) temperatura de 50°C; (c) temperatura de 60°C; (d) temperatura de 70°C.

No início do processo, definido como a primeira fase, a presença de uma elevada concentração de açúcares faz com que ocorra um rápido intercâmbio de massa (água sai, solutos entram), onde este intercâmbio vai se acomodando para um mecanismo final, até eventualmente atingir-se um equilíbrio.

As amostras submetidas aos tratamentos 0%, 25%, 50%, 60%, 75% e 100% de sacarose apresentaram aumento dos SST, aproximando-se a 64°Brix. Nas Figuras 19c e 19d, observou-se um maior ganho de SST, quando comparado com as Figuras 19a e 19b. Segundo Torreggiani (1993), este fato ocorre devido, em temperaturas acima de 60°C, provavelmente, às propriedades do tecido das frutas e são alteradas favorecendo o fenômeno de impregnação, ou seja, o ganho de açúcar.

Observou-se que a solução A exibiu ganho de SST maior durante todo o tempo de osmose nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, atingindo valores próximos a 64°Brix.

Cardoso Andrade *et al* (2007) demonstraram na desidratação osmótica de pedaços de jenipapo a 30, 50 e 70% de sacarose, que as concentrações mais altas de sacarose favoreçam a perda de água, promovendo simultaneamente maior ganho de sólidos.

Karathanos *et al* (1995) obtiveram resultados na desidratação osmótica de maçãs em soluções de sacarose e glicose a 15, 30 e 45%, em que as amostras desidratadas em glicose apresentaram maior ganho de sólidos que aquelas desidratadas em sacarose. Segundo estes autores, a glicose exerce maior efeito osmótico que a sacarose devido a menor massa molecular, sendo assim existe praticamente o dobro de moléculas de glicose que de sacarose na solução. Contudo, neste experimento, observou-se que os frutículos de jaca desidratados em solução de 100% sacarose obteve maior ganho de sólidos.

Os parâmetros obtidos para as equações de regressão, com as soluções B, C, D, E e F, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, não diferiram estatisticamente entre si, ou seja, as proporções feitas de sacarose:glicose compostas por 0%, 25%, 50%, 60% e 75% de sacarose não apresentam diferenças significativas, no que se refere ao aumento do SST.

Portanto, apenas a solução A apresentou diferença significativa para o aumento de ganho de SST.

4.3.2 Efeito da temperatura em cada solução

O teor de SST nos frutículos de jaca desidratados osmoticamente nas temperaturas 40, 50, 60 e 70°C apresentou aumento com o tempo de desidratação (Figura 20).

Percebeu-se (Figura 20), que a temperatura de 70°C obteve maior ganho de SST em todas soluções em estudo durante o tempo de osmose, chegando a obter, para solução A, valores de até 68°Brix. O valor experimental encontrado foi ligeiramente maior que 64°Brix (valor ajustado para as soluções osmóticas). Este fato pode ter ocorrido devido a cristalização na superfície dos frutículos de jaca, quando utilizadas soluções de 100% sacarose.

O efeito da temperatura também foi observado no trabalho de Khoiyi e Hesari (2006) com desidratação osmótica de fatias de damascos, sendo que o tratamento com sacarose a 70%, apresentou maior ganho de sólidos nas amostras desidratadas a 60°C que naquelas tratadas a 30°C até 4 h de desidratação.

Neste trabalho, observou-se (Figuras 20a, 20b, 2c, 2d, 2e e 2f), que na temperatura menor (40°C) obteve-se menor ganho de SST, independentemente da solução estudada.

Andrade *et al* (2003) conclui, em estudos com jenipapos desidratados osmoticamente, que o comportamento observado com relação à incorporação de soluto, que implicou em aumento de peso, encontra-se associado as características próprias do jenipapo.

Ao avaliarmos os parâmetros das equações ajustadas, verificou-se, pelo teste de t, que não há diferença estatística entre as equações das temperaturas de 40 e 50°C para solução A, portanto as equações encontradas para estas temperaturas são equivalentes.

Já para a solução B não houve diferença entre as equações obtidas nas temperaturas estudadas, sendo, portanto, possível trabalhar com temperaturas menores, reduzindo assim custos.

Para solução C, verificou-se que as equações obtidas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C não apresentaram diferença estatística ($P < 0,05$ pelo teste t).

Verificou-se, para a solução D, que não houve diferença estatística entre as equações obtidas nas temperaturas de 60 e 70°C. Para as soluções E e F, não houve diferença estatística entre as equações obtidas nas temperaturas de 40 e 50°C, 50 e 60°C sendo que nas temperaturas de 60 e 70°C as equações também não diferiram.

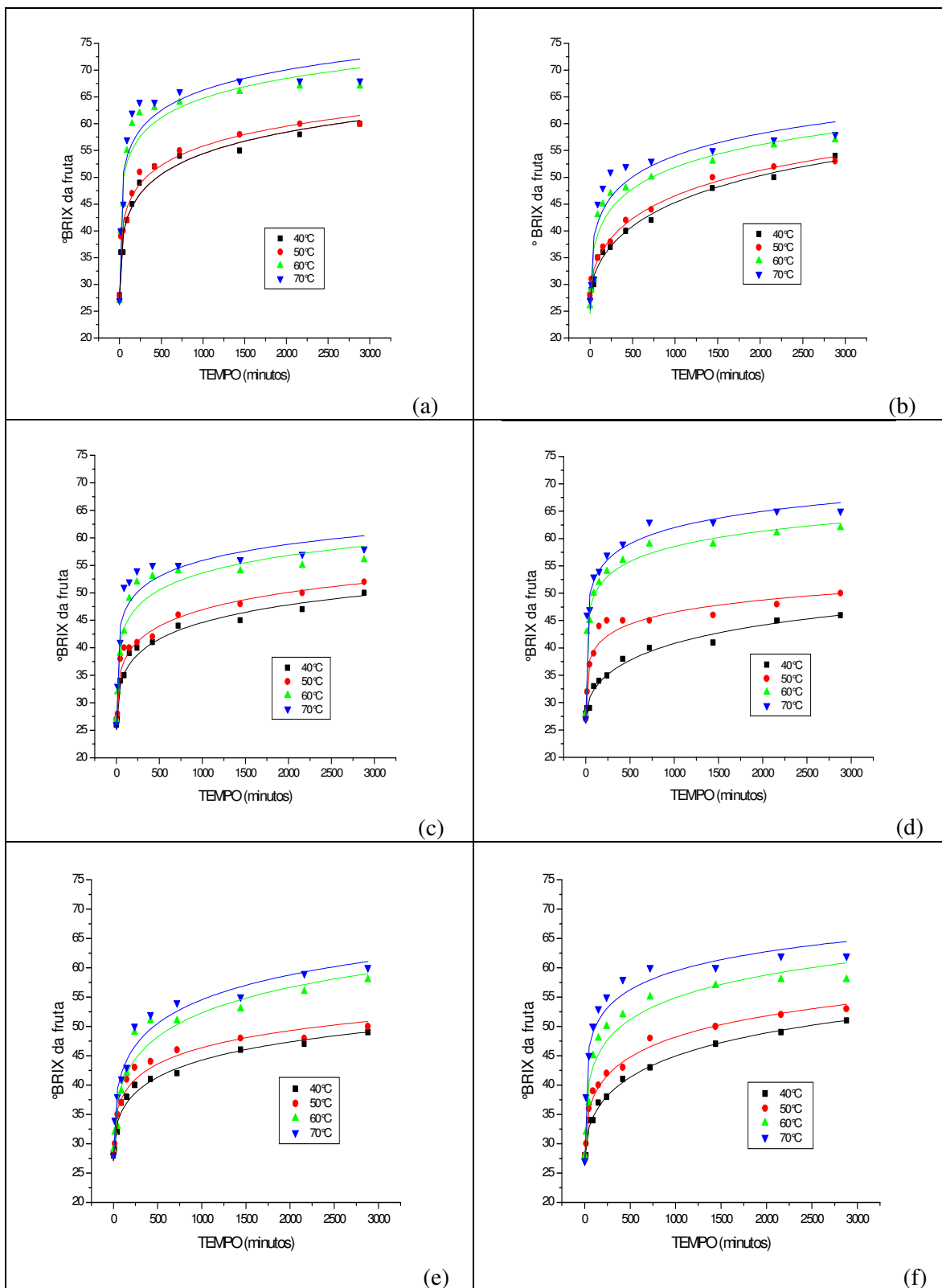


Figura 20 – Variação do teor de sólidos solúveis (°BRIX) dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em diferentes temperaturas: (a) solução A; (b) solução B; (c) solução C; (d) solução D; (e) solução E; (f) solução F.

4.4 pH

Para o estudo do comportamento da variação do pH foram testados os modelos de regressão não linear: Decaimento Exponencial de 1 e 2 termos; Hiperbólico; Função Logística e Sigmoidal, sendo que, o modelo Decaimento Exponencial de 1 termo apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais.

O modelo Decaimento Exponencial de um termo é dado por:

$$y = y_0 + A_1 e^{-(x - x_0) / t_1} \quad (13)$$

Sendo y o pH; x o tempo (minutos) e y_0 ; A_1 ; x_0 e t_1 , constantes de regressão.

Neste experimento, o melhor ajuste do modelo tendo x_0 valor fixo igual a zero.

Na Tabela 6 encontram-se os coeficientes da equação de regressão não-linear, obtidos pelo modelo Decaimento Exponencial de um termo, para cada temperatura e cada solução.

Ao observar os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2), que variaram entre 80,5% a 98,2% e 0,003 a 0,83, respectivamente, verifica-se que o modelo Decaimento Exponencial de um termo apresenta um bom ajuste aos pontos experimentais (Figura 21).

Tabela 6 – Parâmetros do Decaimento Exponencial de um termo para estimar o pH em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose-glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo				
		$pH = y_0 + A_1 e^{-(x / t_1)}$				
		y_0	A_1	t_1	χ^2	R^2
40	A	4,842	1,069	531,967	0,004	0,982
40	B	5,065	0,851	336,508	0,003	0,981
40	C	5,022	0,654	1218,020	0,006	0,911
40	D	5,115	0,768	450,924	0,009	0,927
40	E	4,895	0,817	756,691	0,009	0,932
40	F	4,864	1,008	993,339	0,016	0,911
50	A	4,909	0,627	522,664	0,004	0,950
50	B	4,828	0,711	1057,771	0,011	0,874
50	C	4,689	1,221	839,346	0,005	0,981
50	D	4,684	0,964	1104,504	0,007	0,955

Tabela 6 (Cont.) – Parâmetros do Decaimento Exponencial de um termo para estimar o pH em frutículos de jaca, em função do tempo (minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose-glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo				
		$pH = y_0 + A_1 e^{-(x/t_1)}$				
		y_0	A_1	t_1	χ^2	R^2
50	E	4,605	1,207	966,185	0,022	0,914
50	F	4,753	0,966	1179,149	0,014	0,907
60	A	4,238	1,251	1730,182	0,012	0,933
60	B	4,512	1,087	1829,844	0,003	0,979
60	C	4,269	1,235	1973,999	0,011	0,933
60	D	4,835	0,829	748,666	0,005	0,958
60	E	4,451	1,187	1355,292	0,008	0,962
60	F	4,411	1,153	1293,188	0,012	0,939
70	A	4,422	1,006	1281,820	0,017	0,895
70	B	4,335	1,107	1632,433	0,017	0,891
70	C	4,349	1,111	1496,589	0,011	0,934
70	D	4,549	1,550	286,534	0,070	0,872
70	E	4,660	1,32	238,741	0,083	0,805
70	F	4,587	1,343	407,916	0,066	0,845

Soluções: A = 100% sacarose; B = 75% sacarose; C = 60% sacarose; D = 50% sacarose; E = 25% sacarose e F = 0% sacarose.

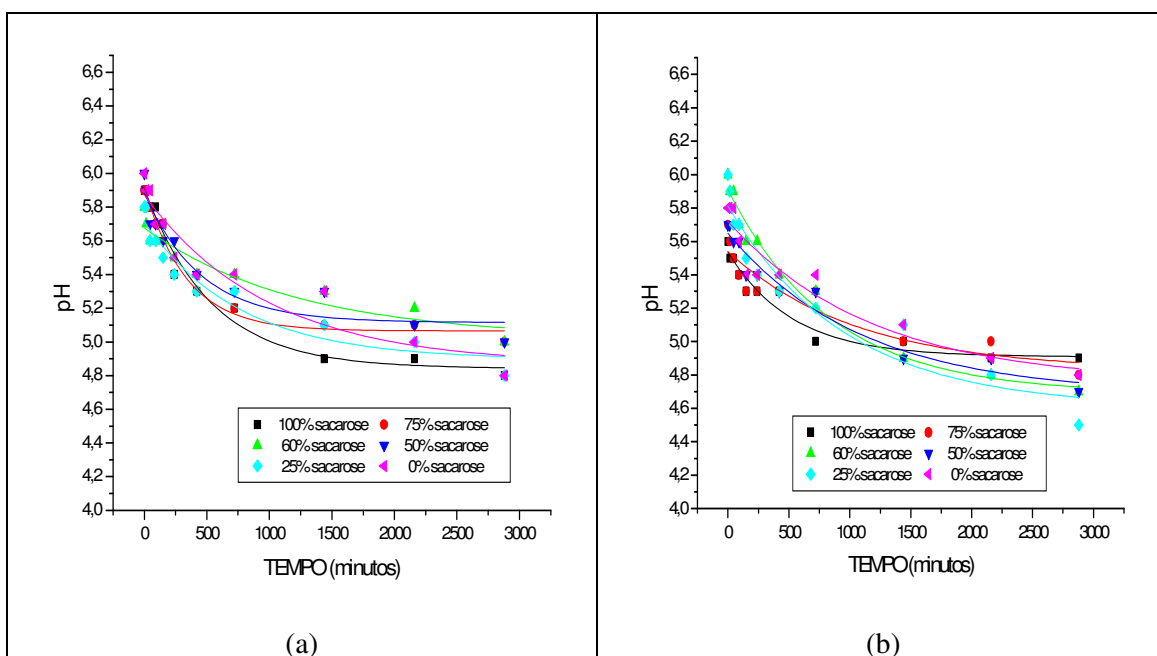


Figura 21 – Variação do pH de frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose: (a) temperatura de 40°C; (b) temperatura de 50°C; (c) temperatura de 60°C; (d) temperatura de 70°C.

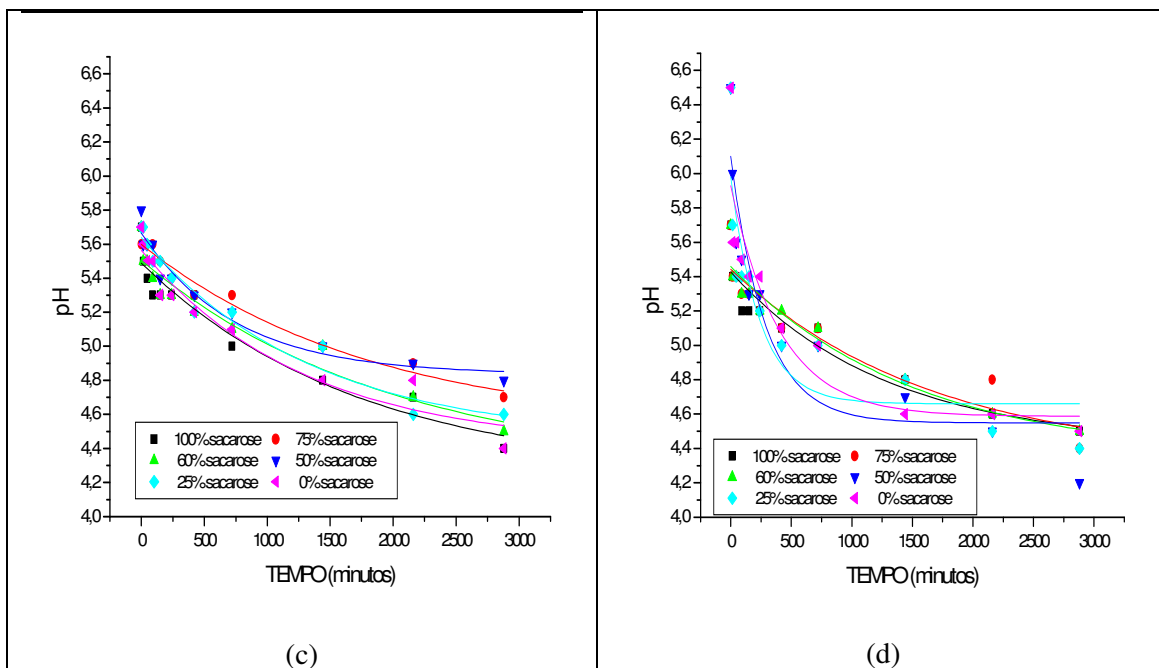


Figura 21 (Cont.) – Variação do pH de frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glicose: (a) temperatura de 40°C; (b) temperatura de 50°C; (c) temperatura de 60°C; (d) temperatura de 70°C.

4.4.1 Efeito da solução em cada temperatura

O pH dos frutículos de jaca “in natura” teve valores próximo da média obtida por MELLO *et al.* (2005) que é de 5,45.

Segundo Atkinson *et al* (1952) e Grosso (1972) citados por Andrade *et al* (2003) a acidificação do agente osmótico induz a um aumento da porosidade do tecido da fruta, facilitando a difusão dos açúcares para o seu interior. Assim sendo, o pH das soluções foi ajustado para 3,0 pela adição de ácido cítrico. Por outro lado, os frutos em contato com a solução mais ácida terão o pH diminuído.

Os frutículos de jaca desidratados osmoticamente nas soluções A, B, C, D, E e F, demonstraram como esperado.

Decréscimo no pH com o tempo de desidratação (Figura 21). Mudanças na declividade das curvas (Figura 21) permitem distinguir duas fases distintas para o comportamento na diminuição do pH em função do tempo. Na primeira fase, houve uma queda rápida do pH, que aconteceu nos primeiros 250 minutos. Já na segunda fase, a partir de cerca de 500 minutos de desidratação, o pH foi passando a diminuir mais lentamente, tendendo ao equilíbrio. Este resultado está em conformidade com aquele relatado por Queiroz *et al* (2006) em estudo com goiabas submetidas ao processo de

desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção, e por Forni *et al* (1997), em estudo com damasco submetidos ao processo de desidratação osmótica pelo frio.

Na temperatura de 40°C (Figura 21a) o valor médio do pH ao final da desidratação osmótica é de 4,9 e na temperatura de 70°C, o valor médio ao final do processo foi de 4,4 (Figura 21d).

Observou-se que todos os tratamentos exibiram uma queda no pH durante o tempo de osmose em qualquer temperatura estudada (40, 50, 60 e 70 °C). A solução A apresentou um menor valor de pH para as temperaturas de 40 e 60 °C, obtendo valores de pH 4,8 e 4,4 respectivamente. Contudo, no início do processo, a temperatura de 50 °C, o tratamento com a solução A também apresentou valor de pH inicial mais baixo, por volta de 5,4 (Figura 21b), mas, a partir de 720 minutos, o pH da solução A estabiliza, sendo que o pH para as outras soluções continuaram caindo levemente.

4.4.2 Efeito da temperatura em cada solução

Observou-se que a temperatura tem influência direta na redução do pH (Figura 22) durante o processo de desidratação osmótica. A partir da Figura 22 verifica-se, com o aumento da temperatura, que há um decréscimo no pH, sendo que a temperatura de 70°C favoreceu um maior decréscimo do pH, obtendo valores médios próximos a 4,4. Nas temperaturas de 40 e 50° a desidratação apresentou comportamento semelhante em todos os tratamentos, alcançando valores de pH próximos à 4,8.

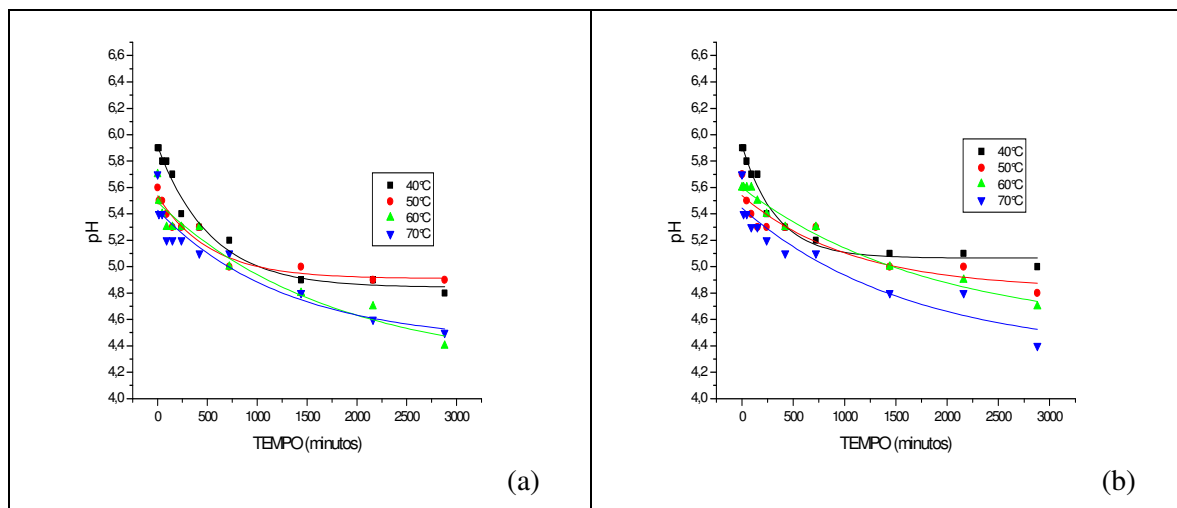


Figura 22 – Variação do pH dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em diferentes temperaturas: (a) solução A; (b) solução B; (c) solução C; (d) solução D; (e) solução E; (f) solução F.

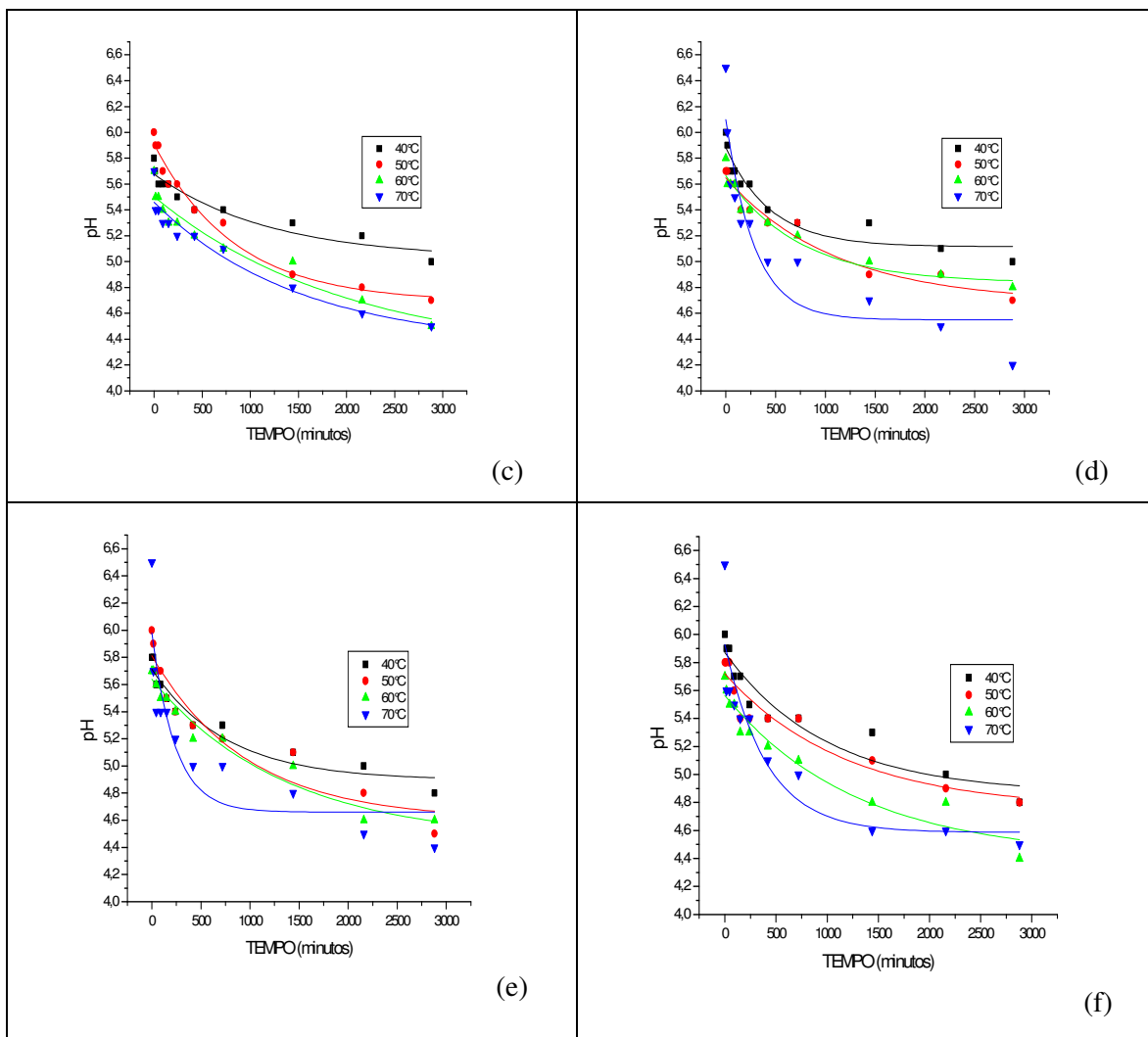


Figura 22 (Cont.) – Variação do pH dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em diferentes temperaturas: (a) solução A; (b) solução B; (c) solução C; (d) solução D; (e) solução E; (f) solução F.

Segundo Andrade *et al* (2003) temperaturas acima de 60°C provavelmente, afetam as propriedades do tecido das frutas, favorecendo o fenômeno de impregnação. Portanto, ocorrerá uma melhor impregnação da solução com o aumento da temperatura, o que fará com que o pH obtenha valores mais próximos do pH da solução em estudo. De acordo com Lenart e Lewicki (1990), embora a temperatura crítica dependa da natureza da fruta, este fenômeno pode ocorrer entre 30 a 90°C. Para tanto, observou-se neste experimento que os frutículos de jaca desidratados em uma mesma solução, mas em diferentes temperaturas, atinge valores de pH mais próximos dos valores de pH da solução, quando se tem uma temperatura mais elevada, o qual está em conformidade com Lenart e Lewicki (1990) em estudos com abóbora.

4.5 Acidez Titulável

Para o estudo do comportamento da variação da ATT foram testados os modelos de regressão não linear: Decaimento Exponencial de primeira e dois termos; Hiperbólico, Função Logística e; Sigmoidal, sendo que a Função logística apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais.

Na Tabela 7 encontram-se os coeficientes da equação de regressão não-linear (Função Logística), relacionando ATT (% ácido cítrico) com tempo (minutos) de desidratação para cada temperatura (°C) e cada solução (% de sacarose).

Tabela 7 – Parâmetros da equação ajustada, por regressão não-linear (Função Logística), para estimativa da Acidez Titulável (ATT), em % do ácido cítrico, em frutículos de jaca, em função do tempo (x em minutos) de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose-glicose, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.

Temperatura (°C)	Solução	Modelo				
		$ATT = \left(\frac{A_1 - A_2}{1 + (x / 2880)^P} \right) + A_2$				
		A_1	A_2	P	χ^2	R^2
40	A	1,501	3,277	0,465	0,012	0,895
40	B	1,364	4,139	0,588	0,003	0,988
40	C	1,419	3,505	0,587	0,008	0,951
40	D	1,447	4,001	0,436	0,006	0,974
40	E	1,607	3,529	0,408	0,013	0,898
40	F	1,404	3,921	0,542	0,009	0,961
50	A	1,274	4,214	0,364	0,007	0,974
50	B	1,309	4,510	0,503	0,010	0,973
50	C	1,310	4,192	0,412	0,018	0,936
50	D	1,553	4,070	0,467	0,010	0,954
50	E	1,501	3,782	0,410	0,008	0,955
50	F	1,385	4,470	0,453	0,018	0,946
60	A	1,284	4,452	0,486	0,029	0,921
60	B	1,438	4,567	0,356	0,023	0,925
60	C	1,473	4,046	0,429	0,009	0,957
60	D	1,502	4,437	0,429	0,002	0,994
60	E	1,461	4,495	0,433	0,006	0,981
60	F	1,442	4,661	0,400	0,013	0,961
70	A	1,446	4,967	0,397	0,021	0,948
70	B	1,501	4,964	0,247	0,007	0,978
70	C	1,502	4,438	0,470	0,020	0,935
70	D	1,496	4,474	0,344	0,003	0,988
70	E	1,465	4,700	0,383	0,007	0,977
70	F	1,471	4,754	0,361	0,022	0,935

Soluções: A = 100% sacarose; B = 75% sacarose; C = 60% sacarose; D = 50% sacarose; E = 25% sacarose e F = 0% sacarose.

Observando os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2), que variaram entre 89,5% a 99,4% e 0,002 a 0,29, respectivamente, verifica-se que o modelo apresentou um bom ajuste aos dados experimentais como indicado na Figura 23.

4.5.1 Efeito da solução em cada temperatura

A ATT da jaca *in natura* apresentou valor de 1,4% de ácido cítrico. Mello *et al* (2005) em estudos da caracterização das propriedades físicas, físico-químicas e microbiológicas da jaca “*in natura*” e desidratada, encontrou valores muito baixos de acidez total titulável (ATT), o que mostrou também que as duas variedades de jaca (dura e mole) não são frutas ácidas, em média de 0,16 e 0,11g/100g para variedade mole e dura, respectivamente.

A ATT nos frutículos de jaca desidratados osmoticamente nas soluções A, B, C, D, E e F, exibiu um aumento com o tempo de desidratação (Figura 23). Mudanças na declividade das curvas, Figura 23, permitiram distinguir duas fases distintas para o comportamento no aumento da ATT em função do tempo. Na primeira fase, que compreende nos primeiros 120 minutos, há um aumento rápido da ATT. Enquanto na segunda fase, a partir de 500 minutos, a ATT continuou aumentando, tendendo ao equilíbrio.

Observou-se que todos os tratamentos exibiram um aumento da ATT durante o tempo de osmose e em qualquer temperatura estudada (40, 50, 60 e 70°C), os menores valores obtidos foram de 2,3% de ácido cítrico, na temperatura de 40°C e os maiores foram de 3,2%, na temperatura de 70°C.

Ao avaliar os parâmetros obtidos por cada equação, nota-se que as equações obtidas não apresentaram diferença estatística ($P < 0,05$ pelo teste t), ou seja, o aumento da ATT a 40°C não difere do aumento da ATT a 70°C.

4.5.2 Efeito da temperatura em cada solução

Observou-se que a temperatura tem influência direta no aumento da ATT durante o processo de desidratação osmótica. A Figura 24 mostra que com o aumento da temperatura há um aumento da ATT, sendo que na temperatura de 70°C, os frutículos apresentaram maior ATT, com valores médios próximos a 2,9% de ácido cítrico. Para as temperaturas de 40 e 50 °C as soluções A e C apresentam comportamento semelhante (Figura 24a e 24c, respectivamente), atingindo valores de ATT médio próximo a 2,6% de ácido cítrico.

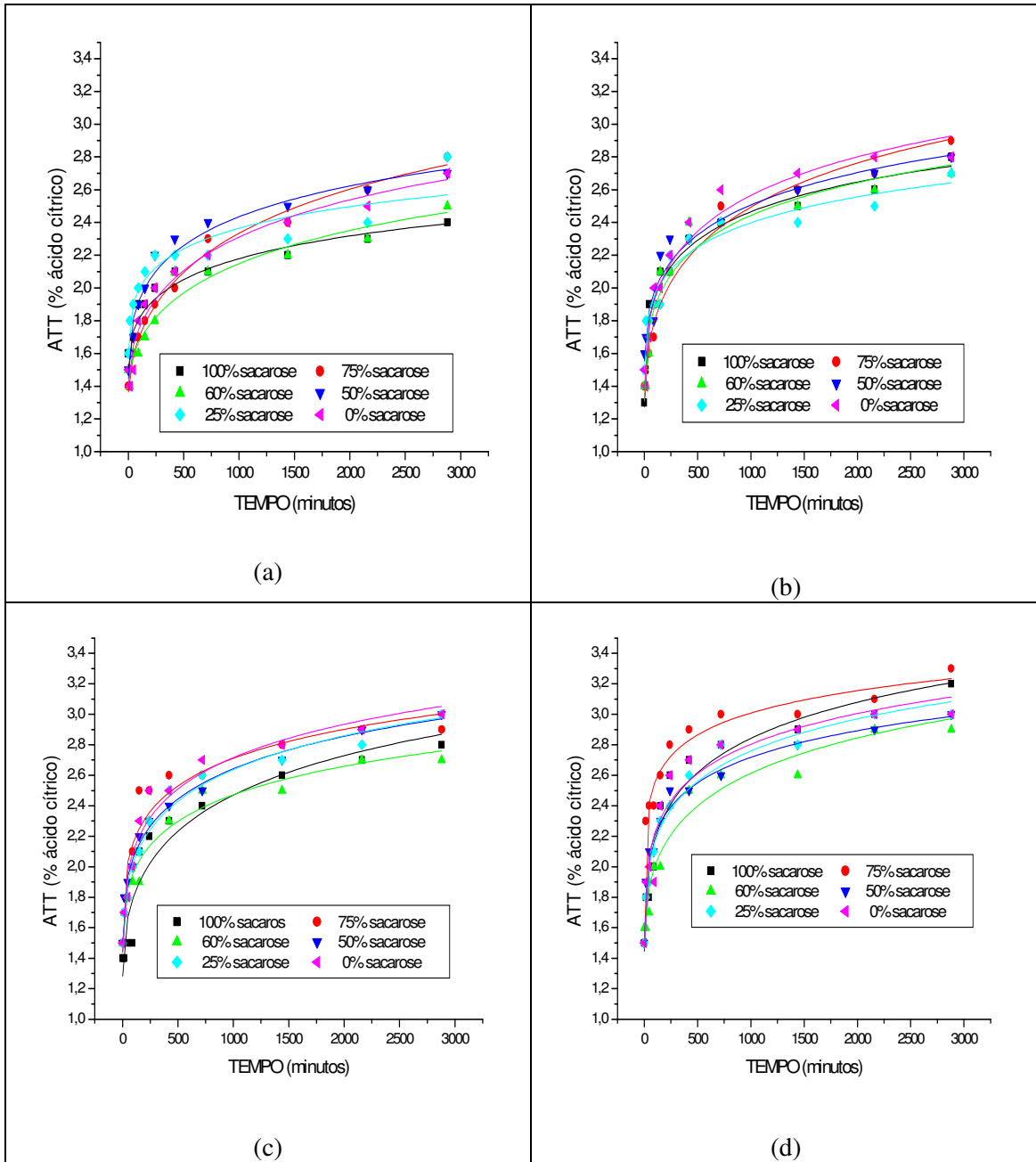


Figura 23 – Variação da ATT dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em soluções com diferentes proporções de sacarose:glucose: (a) temperatura de 40°C; (b) temperatura de 50°C; (c) temperatura de 60°C; (d) temperatura de 70°C.

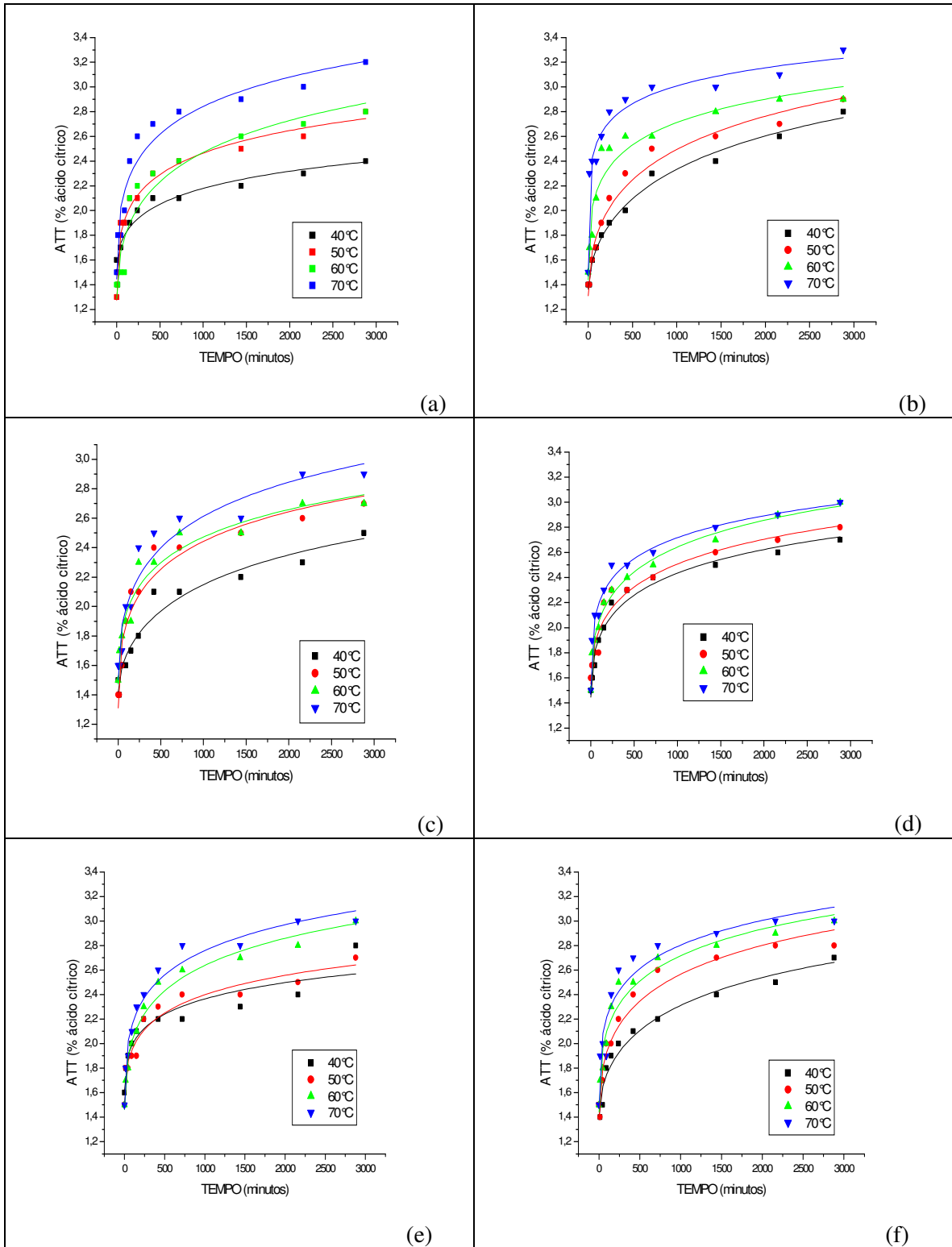


Figura 24 – Variação da ATT dos frutículos de jaca em função do tempo de desidratação osmótica em diferentes temperaturas. (a) solução A; (b) solução B; (c) solução C; (d) solução D; (e) solução E; (f) solução F.

Ao avaliarmos os parâmetros das equações ajustadas, verificou-se que, para as soluções A, B, C, D, E e F, não há diferença estatística, ($P < 0,05$ pelo teste t), entre as equações obtidas para as temperaturas de 50 e 60°C. No entanto, a equação obtida pela solução A, a temperatura de 70°C, também não difere estatisticamente das equações obtidas pela solução A, a temperatura de 50 e 60°C. Para a solução B, pode-se observar que a equação obtida à temperatura de 40°C, não houve diferença estatística pelo teste t, quando comparada a equação obtida à temperatura de 50 e 60°C. Enquanto a solução C e E, verificou-se que as equações obtidas às temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C não apresentam diferença estatística. Já a solução D e F, observou-se que as equações obtidas para as temperaturas de 40 e 50°C não diferenciaram entre si estatisticamente, o mesmo foi observado para as equações obtidas a temperatura de 50, 60 e 70°C.

5 CONCLUSÕES

- O Modelo Exponencial de dois termos se ajustou melhor aos dados experimentais para perda de água, pois os valores de R^2 variaram entre 94,65% a 99,93%.
- Verificou-se que a perda de água para todos os tratamentos ocorreu mais intensamente nos primeiros 150 min, momento em que já se havia perdido em média 50% do conteúdo de água a ser alcançado no equilíbrio.
- A Função Logística apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais para o ganho de SST, pois seus valores de R^2 variaram entre 87,7% a 99,2%.
- Houve aumento dos SST nos frutículos de jaca em todos os tratamentos, mas a solução A (100% sacarose) e a temperatura de 70 °C proporcionaram um maior ganho de SST ao longo de todo o processo de desidratação osmótica.
- O modelo Decaimento Exponencial de um termo apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais para o pH, pois seus valores de R^2 variaram entre 80,5% a 98,2%.
- Houve um decréscimo do pH nos frutículos de jaca em todos os tratamentos, mas a solução A (100% sacarose) em sua maioria, e a temperatura de 70 °C exibiram um maior decréscimo de pH ao longo de todo o processo de desidratação osmótica.
- A Função Logística apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais para a ATT, os seus valores de R^2 variaram entre 89,5% a 99,4%.
- Houve um aumento da ATT nos frutículos de jaca em todos os tratamentos. Pode-se concluir que os parâmetros obtidos por cada equação, ao estudar o efeito de cada solução em cada temperatura, que não apresentaram diferença estatística. Ao estudar o efeito de cada temperatura em cada solução, conclui-se que a temperatura de 70 °C apresenta um maior aumento da ATT em todas as soluções.
- Com relação a todos os parâmetros o melhor tratamento no geral foi obtido com o uso da temperatura de 70 °C e solução de 100% sacarose.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, S.A.C., METRI, J.C., BARROS NETO, B., GUERRA, N.B. Desidratação osmótica de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2 p.276-281. 2003.

ANGELINI, R. **Desidratação osmótica de kiwi (*Actinidia deliciosa* L.) estudo da reutilização da solução osmótica**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Alimentos, UNICAMP. Campinas, 2002. 106p.

ANTONIO, G. C. **Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa do processo de desidratação osmótica de banana nanica (*Musa cavendishi*) e de mamão formosa (*Carica papaya* L.)** Dissertação de mestrado em Engenharia de Alimentos. UNICAMP, 2002. 104p.

A.O.A.C. Association of Official Analytical chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**, Williams, S. (Ed.) 14 Ed. Arlington, 1984. 1141p.

ARAÚJO, E. A. F. **Estudo da cinética de secagem de fatias de banana nanica (*Musa acuminata* var. *Cavendish*) osmoticamente desidratadas**. Dissertação de Mestrado. Campinas: FEA/Unicamp, 2000 94p.

ASKAR, A.; HEIKAL, Y.; GHONAIM, S. M.; ABDEL-FADEEL, M. G.; ALI, A. M.; ABD EL-GAIED, I. O. Osmotic and solar dehydration of peach fruits. **Fruit Processing**, v.7, p.258-262, 1996.

ATKIMSOM, F. E., STRANCHAN, C. C., MOLYS, A. W., KITSON, J. A. Improvements in the candying of fruits. **Food Technology**, n. 9, p. 431 – 436, 1952.

AZOUBEL, P.M. **Influência de pré-tratamento na obtenção de produtos secos de caju (*Anacardium occidentale* L.)**. Tese Doutorado em Ciência de Alimentos. Campinas: UNICAMP. 2002. 154p.

AZUARA, E.; CORTÊS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 27, p. 409–418, 1992.

BARRUFFALDI, R.; OLIVEIRA M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, 316p.

BE MILLER, J.N., WHISTLER, R.L. **Carboidratos**. In: FENNEMA, O.R. Química de los alimentos. 2. ed. Zaragoza: Acribia,, 2000. 345p.

BENNETT, A. H. Precooling fruit and vegetables. **Transactions of the ASAE**, v.7, n.3, p.265 – 270, 1964.

BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E., CORTES, R.; GARCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 25, p. 576-582, 1990.

- BOBBIO, F.; BOBBIO, P.; **Introdução á química de Alimentos**. São Paulo: Varela, 1992. 742p.
- BOLIN, H.R., HUKSOLL, C.C., JACKSON, R., NG, K.C Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, v.48 n.5, p.202- 205, 1983.
- BORGES, S.V.; MENEGALLI, F.C. Influência da desidratação osmótica sobre a cinética de secagem de manga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.29, n.4, p.637-642, 1994.
- CABRAL, A. C.; SALES, A. M.; TRAVAGLINI, D. E.; ARDITA, E. F. G.; SILVEIRA, E. T. F. S.; DELAZARI, I.; AGUIRRE, J. M.; TRAVAGLINI, M. M. E.; OKADA, M.; LEITÃO, M. F. F.; NETO, R. O. T.; PICCHI, V. **Curso de alimentos desidratados**. Campinas: ITAL, 1979. v. 2, 338p.
- CARDOSO ANDRADE, S.A., BARROS NETO, B., NÓBREGA, A.C., AZOUBEL, P.M., GUERRA, N.B. (2007) Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana* L.). **Journal of Food Engineering**, v78: 551-555.
- CAVALCANTE, P.B. Frutas comestíveis da amazônica. Belém-PA, 6ed. 1996, 276p.
- CHITARRA, M.I.F.: CHITARRA, A B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças. Fisiologia e manuseio**. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE), ESAL 1990. 293p.
- CRANE, J.H., BALERDI, C.F. CAMPBELL, R.J. The Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) in FLORIDA. FACT SHEET HS882. HORTICULTURAL SCIENCES DEPARTMENT, FLORIDA COOPERATIVE EXTENSION SERVICE, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville 2002. 12p..
- EL-AOUAR, A.A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya* L.)** Dissertação Mestrado.Campinas: UNICAMP. 2001. 113p.
- ERTEKIN, F. K.; ÇAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, p. 87-104, 1996.
- FALCONE, M.A.; SUAZO, V.A.T. **Desidratação osmótica do abacaxi (*Ananas comosus* L.)**. Parte I. Boletim da SBCTA, Campinas, v. 22, n. 1/2, p. 17-35, 1988.
- FERRAZ, M. A.; SILVA, C. A. B.; VILELA, P. S. **Programa de Desenvolvimento da Fruticultura no Estado de Minas Gerais: Caracterização da Agroindústria de Frutas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, nov/2002. 17p. Disponível em <<http://www.faemg.org.br/arquivos/AgroindustriasMG.pdf>>. Consultado em 21/03/2007.
- FORNI, E., SORMANI, A., SCALISE, S., TORREGIANI, D. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehidrofrozen intermediate moisture apricots. **Food Research International**, v.2, n.30, p.87-94, 1997.
- GALLI, D. C.; BILHALVA. A. B.; RODRIGUES, ROSANE da S., RODRIGUES, LESSANDRA, S. Influência da composição do xarope nas características físico químicas de pêssegos tipo passa. **Revista Brasileira de Agrociência**. v. 2, n. 3, p. 179-182, 1996.

- GIANGIACOMO, R., TORREGGIANI, D., ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugar and Extracting Syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, n.11, p.183-195, 1987.
- GIRALDO, G., TALENS, P., FITO, P., CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, n.58, p.33-43, 2003.
- GROSSO, A. L. **Candies and glaces fruit**. Refineas de Maiz S.A.I.C., Argentina, 1972, 169p.
- HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2, p. 265-284, 1978.
- IAL – NORMAS ANALITICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo. O Instituto. V.I. 1985.
- JACKIX, M. H. **Doces, geléias e frutas em calda**. São Paulo: Ícone, 1988, p. 61- 83 190p.
- JAY, J. M. **Microbiologia moderna de los alimentos**. 3 ed. Zaragoza: Acribia, 1994. 760p..
- JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. Dehydration of Fruits and Vegetables – Recent Developments in Principles and Techiques. **Drying Technology**, v. 10, n. 1, p. 1-50, 1992.
- KARATHANOS, V. T.; KOSTRAPOULOS, A. E.; SARAVACOS, G. K. Air-drying of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**. v. 13, n. 5 -7, p. 1503-1521, 1995.
- KHOYI, M.R., HESARI, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, n.30, p.1-6, 2006.
- KOWALSKA, H., LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, n.49, p.137-140, 2001.
- KROS, R. K. **Estudo da secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum L.*) com pré-tratamento osmótico: efeito do epicarpo e do encolhimento**. Dissertação de Mestrado. Campina Grande: DEAg/ Universidade Federal da Paraíba, 2002. 117 p.
- LAJOLO, F. M. **Regulação do amadurecimento de frutas e controle da senescência**. Boletim da SBCTA. Campinas, SP. N. 48, 1979, 145p.
- LAZARIDES, H.N. **Osmotic Preconcentration: Developments and Prospects**. In: SINGH, R.P. E OLIVEIRA, F.A.R. (Eds.) *Minimal processing of foods and process optimisation*. An Interface. Boca Raton: CRC Press, p. 73–85, 1994.
- LAZARIDES, H.N., GEKAS, V. MAVROUDIS, N. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. **Journal of Food Engineering**, n.31, p.315-324, 1997.
- LENART, A. Osmo-convective, drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, p. 391-413, 1996.
- LENART, A., PIOTROWSKI, D. Drying characteristics of osmotically dehydrated fruits coated with semipermeable edible films. **Drying Technology**., v.19, n.5, p.849-877, 2001.

LEWICKI, P.P., LUKASZUK, A. Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. **Journal of Food Engineering** n.45 p.119-126, 2000.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUZA NETO, M. A.; SOUZA, A. C. R. Estudo das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de melão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. V.24, n.2 Campinas, abr/jun 2004.

LINDLEY, M. G. The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables. **Trends in Food Science e Technology**, v. 9, p.336-340, 1998.

LOPÉZ-MALO, A. Self stable high papaya minimally processed by combined methods. **Food Research Internacional**, Oxford edition, v. 27, n. 4, p. 545-553. 1994.

MARTIN, N.B. **Valor da produção agropecuária paulista em 2003 atinge R\$ 24,55 bilhões**. São Paulo: IEA, Instituto de Economia Agrícola, 2003. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=870>>. Acesso em 20 ago. 2006.

MAURO, M. A.; GARCIA, C. C.; KIMURA, M. Effects of osmotic dehydration on air-drying and on characteristics of dried pumpkin (*Cucurbita moschata*) In: ENPROMER 2005 - 2ND MERCOSUR CONGRESS ON CHEMICAL ENGINEERING / 4TH MERCOSUR CONGRESS ON PROCESS SYSTEMS ENGINEERING, 2005, Rio de Janeiro, Brazil. Anais do Enpromer 2005. 1 CD-ROM.

MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of bananas (*Musa cavendish* Lambert), **International Journal of Food Science and Technology**. v.30, p.199-202, 1995.

MELO, G. L.; VIEIRA, G.; ARAÚJO, A.; VIEIRA I.; MAGALHÃES, J. T.; LACERDA, T. Caracterização das propriedades físicas, físico-químicas e microbiológicas da jaca in natura e desidratada. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UESC, 11., 2005, Ilhéus. Anais... Ilhéus: Universidade Estadual de Santa Cruz, 2005. Disponível em: <http://www.seminarioicuesc.com.br/sistema/resumos/11_pag104.PDF>. Acesso em: 02 mar. 2007.

MITRA, S.K. AND MAITY, C.S. A summary of the genetic resources of jackfruit (*artocarpus heterophyllus* lank.) in west bengal, india. *Acta Horticulturae* v.27.n575 p.269-271 2002.

NOBEL, P.;S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, 1991, 635 p.

OLIVEIRA, L.P. Seleção e aproveitamento biotecnológico de frutos encontrados na Amazônia para elaboração de bebida alcoólica fermentada utilizando levedura imobilizada. Tese (Doutorado em Biotecnologia) Universidade Federal do Amazonas/PPGCIFA, 2006. 177p.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 97, 2002.

PEREIRA, L.G.R, MARTINS M. R, AZEVÊDO J.A.G., OLIVEIRA L.S., BARREIROS D.C, FERREIRA A,L, BRANDÃO L.G.N., FIGUEIREDO, M.P. Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal *in vitro* da jaca dura e mole (*Artocarpus heterophyllus*). **Livestock Research for Rural Development**. v. 19, n.3, p.65-76,2007.

PONTING, J.D., WARRERS, G.G., FORREY, R.R., JACKSON, R., STANLEY, W.L. Osmotic dehydration os fruits. **Food Techonology**, n.20, p.1365-1368, 1966.

QI, H.; LE MAGUER, M.; SHARMA, S. K. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. **Journal of Food Processing and Engineering**, v. 21, p. 75-88, 1998.

QUEIROZ, V.A.V., FERREIRA, K.S., MONNERAT, P.H., QUEIROZ, L.R., DOLINSKI, C. Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Se contents in fruits consumed in Brazil. *Nutrire: Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição*. v.2., n.31, p.61-73, 2006.

QUINTERO-RAMOS, A.; DE LA VEJA, C., HERNANDEZ, E.; NZADUAMORALES, A. Effect of conditions of osmotic treatment on the quality of dried apple pieces. **Aiche Symposium Series**, v. 89, p. 108-103, 1993.

RAHMAN, S.; LAMB, J. Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. **Journal of Food Process Engineering**, v. 14, p. 163-171, 1991.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, p. 255-260, 1994.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: fickian diffusion in cylindrical configuration. **Journal of Food Engineering**. v. 31, p. 423-432, 1997.

ROCHA, J. L. V.; SPAGNOL, W. A. **Armazenamento de gêneros e produtos alimentícios**. Secretaria da Industria e Comércio, Ciências e Tecnologia. São Paulo, SP, 1983p, 1983.

RODRIGUES, A. E. **Desidratação osmótica e secagem de maçãs. I-Comportamento do tecido em soluções osmóticas. II- Modelagem matemática da difusão**. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2003. 122p.

SALVATORI, D., ANDRÉS, A., CHIRALT, A. e FITO, P. Osmotic dehydration progression in apple tissue. I: Spatial distribution of solutes and moisture content. **Journal of Engineering**. n., p.125-132, 1999.

SANTOS, C. de N. P. dos. **Elaboração de um estruturado de polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv *Tommy Atkins*) parcialmente desidratada por osmose**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. Campinas, 2003. 79 p.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVESI, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001 215p.

SCHOTTLER, P.; HAMATSCHEK, J. Application of decanters for the production of tropical fruit juices. **Fruit Processing**, v. 4, n. 1, p. 198-301, 1994.

SERENO, A. M.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p. 43-49, 2001.

SHIGEMATUSU, E. **Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica e a secagem de carambolas**. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2004. 105p.

SILVA, F. D. Desidratação osmótica de banana da terra (*Musa sapientum*) aplicação de modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n 1, p. 69-76, 2003.

SILVEIRA, E.T.F., RAHMAN, M.S., BUCKLE, K.A. Osmotic dehydration of pineapple: kinetics and product quality. **Food Research International**, 29(3- 4): 227-233, 1996.

SIMAL, S.; DEYA, E.; FRAU, M.; ROSSELLO, C. Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 139-150, 1997.

SOUZA, S. **Desenvolvimento experimental de passas de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Campina Grande: DEAg/Universidade Federal da Paraíba, 1999. 117 p.

SOUZA NETO, M.A., MAIA G.A., LIMA, J.R., FIGUEIREDO, R.W., SOUZA FILHO, M.S.M., LIMA, A.S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis do processo. **Ciências Agrotécnicas**, v. 29, n.5 p.1021-1028, 2005.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, n.26, p.59-68, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 2, p. 247- 256, 2001.

UBOLDI EIROA, M. N. Atividade de água: influência sobre o desenvolvimento de microrganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 18, n. 3, p 353 – 383, 1981.

VAN ARSDEL, W. B.; BROWN, A. H. **Drying rates and estimation of drier capacity**. In: VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN JÚNIOR, A. I. Food dehydration, 2ª ed. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company Inc., 1973. v. 1, p1-82.

VIBERG, U., FREULER, S., VASSILIS, G., SJÖHOLM. Osmotic Pretreatment of Strawberries and Shrinkage Effects. **Journal of Food Engineering**, n.35, p.135-145, 1998.