

**SAMARA ALVACHIAN CARDOSO ANDRADE**

**OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO  
JENIPAPO (GENIPA AMERICANA L.)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição, Área de concentração: Ciência de Alimentos, do Departamento de Nutrição, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Como requisito à obtenção do Grau de Doutor.

**Orientadora:**

Profa Dra. Nonete Barbosa Guerra

**Co-orientador:**

Prof Dr. Benício de Barros Neto

RECIFE – PE

2005

**Otimização da desidratação osmótica do jenipapo  
(*Genipa americana* L.).**

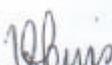
**SAMARA ALVACHIAN CARDOSO ANDRADE**

Tese defendida e aprovada em 23.12.2005.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA:

  
Profª Zelyta Pinheiro de Faro – Presidente

  
Profª Alda Verônica de Souza Livera

  
Profª Valdinete Lins e Silva

  
Profª Patrícia Moreira Azoubel

  
Profª Yeda Medeiros Bastos de Almeida

A minha mãe  
**Oneide** pelo grande carinho e  
incentivo na vida profissional.

Aos meus filhos,  
**José Victor** e **Marielle**, pelo  
Incentivo e paciência em todas  
As horas .

Ao meu irmão  
**Carlos** , **Martha**, **Pedro** e  
**Cecília** pelo apoio que sempre  
me deram.

## AGRADECIMENTOS

- À Deus que por permitir a realização de mais uma etapa de minha vida.
- À Profa Nonete Barbosa Guerra pela amizade, apoio, incentivo, orientação e contribuição à minha formação científica.
- Ao Prof. Benício de Barros Neto pela orientação durante as etapas de realização deste trabalho.
- Ao Prof. Sebastião Beltrão de Castro que sempre incentivou a realização deste trabalho.
- Às Professoras Silvana Magalhães Salgado, Alda Verônica de Souza Livera, Margarida Angélica Vasconcelos e Zelyta Pinheiro de Faro pela amizade, atenção e apoio durante esta caminhada.
- À Profa. Yeda Medeiros pelo apoio, amizade e colaboração .
- À Patricia Moreira Azoubel pela amizade e apoio na realização deste trabalho.
- À Adriano Cavalcanti Nóbrega pela dedicação durante os experimentos.
- À Danisco Brasil LTDA pela doação do alginato e pectina
- À Fátima Padilha, Luciana Lima, Neide Shinohara, Marta Assunção, Karla Suzane , Eriane e Juliana Metri pela apoio, amizade e atenção.
- Ao Laboratório de Experimentação e Análises de Alimentos (LEAAL) do Departamento de Nutrição – UFPE, pelo apoio nas realizações dos experimentos.
- À Cristina Malta, pelo auxílio na revisão do português e na padronização das referências bibliográficas.
- À secretaria de pós – graduação Nocy por estar sempre disponível a nos ajudar.
- À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram pela realização deste trabalho.

## RESUMO

---

---

---

Problemas detectados na desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.) relativos à incorporação de sólidos, motivaram a presente pesquisa com o objetivo de otimizar o processo. Na sua implementação foram realizados estudos cinéticos por meio de planejamento fatorial  $2^2$ , para determinar a influência das variáveis independentes: concentração do agente osmótico e tempo de imersão sobre os coeficientes de difusão da água e da sacarose. Na seqüência, com o objetivo de diminuir a incorporação de sólidos foi aplicado um planejamento fatorial  $2^3$ , para avaliar a influência das variáveis independentes: temperatura, tipo de cobertura e geometria sobre a perda de umidade, ganho de sólidos, variação de peso e DEI (Dehydration Efficiency Index). A partir dos resultados destas etapas procedeu-se a otimização do processo por meio da metodologia de superfície de resposta utilizando o planejamento  $2^2$ , para determinar a melhor temperatura e concentração da solução osmótica. Os resultados demonstraram: a influência da concentração da solução osmótica sobre o coeficiente de difusão da sacarose; que o emprego de geometria de quarto e de revestimentos comestíveis resultou em significativa redução do ganho de solutos e satisfatória perda de umidade, independentemente da temperatura que não apresentou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre as respostas, diferindo da concentração do agente osmótico que influenciou sobre todas elas com exceção do ganho de sólidos. As melhores condições, utilizando o DEI como parâmetro, foi a 50°C e 57°Brix.

**ABSTRACT**

---

---

---

Problems detected in the osmotic dehydration of jenipapo related to solids uptake, motivated the present research with the objective of optimizing the process. In its implementation kinetics studies were performed by means of factorial design  $2^2$ , to determine the influence of independent variables: osmotic agent concentration and immersion time over the water diffusion coefficient and of sucrose. After, a factorial design  $2^3$  was applied in order to reduce solids uptake, to evaluate the influence of independent variables: temperature, type of coating and geometry over moisture loss, solids uptake, weight variation and DEI. From the results of these stages, the optimization of the process by means of response surface methodology (RSM) utilizing the factorial design  $2^2$  was performed, to determine the best temperature and osmotic solution concentration. The results showed: the influence of the osmotic solution concentration over the sucrose diffusion coefficient; that the use of geometry in fourths and edible coatings resulted in significant solids uptake reduction and satisfactory moisture loss, regardless of temperature that did not show significant effect over the responses, unlike the osmotic agent concentration that influence over all of them with the exception of solids uptake the best conditions, utilizing the DEI as parameter were at 50°C and at 57°Brix.

# SUMÁRIO

	Pág.
<b>LISTA DE FIGURA</b>	10
<b>LISTA DE TABELA</b>	13
<b>1 – INTRODUÇÃO</b>	15
<b>2 – REVISÃO DA LITERATURA</b>	18
2.1 – Aspectos gerais do jenipapo	19
2.2 – Desidratação osmótica	20
2.3 – Filmes comestíveis	22
2.3.1 – Alginatos e pectinas de baixa metoxilação	24
2.3.2 – Emprego de revestimentos (fimes e coberturas) em alginatos	27
2.4 – cinética da desidratação osmótica	31
2.5 – otimização do processo	33
2.6 – referências bibliográficas	34
<b>3 – OBJETIVOS</b>	48
3.1 – Objetivo geral	49
3.2 – Objetivo específicos	49
<b>4 – PLANO DE TRABALHO</b>	50
<b>5 – RESULTADOS</b>	52
5.1 – Avaliação do coeficiente de difusão da água e da sacarose durante a desidratação osmótica do jenipapo ( <i>Genipa americana L.</i> )	53
5.1.1 – Resumo	54
5.1.2 – Introdução	55
5.1.3 – Material e Métodos	56
5.1.4 – Resultados e discussão	59
5.1.5 – Conclusões	64
5.1.6 – Referências bibliográficas	65
5.2 – Influência de revestimentos comestíveis na redução de ganho de sólidos em jenipapos desidratados osmoticamente	68
5.2.1 – Resumo	69
5.2.2 – Introdução	70

5.2.3 – Material e Métodos	70
5.2.4 – Resultados e discussão	76
5.2.5 – Conclusões	84
5.2.6 – Referências bibliográficas	84
<b>5.3 – Otimização da desidratação osmótica do jenipapo (<i>Genipa americana</i> L.)</b>	<b>87</b>
5.3.1 – Resumo	88
5.3.2 – Introdução	89
5.3.3 – Material e Métodos	90
5.3.4 – Resultados e discussão	92
5.3.5 – Conclusões	98
5.3.6 – Referências bibliográficas	98
<b>6 – CONCLUSÕES GERAIS</b>	<b>102</b>
<b>7 – ANEXO</b>	<b>104</b>
<b>8 – APÊNDICE</b>	<b>108</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

---

---

	Pág.
<b>Revisão da Literatura</b>	
Figura 1 – Esquema de transferência de massa na desidratação Osmótica	21
Figura 2 – Estrutura química da pectina	24
Figura 3 – (a) conformação dos monômeros que compõem os alginatos; (b) conformação da cadeia de alginato; (c) seqüência da cadeia de alginato	26
<b>Etapa 1</b>	
Figura 1 – Percentual de umidade em jenipapos tratados osmoticamente em solução de sacarose com ou sem agitação	57
Figura 2 – Cinética da perda de água no jenipapo durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose	60
Figura 3 – Cinética do ganho de açúcar no jenipapo durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose	60
Figura 4 – Efeitos das variáveis sobre o coeficiente de difusão para água e sacarose durante a desidratação osmótica do jenipapo	63
<b>Etapa 2</b>	
Figura 1 – Média da perda de umidade em função da temperatura, forma de corte da fruta e cobertura	81
Figura 2 – Média do ganho de solutos em função da temperatura, forma de corte da fruta e cobertura	82
Figura 3 – Média da variação de peso em função da temperatura, forma de corte da fruta e cobertura	82
Figura 4 – Média da razão $PU/GS$ (DEI) em função da temperatura, forma de corte da fruta e cobertura	83

### **Etapa 3**

- Figura 1 – Perda de umidade ( $PU$ ) em função da temperatura e concentração da solução osmótica, durante a desidratação osmótica do jenipapo 95
- Figura 2 – Variação de peso ( $VP$ ) em função da temperatura e concentração da solução osmótica, durante a desidratação osmótica do jenipapo 96
- Figura 3 – DEI:  $PU/GS$  em função da temperatura e concentração da solução osmótica, durante a desidratação osmótica do jenipapo 97

## LISTA DE TABELAS

---

---

---

<b>TABELAS</b>	<b>Págs.</b>
<b>Revisão da Literatura</b>	
Tabela 1 – Composição química da polpa do jenipapo	20
<b>Etapa 1</b>	
Tabela 1 – Variáveis independentes codificadas para a desidratação osmótica do jenipapo	56
Tabela 2 – Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão para água durante o tratamento do jenipapo	62
Tabela 3 - Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão para sacarose durante o tratamento do jenipapo	62
<b>Etapa 2</b>	
Tabela 1 – Níveis codificados das variáveis	72
Tabela 2 – Níveis codificados das variáveis	72
Tabela 3 – Níveis codificados das variáveis	73
Tabela 4 – Níveis decodificados das variáveis	73
Tabela 5 – Respostas das variáveis dependentes referentes aos ensaios de jenipapo sem revestimento (Tratamento A)	77
Tabela 6 – Respostas das variáveis dependentes referentes aos Ensaios de jenipapos revestidos com alginato (Tratamento B)	77
Tabela 7 - Respostas das variáveis dependentes referentes aos Ensaios de jenipapos revestidos com pectina (Tratamento C)	78
Tabela 8 – Determinação dos efeitos principais do planejamento $2^3$	81
<b>Etapa 3</b>	
Tabela 1 – Codificação dos níveis dos dois fatores	92
Tabela 2 – Valores da perda de umidade, ganho de sólidos, variação de peso e perda de umidade/ganho de sólidos referentes ao planejamento composto central	93
Tabela 3 – Valores dos coeficientes de regressão da modelagem das quatro respostas através da equação 4.	94

## INTRODUÇÃO

---

---

---

A industrialização constitui uma alternativa para reduzir os desperdícios nos frutos e hortaliças, principalmente no pico da safra, quando os preços são aviltados pelo excesso de oferta e pela concorrência com outras frutas.

Para minimizar este problema os tecnólogos de alimentos vêm utilizando diversos processos, como a secagem, com vistas a reduzir a atividade de água ( $A_w$ ) e, conseqüentemente, aumentar o tempo de vida útil.

Dentre os métodos de secagem, a desidratação osmótica apresenta-se como boa alternativa, por reduzir, em média, 20% a 50% da umidade inicial da fruta. Trata-se de processo que consiste na remoção parcial da água do alimento, por efeito de gradientes osmóticos entre o produto e uma solução hiperconcentrada de um soluto (agente osmótico), sensorialmente compatível com o alimento (LARANJEIRA, 1997).

Ao aplicá-lo ao jenipapo, Andrade et al. (2003) verificaram que, paralelamente à satisfatória redução de umidade, 37% a 60%, ocorreu uma indesejável incorporação de sólidos solúveis, efeito considerado adverso, por modificar as características organolépticas próprias e aumentar o peso do fruto, cuja redução é considerada uma das vantagens deste processo.

Analisando as causas deste problema, os pesquisadores acima citados constataram uma significativa influência da concentração do agente osmótico utilizado, possivelmente associada ao tamanho e à forma das partículas desidratadas. Estudos cinéticos realizados por Lericci et al. (1985) relatam um maior ganho de açúcar para maçãs em cubo, forma utilizada na desidratação osmótica do jenipapo, do que em fatias. Além destas variáveis, deve-se também considerar a temperatura que, acima de 60°C, afeta os tecidos dos frutos, favorecendo tanto a perda de umidade como o fenômeno de impregnação, ou seja, o ganho de açúcar.

Segundo a literatura, este comportamento pode ser contornado pelo emprego de revestimentos comestíveis que, por sua alta afinidade pela água e baixa afinidade pelo agente osmótico, constituem uma barreira à entrada de solutos, sem, contudo, interferir no fluxo de água para o exterior do alimento (CAMIRAND et al.1992).

Estas considerações demonstram a necessidade de implementar novas pesquisas voltadas para a determinação da cinética da desidratação osmótica do jenipapo, investigação do comportamento dos fatores cobertura, geometria, temperatura e concentração do agente osmótico, com o objetivo de otimizar a desidratação osmótica desta fruta.

## REVISÃO DA LITERATURA

---

---

---

## ASPECTOS GERAIS DO JENIPAPO

O jenipapeiro é considerado uma espécie vegetal de importância econômica, tanto pela sua essência florestal, quanto pela utilização dos seus frutos na produção de alimentos, principalmente de forma artesanal, como compotas, cristalizado, sorvetes, refresco, licor e vinho, pois são raramente consumidos “in natura” (SUDENE, 1971; CAVALCANTE, 1974; GOMES, 1989; FIGUEIREDO et al 1991).

Os frutos com 8 a 10cm de comprimento e 6 a 7 cm de diâmetro, pesando 200 – 400 gramas, são constituídos por uma casca enrugada, espessa, mole, parda ou pardacenta – amarelada, que representa 9,56% do total do fruto; 73,81% de polpa, com odor característico muito forte, sabor doce acidulado, envolvendo numerosas sementes achatadas (16,63%) (FIGUEIREDO, 1984; GOMES, 1989; CRESTANA, 1998).

Com relação à constituição química, o jenipapo, como a maioria dos frutos, apresenta alto conteúdo de umidade, baixo percentual de proteína e considerável teor de açúcares (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química da polpa do jenipapo

Composição Química	g/100g
Umidade	80,96
Proteínas (Nx6,25)	0,72
Lipídios	1,55
Cinzas	1,03
Açúcares totais	15,00

Fonte: Andrade (2001)

Para aumentar a estabilidade deste grupo de alimentos, torna-se necessário reduzir a umidade para um teor intermediário que, segundo Cabral e Décio (1981), pode ser obtido através da aplicação dos seguintes princípios tecnológicos:

- a) redução da atividade de água, pela adição de solutos, como sacarose, glicerol, glicose ou NaCl;
- b) retardamento do crescimento microbiano, pela adição de solutos, antimicóticos, como propileno glicol ou ácido sórbico.

Conforme Torreggiani (1993), a desidratação osmótica, que se fundamenta no primeiro dos princípios supra - citados, realiza uma dupla transformação no alimento: redução no teor de água e incorporação do soluto.

## **DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA**

É uma técnica eficiente e freqüentemente utilizada na preservação de frutas e hortaliças. Consiste na imersão, destas matérias – primas, inteiras ou em pedaços, em solução aquosa de açúcar ou sal, de pressão osmótica elevada, denominada agente osmótico, que acarreta, por diferença de gradiente, a remoção da água, de forma a reduzir a sua disponibilidade para deterioração microbiológica, química e biológica (PONTING et al. 1966; FALCONE; SUAZO, 1988; LIU, 1992; TORREGGIANI, 1993).

Devido à diferença de concentração entre o agente osmótico e a fruta, durante o processo, são criados dois fluxos simultâneos em contra corrente (Figura 1), através das paredes celulares: um de água que sai da fruta para a solução – o mais importante, do ponto de vista da desidratação – e outro de soluto (sal ou açúcar), da solução para o alimento. Além destes, ocorre um terceiro, que consiste na perda de açúcares, minerais, entre outros nutrientes que, embora, proporcionalmente insignificante em relação aos dois fluxos principais, exerce importante papel sobre a qualidade organoléptica (aroma,

cor, textura) e nutricional (minerais e vitaminas) do produto (PONTING, 1973; TORREGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994).

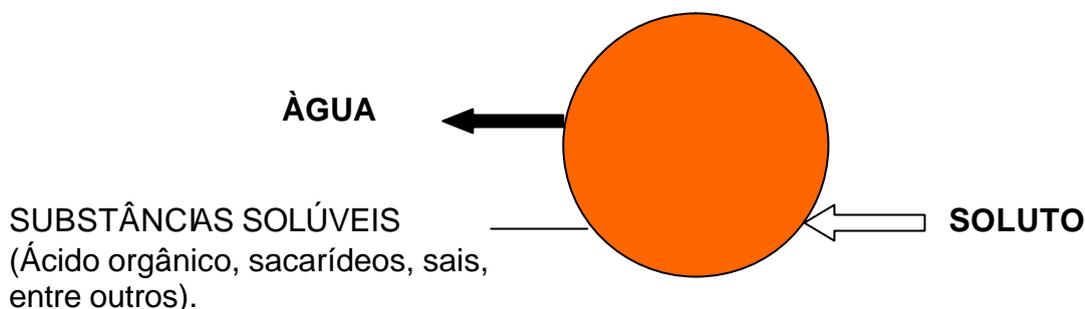


Figura 1 – Esquema de transferência de massa na desidratação osmótica

A desidratação osmótica aplicada como processo prévio à desidratação propriamente dita, reduz o gasto de energia e melhora a qualidade sensorial do produto (BOLIN et al., 1983; RAOULT-WACK, 1994). Segundo Azeredo e Jardine (2000), esta prática resulta na obtenção de produtos estáveis à temperatura ambiente e com características similares às da fruta “in natura”.

Acresça-se ainda os achados de Jayaraman, Gupta e Baburao (1990) e Karathanos, Kostaropoulos e Saravacos (1995) que, ao compararem couve flor e maçãs desidratadas, constataram que as primeiras, não tratadas osmoticamente, apresentaram rompimento das paredes celulares e perda da integridade da célula, enquanto as maçãs, tratadas osmoticamente, apresentaram maior perda de umidade do que as não tratadas.

A eficácia deste processo também foi verificada por Karmas, Buera e Karel (1992), ao detectarem maior estabilidade durante a estocagem de vegetais.

Os resultados obtidos de um modo geral demonstraram que as características biológicas do tecido da fruta, tais como a diferença de variedade e porosidade da matéria – prima, constituem um fator - chave para o êxito do processo (TORREGGIANI; FORNI; RIZZOLO, 1987; TORREGGIANI et al, 1988), conforme comprovado por Rodriguez-Arce e Vega-Mercao (1991), em abacaxi e papaya que, sob condições idênticas de processo, apresentaram diferenciada absorção de açúcar.

De acordo com Lerici et al. (1985), a transferência de massa quanto ao ganho de açúcar, perda de umidade e redução de peso, é também favorecida pela geometria da fruta: cubo>fatia, anel>cubo e fatia e fatia>cubo respectivamente. Krokida et al. (2000) também constataram que a cinética de secagem a vácuo, microondas, congelamento e osmose foi grandemente afetada pelas características do tamanho das partículas de maçãs.

De acordo com Adambonou, Castaigne e Dillon (1983), a diferença entre as concentrações do produto e da solução desidratante tende a diminuir a cinética de transferência do soluto e água, fenômeno que ocorre em três fases, cuja determinação é imprescindível na otimização do processo, para avaliar a transferência de massa em função de suas variáveis.

## **FILMES COMESTÍVEIS**

Durante o manuseio, processamento e armazenamento, indesejáveis transferências de massa podem ocorrer entre alimentos que se encontram em um mesmo ambiente ou entre os próprios componentes do alimento, que se manifestam por alterações da textura, cor e gosto, implicando na redução do seu **shelf life** e do seu valor nutritivo (KROCHTA, 1992, citado por WU et al. 2002).

Como alternativa para o controle dessas transferências, pesquisas realizadas por diversos autores têm demonstrado a eficácia de coberturas

comestíveis que, além de agirem como barreira, geram uma atmosfera modificada adequada em torno do produto embalado e apresentam praticidade na sua aplicação (GUILBERT; GONTARD; GORRIS, 1996). Convém ressaltar que revestimentos comestíveis não substituem a embalagem, são na realidade coadjuvantes e, como tal, contribuem para controlar o fluxo de trocas entre o ambiente e o alimento; melhorar a qualidade dos alimentos; aumentar sua vida de prateleira; diminuir os custos de embalagens e melhorar a reciclagem dos materiais de embalagens, devido à redução de sua complexidade (KESTER; FENNEMA, 1986).

Os resultados obtidos incentivaram seu emprego pelas indústrias de alimentos. Os filmes comestíveis mais utilizados são formados a partir de polissacarídeos, lipídeos e proteínas e /ou misturas entre eles, que apresentam características funcionais distintas (KESTER; FENNEMA, 1986; CAMIRAND *et al.* 1992; GUILBERT; GONTARD; GORRIS, 1996; WILLIAMS; MITTAL, 1999; ALBERT; MITTAL, 2002). Os hidrocolóides, por exemplo, exibem propriedades de barreira para oxigênio, dióxido de carbono e lipídios (WILLIAMS; MITTAL, 1999), são considerados GRAS (Generally Recognized as Safe) pelo FDA (Food and Drug Administration) (PENNA, 2004), e largamente usados na indústria de alimentos (STEPHEN; CHURMS, 1995) como revestimentos, espessantes, agentes de suspensão, agentes de gelatinização, texturizadores, emulsificantes, estabilizadores, aditivos, antioxidantes, nutrientes, agentes antimicrobianos, controladores da inibição da sinérese (YOUNG; KAPPEL; BLADT, 2003; PENNA, 2004). Dentre eles, o alginato e a pectina destacam-se por serem utilizados em diversos sistemas alimentícios, graças à capacidade de formarem géis por meios químicos, diferindo dos outros hidrocolóides, nos quais os géis são formados termicamente (CLARKE; SOFOS; SCHMIDT, 1988; SAPERS, *et al.* 1997). A literatura contempla a aplicação destes filmes, como coadjuvantes em diversos processos tecnológicos, inclusive na desidratação osmótica, na qual controlam o fluxo do ganho de solutos pelo fruto (AZEREDO; JARDINE, 2000; ANDRADE *et al.* (dados não publicados), 2005; MATUSKA; LENART; LAZARIDES, 2006).

Diante da importância destes revestimentos, esta revisão visou avaliar o potencial de aplicação do alginato e pectina de baixa metoxilação.

## ALGINATOS E PECTINAS DE BAIXA METOXILAÇÃO

As pectinas, definidas, em 1951, como ácidos pécticos solúveis em água (JORDI, 1996), constituem um grupo complexo de polissacarídeos estruturais que ocorrem nas paredes celulares dos vegetais. Apresentam, como estrutura base, cadeias lineares de ácido poli – 1,4- $\alpha$ -D-galacturônico, com uma fração dos grupos carboxila esterificados com metanol, conforme figura 2 (OAKENFULL, 1987; THAKUR; SINGH; HANDA, 1997).

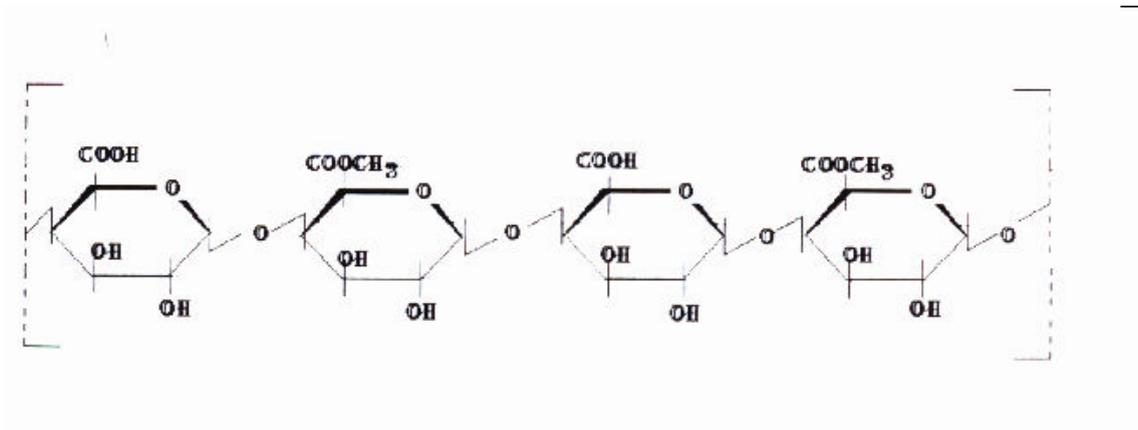


Figura 2. Estrutura química da pectina

Fonte: Laranjeira (1997).

As principais fontes para a produção comercial são os resíduos das indústrias de suco de maçã e de citros (SCHILLING; LEONHARDT, 1999), amplamente utilizados na indústria de alimentos como agentes gelificantes (GOYCOOLEA; CÁRDENAS, 2001).

Nas pectinas naturais os grupos metoxílicos esterificados podem chegar até 13%, o que significa uma esterificação de aproximadamente 80% dos seus grupos carboxílicos, motivo pelo qual são denominados pectinas de alto teor de grupos metoxila ou pectina (ATM). Para formar géis, estas pectinas requerem: a presença de um co-soluto, tipicamente sacarose, em concentrações na faixa

de 55 a 80% e pH ácido, na faixa de 2,8 a 3,7 (OAKENFULL; SCOTT, 1985; OAKENFULL, 1987; NISPEROS-CARRIEDO, 1994). Diferindo, portanto, das pectinas de baixo teor de grupos metoxílicos (BTM) (< 7%) e dos alginatos, que gelificam facilmente em presença de íons divalentes, dos quais o Ca é o mais empregado, prescindindo da adição de ácido e sacarose (MAY, 1992; NISPEROS-CARRIEDO, 1994). Esta é uma das mais importantes propriedades dos alginatos, responsável por um grande número de suas aplicações na indústria de alimentos (SIMPSON et al. 2003).

Para formulação de coberturas à base de pectina de baixa metoxilação, Camirand et al. (1968) sugeriram a concentração de 2%; enquanto Lewicki, Lenart e Pakula (1984) e Camirand et al. (1992), de 2,5% e 3%, respectivamente, as quais, segundo Guilbert (1986), se caracterizam por serem macias, claras, inodoras e com leve sabor salgado.

Os alginatos extraídos de algas marrons, como *Laminaria digitata* e *Macrocystis pyrifera*, são copolímeros lineares de dois monômeros, ácido  $\alpha$ -L-gulurônico (G) e ácido  $\beta$ -D-manurônico (M), associados por ligações 1,4-glicosídicas (HANG, 1959; GRASDALEN; LARSEN; SMIDSROD, 1981; KING, 1983; MOE et al. 1995; DRAGET; SKJAK-BRAEK; SMIDSROD, 1997) (Figura 3a), formando o ácido algínico que, embora não seja solúvel em água, seus sais de sódio, potássio e amônio o são (PENNA, 2004).

A principal forma comercial do alginato é o sal de sódio, suas soluções apresentam alta viscosidade aparente, mesmo a baixas concentrações, devido ao seu alto peso molecular e à sua estrutura rígida (KENNEDY; GRIFFITHS; ATKINS, 1984).

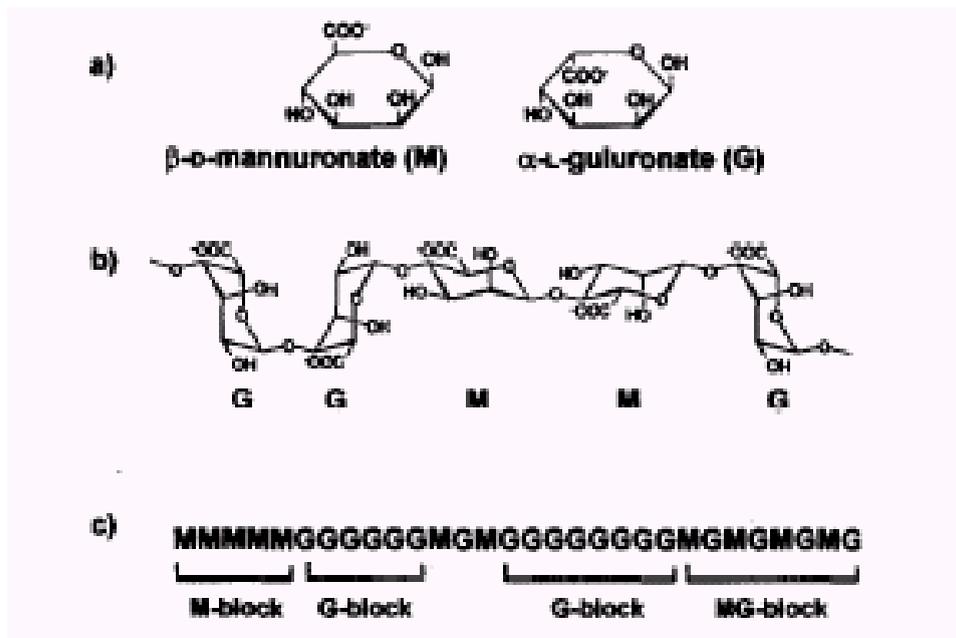


Figura 3: (a) conformação dos monômeros que compõem os alginatos; (b) conformação da cadeia de alginatos; (c) seqüência da cadeia de alginato.

Fonte: Draget; Skjak-braek; Smidsrod (1997).

As moléculas de alginato contêm 3 tipos de regiões (ou blocos): as regiões ricas em ácido manurônico (bloco M), as ricas em ácido gulurônico (bloco G) e aquelas em que a seqüência de resíduos é alternada ou aleatória (blocos MG) (Figuras 3b e 3c) (MORRIS,1990; SMIDSRD; DRAGET,1997; DRAGET; SKJAK-SMIDSRD, 1997; MILLER; KROCHTA,1997). Os blocos G têm uma forma desorganizada enquanto os blocos M são mais lineares e extensos (HOWELL et al. 1998). A proporção entre os diferentes ácidos componentes dos alginatos (G/M) depende da espécie de alga da qual ele foi extraído, de suas condições de crescimento e da parte da alga da qual o alginato foi derivado (KENNEDY; GRIFFITHS; ATKINS, 1984).

A formação de géis ocorre por meio de ligações iônicas de dois grupos carboxilas de cadeias adjacentes com um íon  $\text{Ca}^{+2}$  (GRANT et al. 1973). Os alginatos poli -G, por apresentarem formato retorcido, são mais reativos, formando géis duros que mantêm sua integridade por longo período de tempo, do que os do tipo poli-M, de formato mais linear (BLANDINO; MACÍAS; CANTERO, 1999; STABLER *et al.* 2001). Para formar filmes resistentes a partir de alginatos ou pectinas de baixa metoxilação, Camirand et al. (1992)

recomendam que as frutas sejam imersas em uma solução destes polissacarídeos e, a seguir, em solução de um sal de cálcio (CaCl<sub>2</sub>).

## **EMPREGO DE REVESTIMENTOS (FILMES E COBERTURAS) EM ALIMENTOS**

Embora a maioria dos autores utilize indiscriminadamente os termos filme e cobertura para se referirem aos revestimentos comestíveis, Guilbert (1986) e Camirand *et al.* (1992) fazem a seguinte distinção: coberturas são aplicadas e formadas diretamente sobre a superfície do alimento, enquanto os filmes são pré-formados e posteriormente aplicados sobre o produto. Filmes e coberturas comestíveis podem, portanto, ser definidos como uma fina camada de material, aplicado sobre a superfície dos alimentos por diversas técnicas (imersão, pincéis ou spray), que funcionam como barreira seletiva contra a migração de gases, vapor, óleos, gorduras e soluto, proporcionando ainda uma proteção mecânica e estendendo seu **shelf life** (KESTER; FENNEMA, 1986; KROCHTA; BALDWIN; NISPEROS-CARRUDO, 1994; KOELSCH, 1994; NUSSINOVITCH, 1997; MILLER; KROCHTA, 1997; XU; XU; CHEN, 2003). A permeabilidade dos polímeros, que é influenciada pela estrutura química, cristalinidade, polaridade, densidade, orientação molecular, grau de ligação entre moléculas, peso molecular, polarização, etc. (CUQ et al., 1995 apud WU et al. 2002), encontra-se diretamente associada à propriedade de barreira dos filmes obtidos, do permeante e da interação entre ambos (SHELLHAMMER; KROCHTA, 1997, apud WU, et al. 2002).

De acordo com Guilbert, Contard e Gorris (1996), filmes constituídos por polímeros polares de carboidratos ou proteínas são altamente sensíveis a umidade e mostram-se pobres propriedades de barreira ao vapor d'água. No que diz respeito ao alginato de sódio, foi constatado menor permeabilidade ao vapor d'água em comparação aos filmes de pectina de baixa ou alta metoxilação (PARRIS et al. 1995). Estas evidências levaram Wu et al. (2000) a

definir a permeabilidade como uma propriedade do complexo filme-permeante sob determinadas condições de temperatura e atividade de água.

Posteriormente (2002) estes autores salientaram que a maioria das pesquisas sobre filmes comestíveis tem sido voltada para avaliar a permeabilidade ao oxigênio e ao dióxido de carbono, pela sua influência na oxidação e respiração, em alimentos embalados, em detrimento da permeabilidade ao vapor d'água, fator da maior importância para a comprovação da eficácia dos filmes e coberturas.

A diversidade de aplicação destas coberturas pode ser avaliada através de pesquisa, como a de Wanstedt et al. (1981), que verificaram a redução da rancidez em carnes de porco revestidas com alginato de cálcio, antes ou após o pré-cozimento, bem como uma melhor qualidade do produto final cozido, ratificando o observado por Earle e Snyder (1966), em camarões congelados, no que diz respeito ao "flavor" e à cor.

Anos após, Hershko, Nussinovitch (1998) apud Hershko, Nussinovitch (1998), comprovaram a eficácia do revestimento de alginato, em cogumelos, ao constatarem um adiamento do ressecamento dos tecidos, que impediu mudanças em sua textura durante o período de estocagem, além de melhor aparência e brilho.

Estes benefícios também foram observados por Nussinovitch e Kampf (1993), em cogumelos (*Agaricus bisporus*) revestidos com alginato a 1% (estocados a 20°C) e a 1 e 2% (estocados a 4°C), que mantiveram sua integridade, melhor aparência e coloração, em relação aos não cobertos, independentemente da concentração utilizada, embora mais evidentes nesta última condição de armazenamento.

Vantagens similares foram observadas ao aplicar a cobertura de alginato em alho (HERSHKO; NUSSINOVITCH, 1995) e cebola, principalmente quando revestida com alginato associado ao  $\beta$  sitosterol (HERSHKO; NUSSINOVITCH, 1998).

Estes mesmos autores, em pesquisa anterior (1996), obtiveram um aumento da comercialização do alho, devido à melhora da aparência pela transparência do revestimento, como também extensão da vida de prateleira. Comportamento similar foi relatado por Kampf e Nussinovitch (2000), ao revestirem queijos brancos, quanto à redução da perda de peso durante 46 dias de estocagem e da perda de água por evaporação, além de melhor brilho e cor, textura mais macia e menos quebradiça, comparados aos não revestidos.

Cobertura de alginato com propriedades para barrar oxigênio foi desenvolvida por Earle e Mckee (1985), em alimentos empanados e derivados de farinha.

De acordo com Young, Kappel e Bladt (2003), a gelificação é de fundamental importância nos recheios de pastelaria, como um meio de controlar a textura. Alginatos e pectinas têm sido muito eficazes em recheios de frutas, para manter a estabilidade de produtos de panificação, no que concerne à forma e redução de sinérese após assado ( ENDREB; KRATZ; KRATZ,1992; MANCINI; MCHUGH, 2000 ). Recentemente, de acordo com Baeva e Panchev (2005), nenhuma mudança visível foi detectada em bolo dietético (sem açúcar) revestido com filme de pectina, em relação ao controle, sem revestimento.

Ao comparar o efeito da combinação de cloreto de cálcio e pectina ou alginato de sódio em diferentes níveis nos revestimentos de batatas fritas, Khalil (1999) constatou que, tanto os revestimentos simples como os duplos foram efetivos em proteger a estrutura celular do tecido das batatas dos danos produzidos durante a fritura e que os melhores resultados com relação à redução do conteúdo de óleo foram obtidos pela combinação de 0,5% de cloreto de cálcio + 5% de pectina.

Recentemente, foi observada também a eficácia do alginato como estabilizante, prevenindo a separação de camadas em sucos de vegetais combinados (repolho+espinafre+alface) (MIN; CHUNLI; PING, 2004).

Pesquisa realizada por Nisperos e Baldwin (1996) demonstrou que a aplicação de revestimento em cortes de frutas, com polissacarídeos hidrossolúveis, permitiu um fluxo relativamente intenso de água da fruta para o exterior, baixa permeabilidade a gases, geração de uma atmosfera modificada, com concentrações relativamente altas de CO<sub>2</sub> e baixas de O<sub>2</sub>, que resultaram na redução das taxas de respiração e da produção de etileno.

Outra vantagem apresentada por estes filmes comestíveis comprovadas por Xu, Chen e Sun (2001) ao recobrirem kiwis, diz respeito à redução da taxa de amolecimento dos frutos para 29%, em relação ao controle, em 37 dias de estocagem à temperatura ambiente, triplicando sua vida de prateleira.

Baseados em positivos resultados obtidos com o revestimento de abacaxis com 2% de pectina de baixa metoxilação, seguido de imersão em solução de nitrato de cálcio, quanto à redução de peso, Camirand et al. (1968) propuseram a adoção desta prática anteriormente à aplicação do processo de desidratação osmótica. Neste mesmo fruto, Azeredo e Jardine (2000) encontraram 44,46% de perda de umidade, ao desidratá-lo sem cobertura, e 60,87% e 59,26% com cobertura de alginato e pectina, respectivamente. Resultados similares foram obtidos quanto à redução da incorporação de sólidos pelo material revestido com alginato e pectina (6,74% e 7,96%, respectivamente) em relação ao não revestido (17,66%), comprovando os efeitos benéficos da utilização da cobertura no controle da incorporação de sólidos durante a desidratação osmótica, com ligeira superioridade do alginato.

Utilizando revestimento à base de pectina de baixa metoxilação a 2,5%, na desidratação osmótica de maçãs, Lewicki, Lenart e Pakula (1984) referiram um maior teor de sólidos solúveis nas amostras não revestidas, embora a perda de peso nas revestidas tenha sido inferior às não revestidas.

Estes resultados levaram Xu, Xu e Chen (2003) a considerar os revestimentos comestíveis como uma efetiva técnica de preservação de frutas, por inibirem a troca de gases, controlarem a taxa de respiração, reduzirem a perda de nutrientes e de água por evaporação, prevenirem o crescimento de

microrganismos, mantendo as frutas com aparência fresca e aumentando seu brilho superficial, agregando, portanto, um maior valor comercial.

## **CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA**

No processo de desidratação osmótica ocorrem períodos dinâmicos e de equilíbrio (RAHMAN, 1992). Nos primeiros, a taxa de transferência pode aumentar ou diminuir até alcançar o equilíbrio, que caracteriza o fim do processo osmótico, no qual a taxa do transporte de massa é zero. A determinação do ponto de equilíbrio é necessária para entender o mecanismo envolvido no sistema (BARAT; CHIRALT; FITO, 1998), e permitir o desenvolvimento de modelos teóricos, com a finalidade de calcular os parâmetros do referido processo (LENART; FLINK, 1984).

Tentativas têm sido feitas por diferentes grupos para modelar o processo de desidratação osmótica. Biswal e Maguer (1989) desenvolveram um modelo quantitativo para desidratação osmótica de cenouras em etanol e cloreto de sódio, baseado na simples teoria de equilíbrio usando polinômios. No mesmo ano, Toupin, Marcotte e Maguer. e Toupin e Maguer desenvolveram um modelo para melhor entender o fenômeno de transferência de massa e como ele é influenciado por propriedades das células do tecido.

No processo de desidratação osmótica de alimentos a transferência de massa tem sido normalmente avaliada pela segunda lei de Fick, na qual são estimados os coeficientes de difusão de umidade e do ganho de soluto, explicando assim o mecanismo de transporte (LAZARIDES; GEKAS; MAVROUDIS, 1997). Segundo Azoubel e Murr (2004), é difícil estabelecer comparações entre as difusividades reportadas na literatura, devido às variações existentes na composição e estrutura física dos alimentos e os diferentes modelos e métodos empregados para estimá-las.

Na teoria difusional de Fick, o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido. Segundo a solução analítica para a lei de Fick, proposta por Crank (1975), considerando a distribuição de

umidade inicial uniforme e a ausência de qualquer resistência térmica para uma placa plana infinita, temos:

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

$X$  = umidade média no tempo (t);

$X_{eq}$  = umidade de equilíbrio;

$X_0$  = umidade inicial;

$D$  = coeficiente de difusão;

$t$  = tempo;

$L$  = meia espessura da placa.

Segundo Azuara, Beristain e Garcia (1992), as equações utilizadas para descrever a cinética do processo osmótico são complexas e geralmente específicas, para certas condições de processo e configurações geométricas, além de não predizerem o ponto de equilíbrio. Diante disto, a partir de um balanço de massa, os autores encontraram uma equação capaz de prever a cinética de desidratação osmótica e o ponto final de equilíbrio, sem a necessidade de alcançá-lo, utilizando apenas um curto período de tempo. O modelo pode ser usado para caracterizar a desidratação osmótica de diferentes tipos de alimentos, sem restrições de geometria, e foi aplicado na determinação da cinética de transferência de massa de tomate-cereja (AZOUBEL; MURR, 2000), mamão (EL-AOUAR, 2001) e maçãs (KAYMAK-ERTEKIN; SULTANOGLU, 2000) desidratados osmoticamente, apresentando um ajuste satisfatório aos dados experimentais.

Utilizando uma configuração cilíndrica para a banana e baseada na segunda lei de difusão de Fick, Rastogi, Raghavarao e Niranjam (1997) estudaram a transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica e constataram um alto grau de correlação entre os valores experimentais e teóricos, entre 25-35°C e concentração de 40-70°Brix. A partir desta lei, foram desenvolvidos modelos associados à informação da cinética de

equilíbrio, para a desidratação osmótica de maçã (MOSALVE-GONZÁLEZ; BARBOSA-CÁNAVOS; CAVALIERI, 1993; PENAGIOTOU; KARATHANOS; MAROULIS, 1998), banana e kiwi (PENAGIOUTOU; KARATHANOS; MAROULIS,1998).

Segundo Raoult-Wack (1994), a transferência de massa ocorre principalmente durante as duas primeiras horas, para a perda de água, e durante os trinta primeiros minutos, para o ganho de açúcar. A partir deste ponto, a velocidade de transferência torna-se progressivamente lenta até estacionar a perda de água, enquanto o ganho de açúcar continua a aumentar, até alcançar o equilíbrio, ressaltando, como visto anteriormente, que esta transferência depende do tipo de fruta. Torreggiani, Forni e Pizzolo (1987), ao desidratarem osmoticamente cerejas a 25°C, alcançaram maior ganho de açúcar nas duas primeiras horas.

Estas considerações enfatizam a necessidade da realização de estudos cinéticos para conhecer o comportamento da transferência de massa em função da matéria - prima a ser processada.

## **OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO**

O progresso de uma investigação experimental, a partir de uma situação praticamente sem nenhuma informação, até a construção de um modelo, engloba: a – planejamentos fatoriais fracionários – utilizados para fazer uma triagem inicial dos fatores; b- planejamentos fatoriais completos – para avaliar quantitativamente a influência das variáveis sobre a resposta de interesse, bem como suas possíveis interações; c - metodologia de superfície de resposta (MSR) – quando o objetivo principal do pesquisador for otimizar o processo, isto é, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).

Em 1993, Quintero-Ramos et al., com objetivo de otimizar o processo, em maçãs, utilizaram um delineamento experimental composto rotacional central e analisaram os resultados através da Metodologia de Superfície de

Resposta. Tomando por base uma superposição de gráficos correspondentes a alguns parâmetros, os autores concluíram serem ótimas as condições de 8 horas de processo a 23,41°C, em xarope a 47,65°Brix, condições estas que levaram a uma perda de peso na faixa de 28,9 – 32,5%, e um teor de umidade final na faixa de 65,2% - 73,0%. Vijayanand, Chand e Eipeson (1995) utilizaram o mesmo procedimento para otimização da desidratação osmótica de couve - flor, obtendo as condições ótimas em 80°C, relação entre massa de salmoura e massa couve - flor, 1:2; concentração de NaCl na salmoura 12% e tempo 5 minutos, atingindo 40% de remoção de água e 4,2% de incorporação de NaCl.

Recentemente, Júnior et al. (2002 a), Júnior et al. (2002b), Caliari et al. (2002 a), Caliari et al. (2002b), Caliari et al. (2002c) e Conceição et al. (2002) otimizaram a desidratação osmótica de beterraba (*Beta vulgaris L*), batata baroa (*Arracacia Xanthorrhiza*), pimentão (*Capsicum annum*), vagem (*Phaseolus vulgaris*), cará (*Dioscorea alata*) e mandioca (*Manihot esculenta*) obtendo uma perda de umidade máxima de 54%, 17%, 47%, 38%, 26% e 10% da massa inicial, respectivamente.

A partir dos resultados obtidos nestas pesquisas, pode-se afirmar que o emprego da MSR é recomendado para otimizar esses processos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMBONOU, T. L.; CASTAIGNE, F.; DILLON, J.C. Abaissement de l'activité de l' eau de legumes tropicaux par déshydratation osmotique partielle. **Science Aliments**, v.3,p.551-567,1983.

ALBERT, S.; MITTAL, G.S. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep fried cereal product. **Food Research International**, v.35, p.445-458, 2002.

ANDRADE, S. A.C. **Desidratação osmótica do Jenipapo (*Genipa americana L.*)**. 2001. 63f. Tese (Mestrado em Ciências de Alimentos) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

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

ANDRADE, S. A.C.; BARROS NETO, B.; SALGADO, S.M., GUERRA, N.B. Influencia de revestimentos comestíveis na redução de ganho de sólidos em jenipapos desidratados osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 2005 (dados não publicados).

AZEREDO, H. M. C.; JARDINE, J. G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1,p.74-82, jan./abr.2000.

AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mathematical modelling of the osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum var.cerasiforme*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.2,p.228-232,2000.

AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mass tranfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.291-295, 2004.

AZUARA, E.; BERINSTAIN, C.I.; GARCIA, H.S. Development of a mathematical model to predict kinetcs of osmotic dehydration. **Journal of Food Science Technology**, v.29, n.4, p.239-242, 1992.

BAEVA, M.; PANCHEV, I. Investigation of the retaining effect of a pectin-containing edible film upon the crumb ageing of dietetic sucrose-free sponge cake. **Food Chemistry**, v.92, p.343-348, 2005.

BARAT, J.M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to structure. **Journal of Food Science**, v.63, p.836-840, 1998.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da Universidade Estadual de Campinas, 2001. 299 págs.

BISWAL, R.N.; MAGUER, L. Mass transfer in plant materials in contact with aqueous solutions of ethanol and sodium chloride: Equilibrium data. **Journal of Food Process Engineering**, v.11, p. 159-176, 1989.

BLANDINO, A.; MACÍAS, M.; CANTERO, D. Formation of calcium alginate gel capsules: influence of sodium alginate and CaCl<sub>2</sub> concentration on gelation kinetics. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.88, n.6, p.686-689, 1999.

BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C.; JACKSON, R.; NG, K. C. Effect of Osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, v.48, p.202-205, 1983.

CABRAL, A.C.; DÉCIO, D. A . Alimentos desidratados -Conceitos básicos para sua embalagem e conservação. **Boletim do ITAL**, Campinas, v.18, n.1,p.1-65,1981.

CALIARI, M.; JUNIOR, M.S.S.; SIMÃO, L. O.; SILVA, M.C.O. **Otimização da desidratação osmótica de pimentão (*Capsicum annuum*) através de superfície de resposta**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18., 2002, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: SBCTA, 2002 a.

CALIARI, M.; JÚNIOR, M.S.S.; NERY, F.C.; MANDETTA, L.L. **Otimização da desidratação osmótica de vagem (*Phaseolus vulgaris*) através de superfície de resposta**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18., 2002, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: SBCTA, 2002 b.

CALIARI, M.; JUNIOR, M.S.S.; CONCEIÇÃO, M.P.J.; COSTA, G.; FERNANDES, F.; VIEIRA, C. **Otimização da desidratação osmótica e análise sensorial de Cará (*Dioscorea alata*) através de superfície de resposta**. In:

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18., 2002, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: SBCTA, 2002c.

CAMIRAND, W.M. et al. Dehydration of membrane coated foods by osmosis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.19, p.472-473, 1968.

CAMIRAND, W. M.; KROCHTA, J.M.; PAVLATH, A .E.; WONG, D.; COLE, M.E. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymers**, Great Yarmouth, v.17, n.1, 39-49, 1992.

CAVALCANTE, D. P. **Frutas comestíveis da amazônia II**. Belém, 1974. Publicações avulsas nº 27.

CLARKE, A.D.; SOFOS, J.N.; SCHMIDT, G.R. Effect of algin calcium binder levels on various characteristics of structured beef. **Journal of Food Science**, v.53, p.711-713, 1988.

CONCEIÇÃO, M.P.J.; SOARES, J.R.; CALIARI, M.; SENNE, C.; CERQUEIRA, D.; GOMES, V. **Otimização da desidratação osmótica e análise sensorial de mandioca (*Manihot esculenta*)**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18., 2002, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: SBCTA,, 2002.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414p.

CRESTANA, C.S.M. Recrutamento de plântulas de genipa americana L. (Rubiaceae) em mata ripária. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.10, n.1, p.1-15, 1998.

DRAGET, I.K.; SKJAK-BRAEK, G.; SMIDSROD, O. Alginate based in new materials. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.21, p.47-55, 1997.

EARLE, R.D.; MCKEE, D.H. **Coated food product and method of making same**, United States Patent US 4504502, 1985.

EARLE, R.D.; SNYDER, C.E. **Method of preparing frozen seafood**, United States Patent US 3255021, 1966.

EL-AQUAR, A.A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya L.*)**. Campinas, 2001, 113f. Dissertação (Mestrado - Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ENDREB, H.V.; KRATZ, R.; KRATZ, E. Bake stable fruit preparation fillings. Conference proceedings. Netherlands: **Expoconsul Publishers**, 1992. p.212-217.

FALCONE, M. A.; SUAZO, C. A.T. Desidratação osmótica do abacaxi (*Ananás comosus*, (L.) Merrill). Parte I: Influência da temperatura e concentração do xarope sobre a velocidade de secagem. **Boletim da SBCTA**, Campinas, v.22, n.1/2, p.17-35, jan/jun. 1988.

FIGUEIREDO, R.W. **Estudo da industrialização do jenipapo (*Genipa americana L.*)**. Fortaleza, 1984. 171 p. Tese (Mestrado - Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1984.

FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; MONTERO, J. C. S.; FIGUEIREDO, E. A. T. Ácidos graxos na fração lipídica da polpa e semente do jenipapo (*Genipa americana L.*) **B. CEPPA**, Curitiba, v.9, n.2, p.149-154, jul./dez.,1991.

GOMES, R.P. **Fruticultura brasileira**. 11ed. São Paulo: Nobel, 1989.p.278-281.

GOYCOOLEA, F.M.; CÁRDENAS, M.C. Propriedades gelificantes de La pectina del nopal, 2001. Disponível em <[www.ciad.mx/boletin/sep-oct-01/boletin5.pdf](http://www.ciad.mx/boletin/sep-oct-01/boletin5.pdf)> acesso em: 20 de março, 2004.

GRANT, G. T.; MORRIS, E.R.; REES, D.A.; SMITH, J.P.C.; THOM, D. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model, **FEBS Letters**, v.32, p.195-198, 1973.

GRASCLALEN, H.; LARSEN, H.; SMIDSROD, O. C-NMR studies of monomeric composition and séquense in alginate. **Carbohydrates Research**, v.89, p.179-184, 1981.

GUILBERT, S. Technology and application of edible protective films. In: Mathlouthi, M. ed. **Food packaging and preservation: theory and practice**. . Elsevier applied science publishing company, p.371-394, 1986.

GUILBERT, S.; GONTARD, N.; GORRIS, L.G.M. Prolongation of the shelf life of perishable food products using biodegradable films and coatin. **Lebensm. Wiss. U. Technol.**, v.29, p.10-17, 1996.

HANG, A. Fractionation of alginic acid. **Acta Chemica Scandinavie**, v.13, p.601-603, 1959.

HERSHKO, V.; NUSSINOVITCH, A. **Shelf-life extension of hydrocolloid – coated garlic** (paper no 12E – 25). In: IFT Annual meeting. Anaheim, 1995. p. 3-7.

HERSHKO, V.; KLEIN, E.; NUSSINOVITCH, A. Relationships between edible coating and garlic skin. **Journal of Food Science**, v.61, n.4, p.769-777, 1996.

HERSHKO, V.; NUSSINOVITCH, A. Physical properties of alginate-coated onion (*Allium cepa*) Skin. **Food Hydrocolloids**, v.12, p.195-202, 1998.

HOWELL, N. et al. Interaction of deamidated soluble wheat protein with sodium alginate. **Food Hydrocolloids**, v.12, p.317-324, 1998.

JAYARAMAN, K.S.; GUPTA, D.K.D; BABURAO, N. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated culiflower. **International Journal of Food Science and Technology**, v.25, p.47-60, 1990.

JUNIOR, M. S. S.; CALIARI, M.; DITADI, F.G.; LIMA, J.C.S.; PAIVA, Z.C. **Otimização da desidratação osmótica de beterraba (*Beta vulgaris L.*)**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18, 2002, Porto Alegre. Anais.. Porta Alegre: SBCTA, 2002 a.

JUNIOR, M. S. S.; CALIARI, M.; CONCEIÇÃO, M. P. J.; FERNANDES, T.N.; JUNIOR, S;G; **Otimização da desidratação osmótica e análise sensorial de batata broa (*Arracacia xanthorrhiza*)**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18, 2002, Porto Alegre. Anais.. Porta Alegre: SBCTA, 2002 b.

JORDI, P.G. Degradación enzimática y características y químicas de la pectina del bagazo de melocotón,1996. Disponível em: [www.tdx.cesca.es/TDX-0.424101-101108/](http://www.tdx.cesca.es/TDX-0.424101-101108/), acesso em 19 de março ,2004.

KAMPF, N.; NUSSINOVITCH, A. Hydrocolloid coating of cheeses. **Food Hydrocolloids**, v.14, p.531-537, 2000.

KARATHANOS, V.T.; KOSTAROPOULOS, A .E.; SARAVACOS, G.D. Air drying of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, v.13, p. 1503-1521, 1995.

KARMAS, R.; BUERA, M.P.; KAREL, M. Effect of glan transition on rates of nenenzymatic browning in food systems. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.40, p.873-879, 1992.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46,p.243-250, 2000.

KENNEDY, J.F.; GRIFFITHS, A.J.; ATKINS, D.P. The applications of hydrocolloids recent developments, future yrends. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A. (Eds.). **Gum and stabilizers for the food industry**, 2: application of hidrocollids wrexhams. London:Pergamon Press, 1984.p.417-455.

KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, Chicago, v.40, n.12, p. 47-59, 1986.

KHALIL, A.H. Quality of french fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. **Food Chemistry**, v.66, p.201-208, 1999.

KING, A.H. Brow seweed extracts (alginates). In: GLICKSMAN, M. **Food Hydrocolloids**. Boca Raton: CRC Press, 1983. v.2, p.115-188.

KOELSCH, C. Edible water vapor barriers: properties and promise. **Trends in Food Science and Technology**. Cambridge, v.5, p.7681, 1994.

KROCHTAS, J.M.; BALDWIN, E.A.; NISPEROS – CARRUDO, M.O. **Edible coatings and films to improve food quality**. Lancaster: Tachnomic Publishing, 1994.

KROKIDA, M.K.; KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS,D. Drying related properties of apple. **Drying Technology**, v.18, n.6, p.1251-1267, 2000.

LARANJEIRA, H.C.A. **Otimização do processo de desidratação osmótica de abacaxi (Ananás comosus (L.) Merrill) para aplicação à tecnologia de métodos combinados.** Campinas, 1997. 100f. Tese (Mestrado - Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

LAZARIDES, H.N.; GEKAS, V.; MAVROUDIS, N. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. **Journal of Food Engineering**, v.31, p.315-324, 1997.

LENART, A.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmotic process. **Journal of Food Technology**, v.19, p.45-63, 1984.

LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; ROSA, M.D.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit – influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v.50, n.5, p.1217-1226, 1985.

LEWICKI, P.P.; LENART, A.; PAKULA, W. Influence of artificial semi-permeable membranes on the process of osmotic dehydration of apples. Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, AR. **Food Technology and Nutrition**, v.16, p.17-24, 1984.

LIU, H. A. Kinetic study of salt diffusion in potato at high temperature. **International Journal of Food Science and Technology** v.27, p. 443-455, 1992.

MANCINI, F.; MCHUGH, T.H. Fruit alginate interactions in novel restructured products. **Nahrung**, v.44, p.152-157, 2000.

MATUSKA, M.; LENART, A.; LAZARIDES, H.N. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. **Journal Food Engineering**, v.73, p.85-91, 2006.

MAY, C.D. Pectins. In IMESON, A. (Ed.). **Thickening and gelling agents for food**. Blackie Academic and Professional, 1992. p.124-152.

MILLER, K.S.; KROCHTA, J.M. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v.8, p.228-237, 1997.

MIN, Z.; CHUNLI, L.; PING, C. Effects of processing conditions of the green – leafy vegetable juice enriched with selenium on its quality stability. **Journal of Food Engineering**, v.62, p.393-398, 2004.

MOE, S.T.; DRAGET, D.I.; SKJAK-BRAEK, G.; SMIDSROD, O. Alginates. In: STEPHEN, A. M. (ed.) **Food polysaccharides and their applications**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.245-286.

MORRIS, E.R. Comparison of the properties and function of alginates and carragenan. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A. (Eds.). **Gum and Stabilizers for the food Industry**, 5. Oxford: Pergamon Press, 1990. p.483-496.

MOSALVE-GONZÁLEZ, A.; BARBOSA-CÁNAVOS, G.V.; CAVALIERI, R.P. Mass transfer and textural changes during processing of apple by combined methods. **Journal of Food Science**, v.58, p.1118-1124, 1993.

NISPEROS, M.O.; BALDWIN, E.A. Edible coatings for whole and minimally processed fruits and vegetables. **Food Australia**, Sydney, v.48, n.1, p.27-31, 1996.

NISPEROS-CARRIEDO, M.O. Edible coatings and films based on polysaccharides. In: KROCHTA, J.M.; BALDWIN, E.A.; NISPEROS-CARRIEDO, M.O., (Eds.). **Edible coatings and films to improve food quality**. Lancaster: Technomic Publishing, 1994. p.305-335.

NUSSINOVITCH, A.; KAMPF, N. Shelf life extension and conserved texture of alginate coated mushrooms (*Agaricus Bisporous*). **Journal of Food Technology**, v.26, p.469-475, 1993.

NUSSINOVITCH, A.; **Hydrocolloid applications, gum technology in the food and other industries**. London: Chapman & Hall, 1997.

OAKENFULL, D.; SCOTT, A.G. Gelation of high methoxy pectins. **Food Technology**, v.37, p.156-157, 1985.

OAKENFULL, D. Gelling agents. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.26, n.1, p. 1-21, 1987.

PARRIS, N. et al. Composition factors affecting the water vapor permeability and tensile properties of hydrophilic films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, n.6, p.1432-1435, 1995.

PENAGIOTOU, N.M.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Mass transfer in osmotic dehydration of some fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, v.33, p.267-284, 1998.

PENNA, A.L.B. Hidrocoloíedees – Usos em Alimentos. Caderno de Tecnologia de Alimentos & Bebidas, 58-64. Disponível [www.revistafi.com.br/main/revistas/ed\\_17/pdf/p&da.pdf](http://www.revistafi.com.br/main/revistas/ed_17/pdf/p&da.pdf), Acesso em: 15 de março de 2004.

POINTING, J. D. Osmotic dehydration of fruits – Recent modifications and Applications. **Process Biochemistry**, Watford, v.8, n.12, p.18-20, 1973.

POINTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, Chicago, v.20, n.10, p.1365-1368, 1966.

QUINTERO-RAMOS, A.; VEJA, C.; HERNANDEZ, E.; ANZALDUA-MORALES, A. Effects of the conditions of osmotic treatment on the quality of dried apple dices. **Aiche Symposium Series**, v.89, n.297, p. 108-113, 1993.

RAHMAN, M.S. Osmotic dehydration kinetics of food. **Indian Food Industry**, v.15, p.20-24, 1992.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v.5, n.8, p. 255 – 260, 1994.

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

RODRIGUEZ-ARCE, A. L.; VEGA-MERCAO, H. Osmotic drying kinetics of pineapple and papaya. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.75, n.4, p.371-382, 1991.

SAPERS, G.M.; COOKE, P.H.; HEIDEL, A .E.; MARTIN, S.T.; MILLER, R.L. Structural changes related to texture of pré-peeled potatoes. **Journal of Food Science**, v.62, p.797-803, 1997.

SCHILLING, A.; LEONHARDT, C. Pectina, 1999. Disponível em: [www.pgie.ufrgs.br/portalead/unirede/tecvege/feira/prfruta/geleia/pectina.htm](http://www.pgie.ufrgs.br/portalead/unirede/tecvege/feira/prfruta/geleia/pectina.htm), acesso em 10 de março de 2004.

SIMPSON, N.E. et al. NMR properties of alginate microbeads. **Biomaterials**, v.24, p.4941-4948, 2003.

SMIDSRÖD, O.; DRAGET, K.I. Alginate gelation technologies. In: DICKENSON, E.; BERGENSTAHL, B. (Eds.), **Food colloids, proteins, lipids and polysaccharides**. Royal Society of Chemistry, 1997. p.279-293.

STABLER, C. *et al.* The effects of alginate composition on encapsulated  $\beta$ TC3 cells. **Biomaterials**, v.22, p.1301-1310, 2001.

STEPHEN, A.M.; CHURMS, S.C. **Food polysaccharides and their applications**. New York: Marcel Dekker, 1995.p.1-18.

SUDENE. **Valor nutritivo e aproveitamento industrial das frutas regionais**. Recife, 1971. (Relatório final do Convênio SUDENE/Ministério da Agricultura).

THAKUR, B.R.; SINGH, R.K.; HANDA, A.K. Chemistry and uses of pectin – a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.37, p.47-73, 1997.

TORREGGIANI, D.; FORNI, E.; RIZZOLO, A. Osmotic dehydration of fruit. Part 2: Influence of the osmosis time on the stability of processed cherries. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.12, n.1, p.27-44, 1987.

TORREGGIANI, D.; GIAGIACOMO,R.; BERTOLO, G.; ABBO,E. Idoneità varietale delle percoche. **Industria Conserve**, v.63, p.223-228,1988.

TORREGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, London, v.26, n.1, p.59-68, 1993.

TOUPIN, C.J.; MARCOTTE, M.; MAGUER, L. Osmotically – induced mass transfer in plant storage tissues: a mathematical model. Part I. **Journal of Food Engineering**, v.10, p.13-38, 1989.

TOUPIN, C.J.; MAGUER, L. Osmotically – induced mass transfer in plant storage tissues: a mathematical model. Part II. **Journal of Food Engineering**, v.10, p. 97-121,1989.

VIJAYANAND, P.; CHAND, N.; EIPESON, W.E. Optimization of osmotic dehydration of cauliflower. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.27, n.4, p. 229 – 242, 1995.

WANSTEDT, K.G. *et al.* Sensory attributes of precooked, calcium alginate – coated pork patties. **Journal of Food Protection**, v.44, p.732-735, 1981.

WILLIAMS, R.; MITTAL, G.S. Water and heat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.32, p.440-445, 1999.

WU, Y.; WELLER, C.L.; HAMOUZ, F.; CUPPETT, S.L.; SCHENEPF, M. Moisture loss and lipid oxidation for precooked ground beef patties stored in edible coatings and films. **Journal of Food Science**, v.65, p. 300-304, 2000.

WU, Y. *et al.* Development and application of multicomponent edible coatings and films: a review. **Advances in Food and Nutrition Research**, v.44, p.347-394, 2002.

XU, S.; CHEN, X.; SUN, D.W. Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. **Journal of Food Engineering**, v.50, p.211-216, 2001.

XU, S.; XU, L.D.; CHEN, X. Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. **Computers & Operations**, v.30, p.877-886, 2003.

YOUNG, N.W.G.; KAPPEL, G.; BLADT, T. A polyuronan blend giving novel synergistic effects and bake-stable functionality to high soluble solids fruits fillings. **Food Hydrocolloids**, v.17, p.407-418, 2003.

## **OBJETIVOS**

---

---

---

## **Objetivo geral**

- Otimizar o processo de desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.)

## **Objetivos específicos**

- Determinar a cinética de transferência de massa e o coeficiente de difusão da água e da sacarose durante a desidratação osmótica do jenipapo;
- Avaliar a influência da geometria, cobertura, temperatura e concentração da solução osmótica sobre o DEI (Dehydration Efficiency Index).
- Estabelecer as melhores condições do processo para o fruto do jenipapo.

## **PLANO DE TRABALHO**

---

---

---

Este trabalho envolveu as seguintes etapas:

### **Etapa 1**

Avaliar a concentração de equilíbrio da água e sacarose no interior do fruto;  
Obter informações detalhadas sobre a cinética de perda de água e ganho de sólidos.

### **Etapa 2**

Avaliar a influência do tipo de cobertura e formas de corte na redução do ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica.

### **Etapa 3**

Definir as melhores condições de processamento.

## RESULTADOS

---

---

---

**AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE DIFUSÃO DA ÁGUA E DA  
SACAROSE DURANTE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO  
JENIPAPO (*Genipa americana L.*)\***

---

---

---

\* Aceito para publicação no Journal of Food Engineering, conforme especificado no Anexo A.

\* Parte deste trabalho foi apresentado no 6º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, Campinas, 2005 (Anexo B).

## RESUMO

Foram determinados os coeficientes de difusão da sacarose e água durante a desidratação osmótica de jenipapos. Os experimentos foram realizados com tempo longo de imersão (até 60h), com a finalidade de determinar a concentração de equilíbrio no interior do jenipapo, e com curto tempo de imersão (até 4h) no começo do tratamento osmótico, para fornecer informações detalhadas sobre a cinética da perda de água e ganho de sólidos. De acordo com os resultados, a taxa de transferência de massa da água e soluto, bem como o coeficiente de difusão da sacarose mostraram ser dependentes da concentração de sacarose da solução osmótica. O tempo de imersão não teve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) sobre os coeficientes de difusão da água e da sacarose.

Palavras - chave: coeficiente de difusão; perda de umidade; ganho de sacarose.

## INTRODUÇÃO

A maioria das frutas tropicais é altamente perecível, apresentando curta vida útil após colheita à temperatura ambiente, o que implica em perdas superiores a 30% da produção (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

Para reduzi-las, diversos pesquisadores utilizam processos de secagem, dentre os quais se destacam os tratamentos osmóticos, que vêm sendo utilizados principalmente como tratamentos prévios a alguns processos convencionais, tais como: congelamento (POINTING,1973); secagem por congelamento (HAWKES; FLINK,1978); secagem a vácuo (DIXON; JEN,1977) e secagem ao ar (NANJUNDASWAMY et al.,1978), a fim de melhorar a qualidade final, reduzir custos de energia ou mesmo para desenvolver novos produtos (SERENO; HUBINGER, 2001).

O processo de desidratação osmótica pode ser caracterizado por períodos dinâmico e de equilíbrio (RAHMAN, 1992). No período dinâmico, a taxa de transferência de massa aumenta ou diminui até alcançar o equilíbrio, ou seja, transporte de massa zero. O estudo deste equilíbrio é importante para entender o mecanismo de transferência de massa envolvido neste sistema (BARALT; CHIRALT; FITO, 1998), bem como empregar a lei de Fick, para difusão em sólidos não estacionários, em diferentes geometrias e, desta forma, estimar o coeficiente de difusão aparente da água e dos sólidos (SABLANI; RAHMAN, 2003).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o coeficiente de difusão aparente, baseado na solução analítica da segunda lei de Fick, para transferência de solventes e solutos durante a desidratação osmótica do jenipapo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Jenipapos (*Genipa americana* L.) maduros refrigerados foram adquiridos aleatoriamente em supermercado local (Recife-PE). As frutas foram selecionadas visualmente, pela cor (completamente marrom), tamanho (diâmetro médio de 9.0cm) e ausência de danos físicos. Em seguida, foram lavadas com água corrente, secadas com papel absorvente e cortadas em forma de quartos, dos quais foram removidas, manualmente, a casca e as sementes.

### Tratamento osmótico

Sacarose comercial dissolvida em água destilada foi usada como agente osmótico. Três níveis de concentração de sacarose (30ºBrix, 50ºBrix e 70ºBrix) foram selecionados para um planejamento fatorial 2<sup>2</sup>, incluindo o ponto central (BARROS NETO; SCARMINNIO; BRUNS, 2001). Estas concentrações foram escolhidas com base nos resultados obtidos por Andrade et al. (2003).

O planejamento experimental foi avaliado usando níveis codificados -1; 0 e 1. As variáveis independentes foram a concentração da sacarose e o tempo de imersão, e as variáveis dependentes os coeficientes de difusão da água e da sacarose (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis independentes codificadas para a desidratação osmótica do jenipapo.

Variáveis	Níveis codificados		
	-1	0	1
Sacarose (ºBrix)	30	50	70
Tempo (h)	4	32	60

O processo foi conduzido em Becker de vidro, de 2L, contendo as diferentes concentrações de solução osmótica, mantidas sob temperatura controlada ( $30 \pm 1^\circ\text{C}$ ). A relação amostra/solução foi de 1:20, com a finalidade de minimizar mudanças na concentração da solução durante a osmose. Em cada Becker foram colocados quartos de jenipapo, pré-pesados e identificados por linhas coloridas. O meio osmótico foi agitado continuamente, face aos resultados obtidos em experimentos preliminares, nos quais foi demonstrado que a agitação favoreceu a perda de umidade. Após 3 horas sob as mesmas condições, constatou-se perdas da ordem de 8,43% e de 11,90%, no que concerne à ausência e presença de agitação na condução do processo (Figura 1).

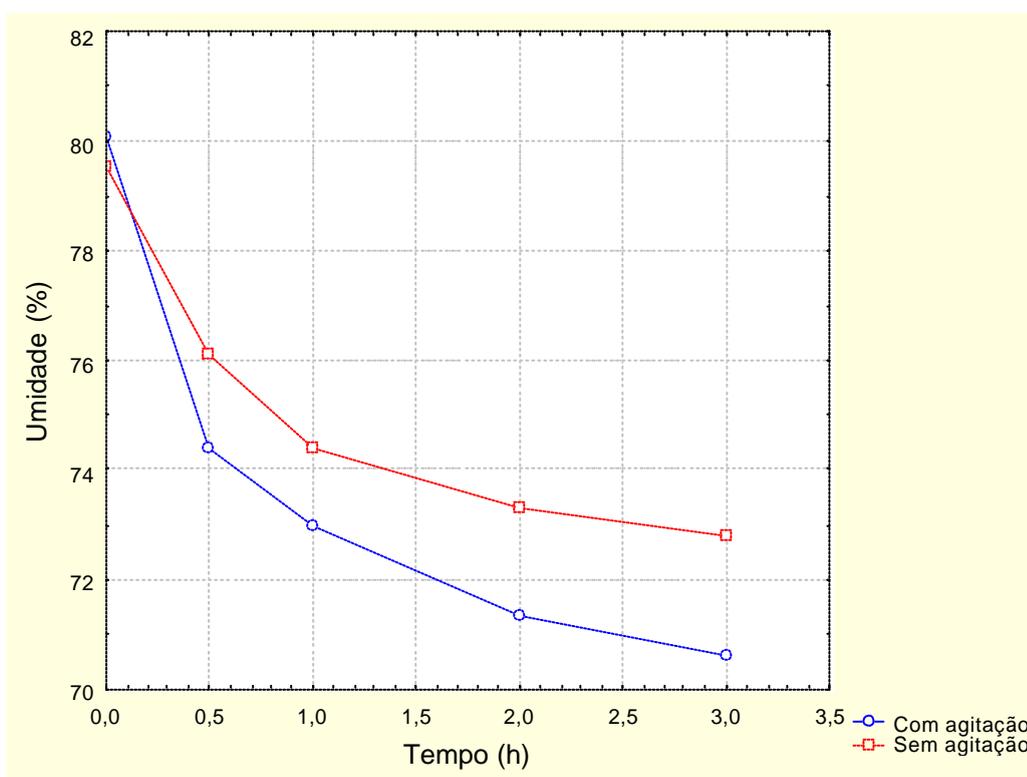


Figura 1. Percentual de umidade em jenipapos tratados osmoticamente em solução de sacarose com ou sem agitação

Em intervalos de tempo pré-determinados, amostras dos quartos de jenipapos foram retiradas dos beakers, para análise. Após drenagem por 1 min, secagem com papel absorvente para retirar o excesso de solução, as amostras foram pesadas.

As primeiras amostras foram retiradas em um curto tempo de intervalo: 0, 0.5, 1, 2, 3 e 4h, com a finalidade de obter informações detalhadas sobre a cinética da perda de água e o ganho de sólidos, enquanto as demais foram coletadas a 6,12,24,32,36,48 e 60h, para determinar a concentração de equilíbrio para água e sacarose.

### Métodos analíticos

A umidade foi determinada em estufa a 105°C, até peso constante (AOAC, 2002; Method 985.14) e os sólidos solúveis por refratômetro de bancada AUS JENA. Todas as análises foram feitas em triplicata.

### Procedimento matemático e análises estatísticas

A taxa de perda de umidade, durante a desidratação osmótica, foi calculada tendo por base a solução analítica da segunda lei de Fick (Eq.(1)) e a taxa de ganho de sólidos pela Eq.(2), uma modificação da Eq.(1) (TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004).

$$\frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}} = \frac{8}{\mathbf{p}^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \mathbf{p}^2 t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

$$\frac{C_o - C}{C_o - C_{eq}} = 1 - \frac{8}{\mathbf{p}^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \mathbf{p}^2 t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

Nas equações acima,  $X$  e  $C$  são o conteúdo de umidade e a concentração de açúcar, respectivamente, no tempo  $t$ ;  $X_o$  e  $C_o$  os valores iniciais destas variáveis, e  $X_{eq}$  e  $C_{eq}$  os valores de equilíbrio correspondentes.  $D$  é o coeficiente de difusão e  $L$  meia espessura da placa (alimento).

As amostras de jenipapo, durante a osmose, tiveram uma média de espessura de 0.9 cm, medida por paquímetro.

As análises dos resultados foram realizadas empregando-se o programa computacional Statistica 5.0 (Statsoft, 1997), ao nível de significância de 5%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nas figuras 2 e 3 observa-se que, de um modo geral, as velocidades de perda de umidade e de ganho de sólidos foram maiores nas primeiras horas de desidratação. A redução do conteúdo de água nas duas primeiras horas de desidratação osmótica foi de 10,59, 19,09 e 25,96%, para soluções de 30, 50 e 70°Brix, respectivamente, valores estes bem menores que os obtidos por Kowalska e Lenart (2001), ao desidratarem cenoura e abóbora, por 30 min, obtendo 47 e 50% de perda, respectivamente, em solução de sacarose de 61,5°Brix.

Após estas primeiras horas, os fluxos de massa tenderam a diminuir consideravelmente até que o equilíbrio fosse estabelecido no sistema fruto: solução osmótica. Este equilíbrio se deu em torno de 12, 24 e 32h de osmose para as soluções osmóticas de 30, 50 e 70°Brix, respectivamente, a partir do qual não foram observadas alterações significativas de perda de água e ganho de sólidos. Este comportamento diferiu do registrado por Askar et al. (1996), Palou et al. (1993) e Panagiotou, Karathanos e Maroulis (1999) que, na desidratação osmótica de diversas frutas, tais como mamão, pêssigo, maçã, banana e kiwi alcançaram o equilíbrio em torno de 4h.

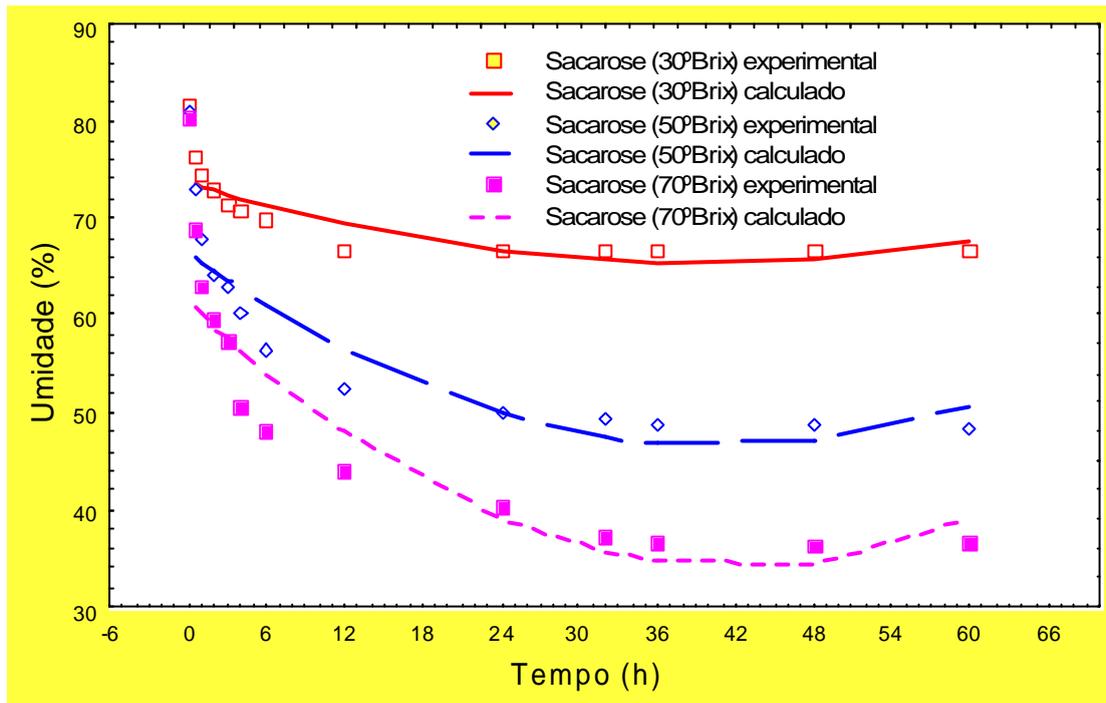


Figura 2. Cinética da perda de água no jenipapo durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose

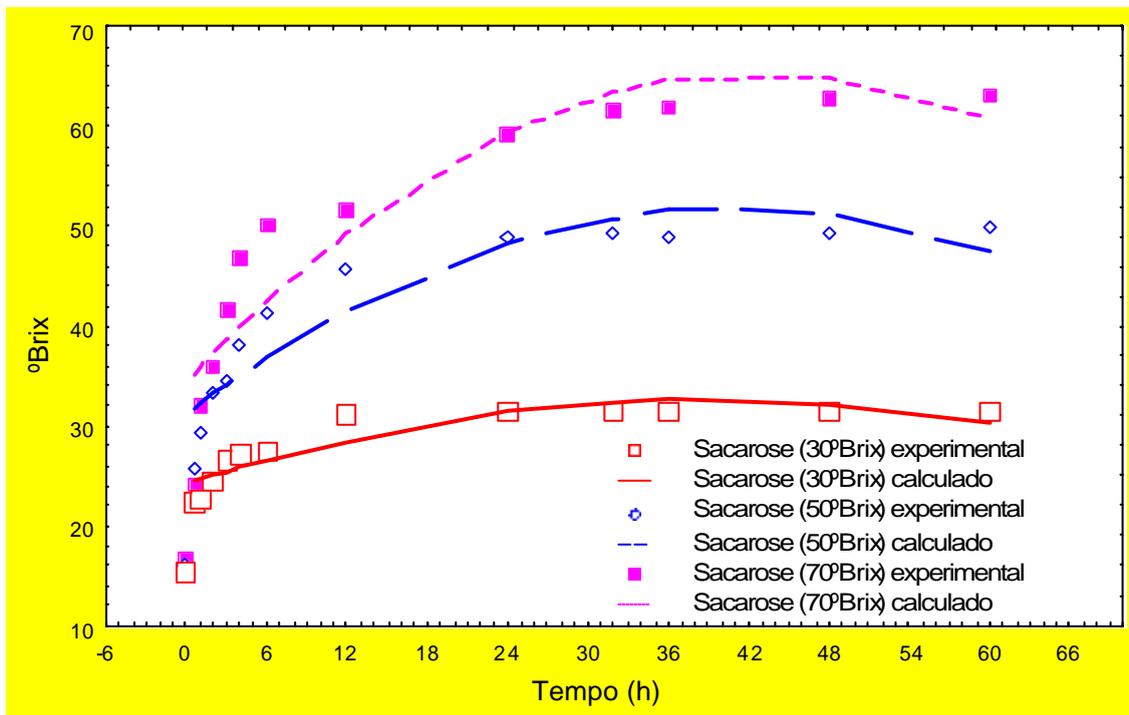


Figura 3. Cinética do ganho de açúcar no jenipapo durante o tratamento osmótico em soluções de diferentes concentrações de sacarose

Nas tabelas 2 e 3 são mostradas as concentrações de equilíbrio para água e sacarose, respectivamente, determinadas nos jenipapos tratados nas diferentes soluções osmóticas.

O fato deste equilíbrio ter requerido maior tempo para ser alcançado no jenipapo é provavelmente devido ao tipo de membrana diferencialmente permeável, ao invés de semipermeável (ANDRADE et al. 2003). Segundo Torreggiani, Forni e Rizzolo (1987), a perda de água e o ganho de açúcar são controlados, principalmente pelas características da matéria - prima.

Na figura 2 nota-se que o aumento da concentração da solução promoveu máxima perda de água durante o processo, devido ao aumento na pressão osmótica no exterior da fruta, conforme foi relatado por Mizkahi, Eichler e Ramon (2001). Efeito similar foi obtido para o ganho de açúcar (Figura 3), a exemplo do observado por Telis et al. (2004), ao desidratarem tomates. Este comportamento pode ser explicado, em parte, pela crescente perda de umidade das amostras, a qual causaria entrada de solutos para dentro da fruta (TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004).

Estes resultados demonstram que, embora as concentrações mais elevadas favoreçam a perda de água, implicam em maior ganho de sólidos. O ideal é, segundo Torreggiani (1993), favorecer a perda de água com o mínimo possível de ganho de sólidos, visto que a impregnação de solutos ao alimento poderá modificar as propriedades sensoriais e nutricionais do produto. Resultados anteriormente obtidos com o jenipapo desidratados osmoticamente, que apesar de alto ganho de açúcar, o produto final teve uma satisfatória aceitabilidade (ANDRADE et al.2003).

Três diferentes coeficientes de difusão aparente foram calculados para água e sacarose em condição de tratamento osmótico. O primeiro corresponde ao experimento realizado em curto período de tempo, no qual as amostras foram mantidas por 4 horas na solução osmótica. O segundo e terceiro, com períodos longos de 32 e 60 horas, respectivamente (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão para água durante o tratamento do jenipapo.

Ensaio	S (°Brix)	t(h)	Coeficiente de difusão D água ( $10^{-10}m^2/s$ )	Concentração de equilíbrio (g/100g)
1	30	4	7,38	
2	70	4	5,07	
2	30	60	6,90	66,60
3	70	60	4,62	36,60
4	50	32	4,31	48,80
5	50	32	5,98	49,20
6	50	32	5,05	49,00

S= sacarose (°Brix)

T = tempo (h)

Tabela 3. Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão para sacarose durante o tratamento do jenipapo.

Ensaio	S (°Brix)	t(h)	Coeficiente de difusão D sacarose ( $10^{-10}m^2/s$ )	Concentração de equilíbrio (g/100g)
1	30	4	8,35	
2	70	4	4,49	
2	30	60	7,72	31,0
3	70	60	3,99	62,4
4	50	32	4,91	49,1
5	50	32	5,35	49,3
6	50	32	5,40	49,2

S= sacarose (°Brix)

T = tempo (h)

A análise de variância do planejamento fatorial mostrou que o tempo de imersão não teve um efeito significativo ( $p>0,05$ ) sobre ambos os coeficientes (água e sacarose) (Figura 4), ao passo que as diferentes concentrações de sacarose utilizadas neste trabalho exerceram efeitos significantes ( $p<0,05$ ) sobre o coeficiente de difusão da sacarose, diferindo do registrado para a água ( $p>0,05$ ), embora o efeito principal de °Brix neste caso tenha sido 2,29 (Figura 4).

Nas tabelas 2 e 3 observa-se um comportamento inverso da concentração do xarope sobre os coeficientes de difusão da sacarose e da água, isto é, aumentando a concentração do xarope diminui o coeficiente de difusão da água e soluto. Estes resultados se contrapõem aos obtidos por Sablani, Rahman e Al-Sadeiri (2002) quanto ao coeficiente de difusão da água, embora concordantes com o coeficiente de difusão de sacarose, para uma mesma temperatura, ao desidratarem maçãs em cubos no xarope de açúcar de diferentes concentrações (30 a 70°Brix) e temperaturas (22 a 90°C).

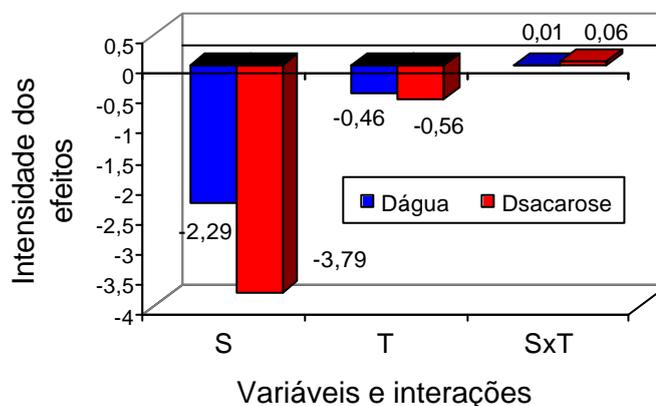


Figura 4. Efeitos das variáveis sobre o coeficiente de difusão para água e sacarose durante a desidratação osmótica do jenipapo. S: Sacarose (°Brix) e T: Tempo de imersão (h)

O coeficiente de difusão efetiva da água e sacarose variou de  $4,31 \times 10^{-10}$  para  $7,38 \times 10^{-10}$  e de  $3,99 \times 10^{-10}$  para  $8,35 \times 10^{-10}$ , respectivamente, dentro da faixa de concentração da sacarose e de temperatura estudadas neste trabalho. De acordo com Azoubel e Murr (2004), a comparação entre difusividades relatadas na literatura tornou-se difícil, devido aos diferentes métodos de estimação e modelos empregados, além da variação da composição e estrutura física dos alimentos. Como exemplo, temos Park et al. (2002) que, trabalhando com cubos de pêra, constataram variação do coeficiente de difusão de  $0,35 \times 10^{-9}$  a  $1,92 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  para perda de água, e de  $0,20 \times 10^{-9}$  a  $3,60 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  para ganho de açúcar, em diferentes temperaturas (40-60°C).

Apesar do tempo de imersão não ter influenciado os coeficientes, pode-se observar, nas tabelas 2 e 3 que, com o aumento do tempo de tratamento, considerando o mesmo °Brix, a taxa de difusão, tanto da sacarose como da água, diminui. Segundo Nsonzi e Ramaswamy (1998), a formação de uma camada de sacarose na superfície em volta do material biológico constitui uma barreira à perda de umidade das amostras e, conforme Telis, Murari e Yamashita (2004), quando a concentração de água e sacarose, dentro do fruto, aproxima-se do valor de equilíbrio, a taxa de difusão diminui, facilitando a redução do coeficiente de difusão. Segundo estes mesmos autores, conforme aumenta o tempo de imersão há uma modificação estrutural do tecido, principalmente da membrana das células, devido à longa exposição na solução osmótica.

## **CONCLUSÕES**

Os resultados demonstram que: o tempo de imersão não teve influência significativa sobre o coeficiente de difusão da água e da sacarose; a influência da concentração da solução osmótica foi restrita ao coeficiente de difusão da sacarose; e a máxima perda de umidade e o ganho de solutos pela fruta em estudo ocorreram na solução osmótica de maior concentração.

Os coeficientes de difusão aparente calculados para a água e a sacarose nas condições desta pesquisa encontram-se nas faixas de  $4,31 \times 10^{-10}$  a  $7,38 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s e de  $3,99 \times 10^{-10}$  a  $8,35 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AOAC **Official methods of analysis**, 13. ed. Washington, 2002.

ASKAR, A.; ABDEL-FADEEL, M.G.; GHONAIM, S.M.; ABDEL –GAID, I.O.; ALI, A. M. Osmotic and solar dehydration of peach fruits. **Fruit Processing**, v. 9, n.1, p. 258-262,1996.

AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mass tranfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.291-295, 2004.

BARALT, J.M.E.; CHIRALT, A.; FITO, P. Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to structure. **Journal of Food Science**, v.63, n.5, p.836-840, 1998.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da Universidade Estadual de Campinas, 2001. 299p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990.220p.

COMPUTER program manual. Tulsa: Statsoft, 1997. (Statsoft Statistica for Windows 6.0)

DIXON, G.M.; JEN, J.J. Changes of sugar and acid in osmovac dried apple slices. **Journal of Food Science**, v.42, p.1126-1131, 1977.

HAWKES, J.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **International Journal of Food Science and Technology**, v.2, p.265-284, 1978.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.137-140, 2001.

MIZKAHI, S.; EICHLER, S.; RAMON, O. Osmotic dehydration phenomena in gel systems. **Journal of Food Engineering**, v.49, n.1, p.87-96, 2001.

NANJUNDASWAMY, A .M.; SETTY, G.R.; BALACHANDRAN, C.; SAROJA, S.; REDDY, K.B.S.M. Studies on development of new categories of dehydrated product from indigenous fruits. **Indian Food Packer**, v.22, p.91-93, 1978.

NSONZI, F.; RAMASWAMY, H.S. Quality evaluation of osmo-conective dried blueberries. **Drying Technology**, v.16, p.705-723, 1998.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; ARGAIZ, A.; WELTI, J. Osmotic dehydration of papaya: effect of syrup concentration. **Revista Espanola de Ciencia e Tecnologia de Alimento**. v.33, n.6, p.621-630, 1993.

PANAGIOTOU, N.M.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology**, v.17, n. 1, p.175-189, 1999.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F.P.R.; PARK, T.H.K.B. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis L.*). **Journal of Food Engineering**, v.52, p.293-298, 2002.

POINTING, J.D. Osmotic dehydration of fruits – recent modifications and applications. **Process Biochemistry**, v.8, p.18-20, 1973.

RAHMAN, M.S. Osmotic dehydration kinetics of foods. **Indian Food Industry**, v.15, p.20-24, 1992.

SABLANI, S.S.; RAHMAN, M.S.; AL-SADEIRI, D.S. Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.193-199, 2002.

SABLANI, S.S.; RAHMAN, M.S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution dehydration of mango. **Food Research International**, v.36, p.65-71, 2003.

SERENO, A. M.; HUBINGER, M.D. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.103-114, 2001.

TELIS, V.R.N.; MURARI, R.C.B.D.L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.253-259, 2004.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v.26, n.1, p.59-68, 1993.

TORREGGIANI, D; FORNI, E.; RIZZOLO, A. Osmotic dehydration of fruit. Part 2: Influence of the osmosis time on the stability of processed cherries. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v.12, n.1, p.27-44, 1987.

**INFLUÊNCIA DE REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS NA  
REDUÇÃO DE GANHO DE SÓLIDOS EM JENIPAPOS  
DESIDRATADOS OSMOTICAMENTE\***

---

---

---

- Enviado para publicação na Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas (Anexo C).

## RESUMO

A desidratação osmótica, quando aplicada, na conservação do jenipapo, acarretou elevada incorporação de sólidos solúveis. Com intuito de reduzi-los foram aplicados, aos pedaços de frutas, revestimentos comestíveis à base de alginato e pectina de baixa metoxilação, cuja eficácia foi avaliada em duas etapas: a primeira, por meio de planejamento fatorial fracionário  $2^{3-1}$ , constituída por três tratamentos: A (frutos sem revestimento); B (frutos cobertos com alginato) e C (frutos cobertos com pectina), com vistas a estabelecer a influência das coberturas; a segunda, através de planejamento fatorial  $2^3$ , para determinar a influência das variáveis independentes temperatura, tipo de cobertura e forma de corte sobre a perda de umidade, ganho de solutos, variação de peso e taxa de DEI (Dehydration Efficiency Index). Os resultados obtidos na 1ª etapa evidenciaram que: as coberturas foram eficientes na redução da incorporação de solutos, bem como no aumento de perda de umidade; os maiores DEI, em ambas as coberturas, foram obtidos a 50 °Brix, sendo máximo a 30 °C e a forma de corte de quarto. Na 2ª etapa foram confirmados a influência da forma de corte sobre a perda de umidade e o ganho de solutos e das coberturas sobre a variação de peso e perda de umidade e que a temperatura exerce efeito significativo sobre as variáveis, com exceção do DEI. Os resultados levam a concluir que os menores ganhos de solutos, associados a uma satisfatória perda de umidade, foram obtidos com cobertura de alginato, forma de corte de quarto, a 50°Brix, independente da temperatura, permitindo fixá-la em 50°C.

Palavras - chave: desidratação osmótica; jenipapo; coberturas comestíveis.

## INTRODUÇÃO

O jenipapo, fruto do jenipapeiro (*Genipa americana L.*), é uma baga comestível, de forma, tamanho, cor e peso variáveis. Compõe-se de um invólucro carnoso, de diversas sementes chatas e polidas, recobertas por uma camada polposa adocicada, com casca mole, pardacenta, aromática (GUERREIRO DE FARIA; COSTA, 1998).

Como conseqüência da alta perecibilidade, esta fruta apresenta elevado percentual de perdas. Para minimizá-las, Andrade et al. (2003) utilizaram o processo de desidratação osmótica, cujo produto, não obstante satisfatória aceitabilidade e estabilidade, apresentou elevada incorporação de solutos, considerada desvantajosa (CAMIRAND et al. 1992), especialmente quando se busca maior similaridade com a fruta fresca. Para reduzir a incorporação de sólidos durante o processo, diversos autores têm demonstrado a eficácia do emprego de polissacarídeos, como alginato e pectina, no revestimento de frutas, antes de aplicar a desidratação, face à sua alta afinidade pela água e baixa afinidade pelo soluto (AZEREDO; JARDINE, 2000; GONEK; LENART, 2001; BRANDELERO et al. 2005; MATUSKA; LENART; LAZARIDES, 2006).

Estas constatações motivaram a realização deste trabalho, com o objetivo de avaliar o emprego do alginato e pectina na redução da incorporação de solutos durante a desidratação osmótica de jenipapos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Material

Jenipapos (*Genipa americana L.*) maduros refrigerados foram adquiridos aleatoriamente em supermercado local (Recife-PE). As frutas foram

selecionadas visualmente, pela cor (completamente marrom), tamanho (diâmetro médio de 9.0cm) e ausência de danos físicos. Em seguida, foram lavadas com água corrente, secadas com papel absorvente e cortadas em forma de quartos, dos quais foram removidas, manualmente, a casca e as sementes.

Como agente osmótico foi utilizada sacarose comercial; para a formação de coberturas, o alginato de sódio (Grindsted Alginate FD 175) a 2% e pectina de baixa metoxilação (Grindsted Pectin LA 210) a 2,5%; como fonte de íons  $\text{Ca}^{+2}$ , o cloreto de cálcio (Merck) a 2,4%.

### **Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi desenvolvido em duas etapas, conforme descrito a seguir.

#### **1ª Etapa**

Nesta etapa foi utilizado um planejamento fatorial fracionário  $2^{3-1}$ , com as seguintes variáveis independentes: 1 – Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ); 2 – Concentração da solução osmótica ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) e 3 – Forma de corte do fruto, que foi aplicado a três tratamentos distintos: A (jenipapos não revestidos); B (revestidos com alginato) e C (revestidos com pectina). Cada tratamento consistiu de 4 ensaios, cujas condições (níveis codificados e decodificados) encontram-se explicitadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001); o tempo foi fixado em 2 horas, conforme anteriormente estabelecido por Andrade et al. (in press).

Tabela 1 - Níveis codificados das variáveis

Ensaio	Temperatura (°C)	°Brix	Forma de corte
1	-1	-1	1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	1

Tabela 2 - Níveis decodificados das variáveis

Níveis codificados	Temperatura (°C)	°Brix	Forma de corte
-1	30	30	Quarto
1	50	50	Cubo

## 2ª Etapa

Para sua implementação foi utilizado um planejamento fatorial  $2^3$ , com as seguintes variáveis independentes: 1 – Temperatura (°C); 2 – Forma de corte do fruto e 3 – Tipo de cobertura. Sua implementação abrangeu a execução de 8 ensaios, com duas repetições cada, cujas condições (níveis codificados e decodificados) encontram-se apresentadas nas tabelas 3 e 4, respectivamente (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001). A concentração do agente osmótico foi fixada em 50°Brix, com base nos resultados dos ensaios da etapa anterior, com o mesmo tempo de imersão.

Tabela 3 - Níveis codificados das variáveis

Ensaio	Temperatura (°C)	Forma de corte	Cobertura
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

Tabela 4 - Níveis decodificados das variáveis

Níveis codificados	Temperatura (°C)	Forma de corte	Cobertura
-1	30	Quarto	Alginato
1	50	cúbica	Pectina

As respostas de interesse foram assim definidas:

Ganho de soluto - calculado através de um balanço de massa de sólidos do processo:

$$GS (\%) = 100x \frac{(B_f M_f - B_i M_i)}{M_i}$$

Perda de umidade – com base no peso inicial do material:

$$PU(\%) = 100x \frac{(U_i M_i - U_f M_f)}{M_i}$$

Varição de peso – calculada pela seguinte equação:

$$VP(\%) = 100x \frac{(M_i - M_f)}{M_i}$$

DEI (Dehydration Efficiency Index) – calculado pela seguinte razão:

$$DEI = \frac{PU}{GS}$$

Sendo:

$VP$  = variação de peso do material desidratado;

$M_i$  = massa inicial;

$M_f$  = massa final;

$PU$  = perda de umidade;

$U_i$  = teor inicial de umidade;

$U_f$  = teor final de umidade;

$GS$  = ganho de sólidos;

$B_i$  = teor inicial de sólidos solúveis contidos no material;

$B_f$  = teor final de sólidos solúveis contidos no material;

## Processamento

O processamento abrangeu as seguintes operações: 1 – recebimento da matéria - prima, pesagem e verificação dos aspectos gerais; 2 – seleção, segundo o grau de maturação e alterações visíveis; 3 – lavagem em água

potável; 4 – descascamento, realizado manualmente, com faca de aço inoxidável; 5 – corte em pedaços, na forma de cubos de aproximadamente 10mm de face, ou em forma de quarto, com a espessura, em média, de 0,9cm; 6 – inativação enzimática com água a 100°C, por 1 minuto; 7 – transferência da amostra para um Becker de 250ml, contendo a solução osmótica de 50°Brix; 8 – desidratação em shaker com controle termostático, a 50rpm; 9 – drenagem da solução osmótica por 1 min, seguida pela absorção do excesso desta solução, em papel absorvente.

Nos tratamentos B e C, bem como nos ensaios da etapa 2, foram executadas duas operações adicionais entre a 6 e a 7, que consistiram de imersão dos pedaços de jenipapo em solução de alginato de sódio ou de pectina; e, na seqüência, imersão em solução de CaCl<sub>2</sub>, para completar a formação da cobertura.

#### Determinações analíticas

Foram efetuadas antes e após o processo, quanto aos seguintes parâmetros: peso da amostra, em balança analítica; sólidos solúveis, em refratômetro de bancada AUS JENA e umidade em estufa a 105 °C, até peso constante (AOAC, 2002).

#### Análise dos resultados

As respostas obtidas para todos os ensaios do planejamento fatorial 2<sup>3</sup> foram avaliadas quanto aos efeitos principais e às interações entre fatores, através do programa computacional Statistica 6.0 (Statsoft, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1ª Etapa

A eficácia de cada uma das coberturas utilizadas nesta pesquisa, na redução da transferência de massa para o interior da fruta fica comprovada ao estabelecer comparações entre os dados do Tratamento A (controle) com os demais (Tabelas 5, 6 e 7). De acordo com Matuska, Lenart e Lazarides (2006), o DEI (Dehydration Efficiency Index) é uma excelente ferramenta para avaliar o emprego de coberturas e / ou condições gerais do processo de desidratação, ou seja, o ganho de sólidos e a perda de umidade. Assim sendo, constata-se, pelos DEI obtidos nos tratamentos B e C, os quais representam um aumento de 9 vezes e 7,5 vezes, que o alginato e a pectina propiciaram uma desidratação extensiva, com menor ganho de sólidos, em relação ao tratamento A (controle), ratificando resultados obtidos por Wong, Camirand e Pavlath (1994) e Matuska, Lenart e Lazarides (2006), no que concerne ao processamento de azeitonas e morangos.

Os dados revelam, ainda, que, nos tratamentos B e C (Tabelas 6 e 7): os maiores DEI foram alcançados nos ensaios 3 e 4, cuja solução osmótica foi de 50°Brix, e a menor incorporação de solutos foi obtida no tratamento B (32,36% e 46,00%), seguido do C (37,49% e 47,66%), para os ensaios 3 e 4, respectivamente, ao serem comparados com o controle.

Tabela 5. Respostas das variáveis dependentes referentes aos ensaios de Jenipapos sem revestimento (Tratamento A)

Ensaio	PU%	GS%	VP%	DEI
1	6,21	18,18	-23,34	0,35
2	0,5	14,30	-12,20	0,03
3	4,4	19,47	-14,87	0,23
4	13,87	42,57	-26,44	0,33

PU: perda de umidade; GS: ganho de soluto; VP: variação de peso; DEI: Dehydration Efficiency Index. Ensaio 1: 30°C, 30°Brix, cubo; Ensaio 2: 50°C, 30°Brix, quarto; Ensaio 3: 30°C, 50°Brix, quarto; Ensaio 4: 50°C, 50°Brix, cubo.

Tabela 6. Respostas das variáveis dependentes referentes aos ensaios de jenipapos revestidos com alginato (Tratamento B)

Ensaio	PU%	GS%	VP%	DEI
1	16,28	14,08	3	1,16
2	12,69	12,32	0,3	1,03
3	29,52	6,30	19,71	4,69
4	49,05	19,58	32,66	2,51

PU: perda de umidade; GS: ganho de soluto; VP: variação de peso; DEI: Dehydration Efficiency Index. Ensaio 1: 30°C, 30°Brix, cubo; Ensaio 2: 50°C, 30°Brix, quarto; Ensaio 3: 30°C, 50°Brix, quarto; Ensaio 4: 50°C, 50°Brix, cubo.

Tabela 7. Respostas das variáveis dependentes referentes aos ensaios de jenipapos revestidos com pectina (Tratamento C)

Ensaio	PU%	GS%	VP%	DEI
1	17,66	12,05	5,73	1,47
2	17,42	12,25	5,28	1,43
3	22,14	7,30	13,17	3,04
4	42,29	20,29	22,10	2,09

PU: perda de umidade; GS: ganho de soluto; VP: variação de peso; DEI: Dehydration Efficiency Index. Ensaio 1: 30°C, 30°Brix, cubo; Ensaio 2: 50°C, 30°Brix, quarto; Ensaio 3: 30°C, 50°Brix, quarto; Ensaio 4: 50°C, 50°Brix, cubo.

No que diz respeito à perda de umidade verifica-se que o tratamento B gerou um aumento de 570,91% e 253,64% para os ensaios 3 e 4, respectivamente, comportamento similar ao obtido por Azeredo e Jardine (2000) e Brandelero et al. (2005), ao desidratarem abacaxis sem e com revestimento.

Além da propriedade de barreira, o emprego de coberturas comestíveis, de acordo com Matuska, Lenart e Lazarides (2006), pode trazer vantagens, como: maior integridade estrutural e força física aos pedaços de frutos, mais resistência, portanto, à agitação (mistura) e aos impactos físicos (durante o manuseio, armazenamento e transporte); minimizar a contaminação microbiana e ainda melhorar a aparência do produto; reter aditivos, promovendo uma resposta funcional mais significativa na superfície do produto (GUILBERT, 1998). Estas constatações ratificam Azeredo, Faria e Azeredo (2000), ao afirmarem que os revestimentos comestíveis funcionam como embalagens ativas, ou seja, atuam na manutenção das mais importantes características de um alimento: qualidade e segurança.

## 2ª Etapa

Considerando os resultados da etapa anterior, fixou-se a concentração da solução osmótica em 50°Brix, mantendo, entretanto, os níveis das demais variáveis, tendo em vista confirmar ou não os resultados obtidos.

Observando a magnitude dos efeitos sobre a perda de umidade (Tabela 8), comprova-se que a forma cúbica contribuiu para maior perda de água da fruta (Figura 1), por aumentar a superfície de exposição à solução osmótica, facilitando o intercâmbio entre ambos e, conseqüentemente, maior taxa de desidratação (GIANGIACOMO; TORREGGIANI; ABBO, 1987), entretanto, propiciou maior ganho de solutos. Estes resultados ratificam Lerici et al. (1985), quanto ao ganho de solutos, ao desidrataram cubos de maçãs.

A cobertura aparece como a segunda variável que mais influenciou a perda de umidade (Tabela 8). O valor negativo indica que, dentre os polissacarídeos utilizados, o alginato permitiu uma maior taxa de perda de água (Figura 1) e menor incorporação de açúcar (Figura 2). Estes resultados apresentam similaridade com os obtidos por Brandelero et al. (2005), quanto ao ganho de solutos em abacaxi desidratado sem e com esta cobertura, embora a velocidade da perda de umidade tenha apresentado valores semelhantes aos dos não cobertos. De acordo com os autores, este comportamento pode estar ligado às propriedades de barreira dos revestimentos, bem como à sua natureza.

Recentemente, Matuska, Lenart e Lazarides (2006) registraram, para morangos duplamente recobertos com alginato, menor ganho de sólidos e 30% a mais de perda de umidade em relação aos frutos cobertos com uma única camada deste polissacarídeo, permitindo concluir que a incorporação de açúcar funciona como uma barreira, impedindo que a água seja removida mais rapidamente.

Retornando à análise da tabela 8, verifica-se que o fator temperatura também influenciou significativamente a perda de umidade e o ganho de solutos, bem como a variação de peso, efeito que foi favorecido pela elevação da temperatura, conforme demonstrado nas figuras 1, 2 e 3, sem, contudo, exercer influência sobre os DEI (Figura 4).

De acordo com a referida tabela, o tipo de cobertura, seguido pela geometria do fruto, tiveram o maior efeito sobre os DEI, ambos com valores negativos, indicando o alginato, associado à forma quarto, como as variáveis mais eficazes (Figura 4), o que concorda com Brandelero et al. (2005), ao desidratarem abacaxis em sacarose, com e sem revestimentos, em que a razão  $PU/GS$  foi da ordem de 5,4 para os revestidos com alginato.

Uma vez fixadas estas variáveis, utilizou-se, como critério de decisão para a seleção da melhor temperatura, a que favoreceu a maior perda de umidade. De acordo com a figura 1, a temperatura de 50°C foi a que melhor favoreceu esta perda, na qual o ganho de solutos, embora ligeiramente superior ao registrado a 30°C, foi significativamente inferior aos valores obtidos por Andrade et al. (2003).

Tabela 8. Determinação dos efeitos principais do planejamento 2<sup>3</sup>

Fatores	Perda de umidade	Ganho de solutos	Varição de peso	DEI
Temperatura (°C) (1)	8,44*	3,31*	6,47*	-0,07
Forma de corte (2)	11,91*	8,98*	4,15*	-0,91*
Cobertura (3)	-9,17*	1,67*	-10,12*	-1,11*
1 e 2	-1,44*	-0,48	-0,86	0,12
1 e 3	1,01	0,54	-0,54	0,12
2 e 3	-0,92	-0,51	-1,55	0,43*
1,2 e 3	1,53	0,09	1,85	-0,01

\*Efeitos significativos.

PU – perda de umidade; GS – ganho de solutos.

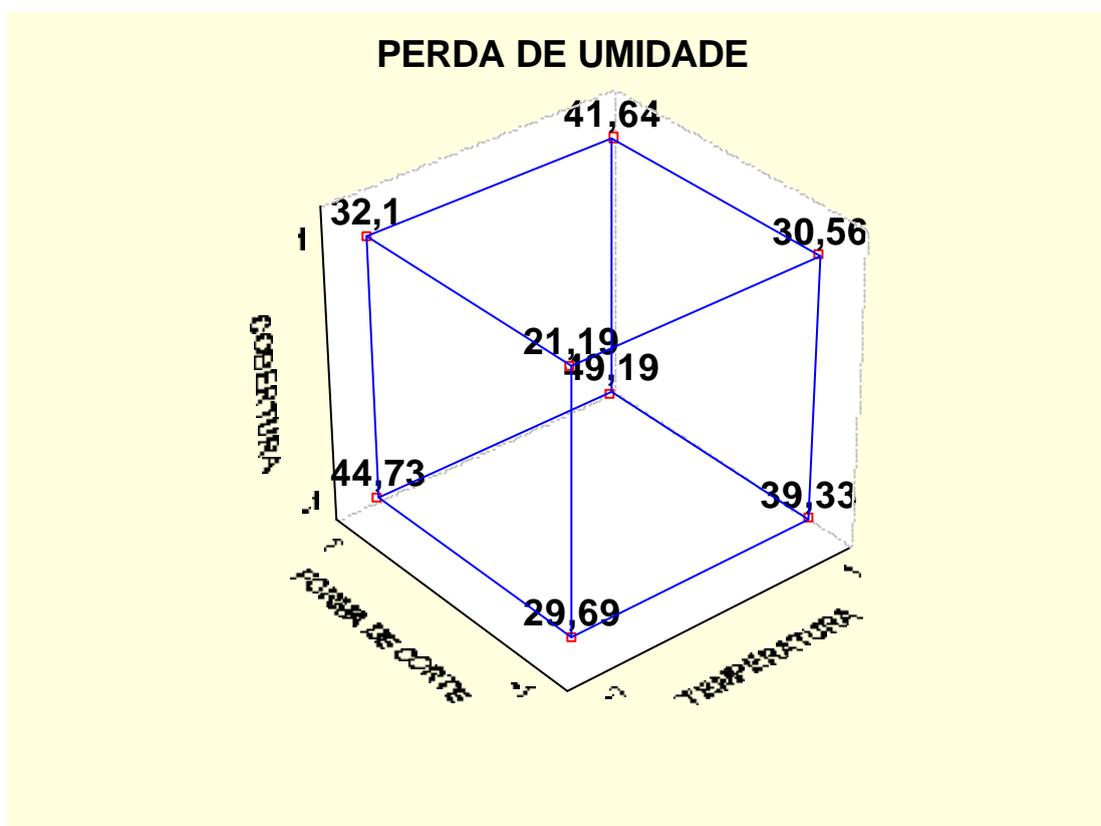
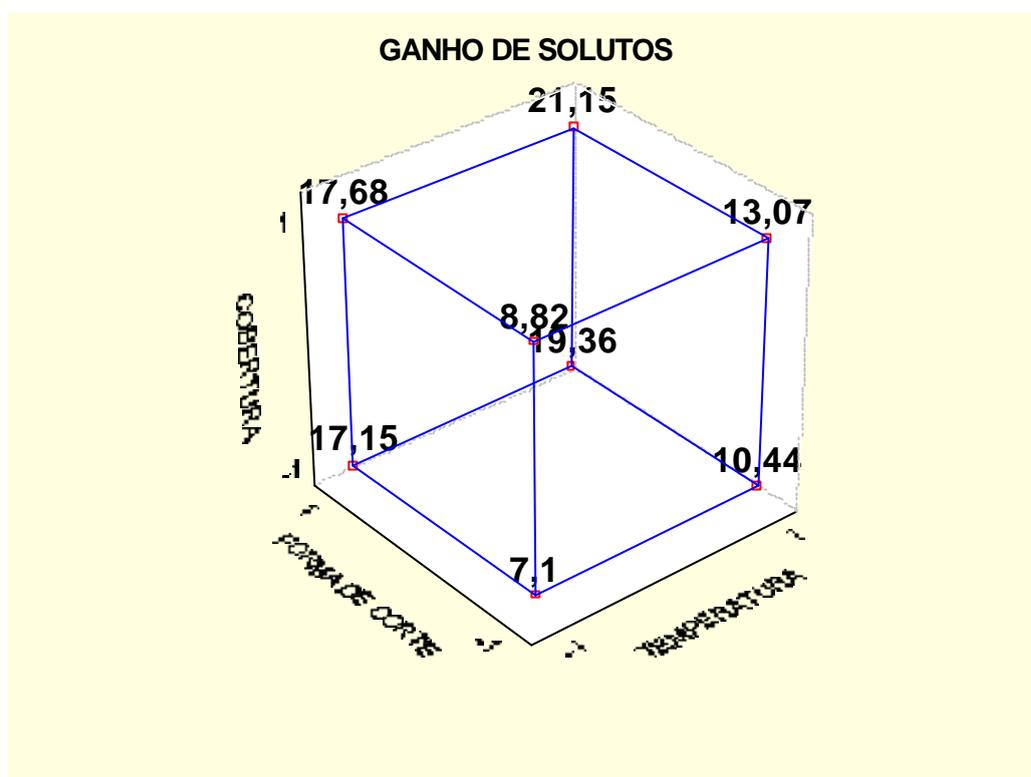


Figura 1. Média da perda de umidade em função da temperatura, forma de corte da fruta e cobertura



ra, forma de corte da fruta e cobertura

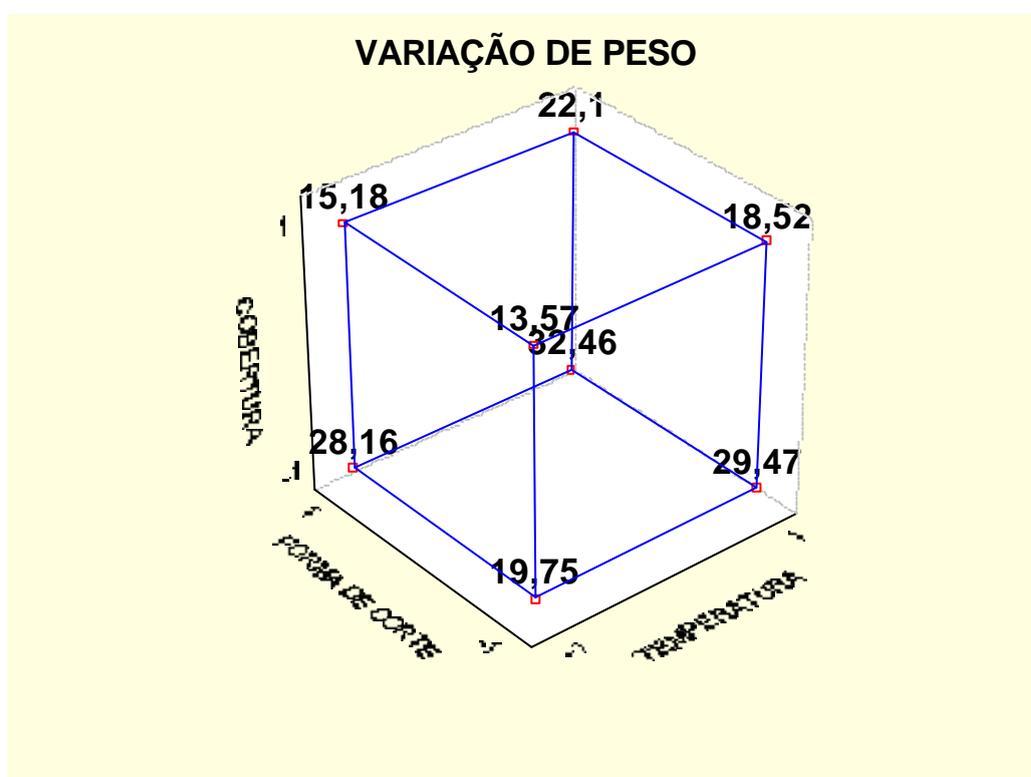


Figura 3. Média da variação de peso em função da temperatura, forma de corte da fruta e cobertura

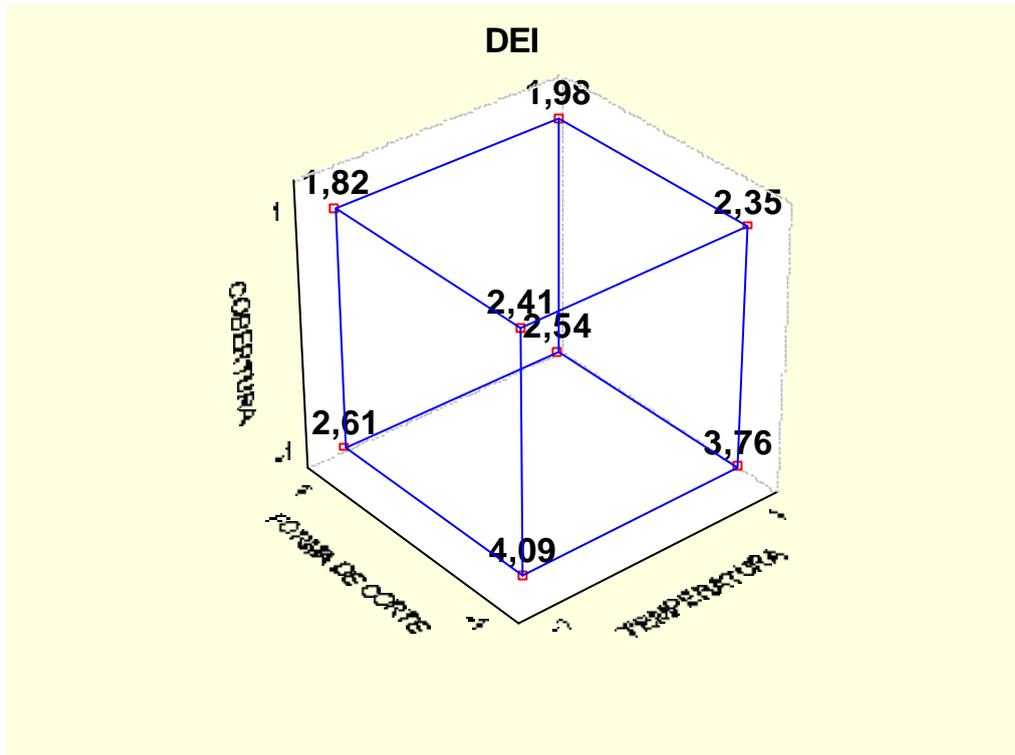


Figura 4. Média da razão PU/GS (DEI) em função da temperatura, forma de corte da fruta e cobertura

Devido à significativa influência dos fatores sobre as respostas obtidas (Tabela 8), estas variáveis deverão ser consideradas no processo de desidratação osmótica do jenipapo, como forma de obter a sua otimização.

A aplicação deste processo ao jenipapo abre novas perspectivas para sua industrialização, com reflexos diretos sobre a renda dos fruticultores.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- o emprego de revestimentos comestíveis acarretou significativa redução do ganho de solutos;

- os maiores DEI, ou seja, o menor ganho de solutos, associado a uma satisfatória perda de umidade, foram obtidos com alginato, forma de corte de quarto e a 50°Brix, independente da temperatura, permitindo fixá-la em 50°C.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDRADE, S. A. C.; BARROS NETO, B.; NÓBREGA, A . C.; AZOUBEL, P.M.; GUERRA, N.B. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana L.*). **Journal of Food Engineering** (in press).

AOAC **Official methods of analysis**, 13. ed. Washington, 2002.

AZEREDO, H.M.C.; JARDINE, J.G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicado à tecnologia de métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1,p. 74-82, jan. /abr.2000.

AZEREDO, H.M.C.; FARIA, J. A . F.; AZEREDO, A .M.C. Embalagens ativas para alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.3, p.1-9, set./dez. 2000.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisas e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora Unicamp, 2001.401p.

BRANDELERO, R.P.H.; VIEIRA, A.P.; TELIS, V.R.N.; TELIS-ROMERO, J.; YAMASHITA, F. Aplicação de revestimento comestível em abacaxis processados por métodos combinados: Isoterma de Sorção e Cinética de Desidratação Osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 285-290, abr.-jun. 2005.

CAMIRAND, W.; KROCHTA, J.M.; PAVLATH, A .E.; WONG, D.; COLE, M.E. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymers**, Great Yarmouth, v.17, n.1, p.39-49, 1992.

COMPUTER program manual. Tulsa: Statsoft, 1997. (Statsoft Statistica for Windows 6.0)

GIANGIACOMO, R.; TORREGGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1: Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 11, p. 183-195, 1987.

GUERREIRO DE FARIA, L.J.; COSTA, C.M.L. **Tópicos especiais em tecnologia de produtos naturais**. Belém: UFPA, NUMA, POEMA, 1998. 302p.(Série POEMA, 7).

GUILBERT, S. Use of superficial edible layer to protect intermediate moisture foods: application to the protection of tropical fruit dehydrated by osmosis. In: SEOW, C.C. (Ed). **Food preservation by moisture control**. New York: Elsevier Applied Science, 1998. p. 199-219.

LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1217-1219, 1985.

MATUSKA, M.; LENART, A.; LAZARIDES, H.N. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 85-91, 2006.

OGONEK, A.; LENART, A. Influence of selective edible coatings on osmotic dehydration of strawberries. **Zywnosc**, v.28, n.3, p. 62-74, 2001.

WONG, D.W.S.; CAMIRAND, W.M.; PAVLATH, A. E. Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables. In: KROCHTA, J.M.; BALDWIN, E.A.; CARRIEDO, M.O.N. **Edibles coatings and films to improve food quality**. Lancaster, 1994 p.65-88.

**OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO JENIPAPO  
(Genipa americana L.) COBERTO COM ALGINATO**

---

---

---

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi determinar o valor ótimo de temperatura e concentração da solução osmótica e suas interações com os parâmetros da desidratação osmótica de quartos de jenipapo cobertos com alginato. A pesquisa foi realizada por meio de um planejamento composto central, com duas variáveis independentes, nas quais os níveis variaram de 43 °C a 57 °C para a temperatura e de 43% a 57% para a concentração do agente osmótico. As respostas do planejamento experimental: perda de umidade ( $PU$ ), ganho de sólidos ( $GS$ ), variação de peso ( $VP$ ) e DEI (Dehydration Efficiency Index)  $= PU/GS$ . Os resultados mostraram que a temperatura não teve influência significativa em nenhuma das respostas, diferentemente da concentração do agente osmótico, que refletiu sobre todas as respostas, exceto para o ganho de sólidos e que o DEI teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) considerado leve sobre a concentração do agente osmótico. Os modelos obtidos para as variáveis dependentes, ou seja, as respostas, seguiram um comportamento linear, exceto para o ganho de sólidos. As melhores condições para o processo osmótico do jenipapo, utilizando o DEI como parâmetro, foram obtidas a 50 °C e 57°Brix.

Palavras – chave: Desidratação osmótica; jenipapo; superfície de resposta.

## INTRODUÇÃO

Como a maioria das frutas tropicais, o jenipapo, fruto do jenipapeiro (*Genipa americana* L.), é altamente perecível, apresentando, elevadas perdas, poucos dias após a colheita.

Com a finalidade de reduzi-las, Andrade et al. (2003) aplicaram a este fruto o processo de desidratação osmótica, obtendo produtos com estabilidade microbiológica e boa aceitação sensorial, que, entretanto, apresentaram elevada incorporação de sólidos. Esta ocorrência, além de não desejável em termos de processamento industrial (MOREIRA; SERENO, 2003), é também considerada desvantajosa quando se busca similaridade com a fruta fresca (CAMIRAND et al.1992).

Considerando os resultados obtidos por diversos pesquisadores (MATUSKA; LENART; LAZARIDES, 2005; BRANDELERO et al. 2005), Andrade et al. (dados não publicados) aplicaram, com sucesso, coberturas de alginato e pectina às frações (quartos e cubos) de jenipapo, antes de submetê-las à desidratação osmótica. Os resultantes DEI (Dehydration Efficiency Index), parâmetro considerado excelente ferramenta para avaliar as condições gerais do processo de desidratação (RAVINDRA e CHATTOPADHYAY, 2000), demonstraram que “o menor ganho de solutos, associado a uma satisfatória perda de umidade, foi obtido com cobertura de alginato, geometria quarto, a 50°Brix, independentemente da temperatura, o que permitiu fixá-la em 50°C”.

No presente trabalho a metodologia de superfícies de resposta, que tem sido larga e efetivamente aplicada na otimização de processos de alimentos, foi utilizada com o objetivo de identificar o valor da temperatura e da concentração do xarope que permitissem maximizar a perda de água e ao mesmo tempo minimizar o ganho de solutos na desidratação osmótica do jenipapo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Material

Jenipapos (*Genipa americana L.*) maduros refrigerados foram adquiridos aleatoriamente em supermercado local (Recife-PE). As frutas foram selecionadas visualmente, pela cor (completamente marrom), tamanho (diâmetro médio de 9.0cm) e ausência de danos físicos. Em seguida, foram lavadas com água corrente, secadas com papel absorvente e cortadas em forma de quartos, dos quais foram removidas, manualmente, a casca e as sementes.

### Desidratação osmótica

As amostras foram branqueadas (100°C por 1 min) em água. Em seguida, foram imersas em solução de alginato de sódio (Grindsted Alginate FD 175) a 2% e, na seqüência, imersas em solução de  $\text{CaCl}_2$  a 2,4%, para completar a formação da cobertura. Soluções hipertônicas foram preparadas e colocadas em beckers de 250ml, contendo as amostras, que foram colocados em shaker com controle termostático a uma agitação constante de 50 rpm, por um período de 2 h. A relação amostra/solução foi de 1:20, para diminuir a diluição da solução osmótica ao longo do processo. Após a remoção da solução, os quartos de jenipapos foram drenados e secos com papel absorvente, para remover o excesso de solução. As amostras foram pesadas e, em seguida, foram determinados seus teores de sólidos solúveis e de umidade, para calcular a variação de peso ( $VP$ ), a perda de umidade ( $PU$ ), o ganho de sólidos ( $GS$ ) e o DEI (Dehydration Efficiency Index), de acordo com as seguintes equações:

$$VP(\%) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

$$PU(\%) = \frac{(M_i U_i - M_f U_f)}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

$$GS(\%) = \frac{(M_f B_f - M_i B_i)}{M_i} \times 100 \quad (3)$$

$$DEI = PU/GS$$

Nestas expressões  $M_i$  e  $M_f$  são os pesos (g) das amostras inicial e final (no tempo t), respectivamente ;  $U_i$  e  $U_f$  são os conteúdos de umidades das amostras inicial e final (no tempo t), respectivamente (g água / 100g de jenipapo);  $B_i$  e  $B_f$  são os sólidos solúveis (°Brix) das amostras inicial e final (no tempo t), respectivamente.

#### Métodos analíticos

A umidade foi determinada em estufa a 105°C, até peso constante (AOAC, 2002; Method 985.14). Os sólidos solúveis foram determinados em refratômetro de bancada AUS JENA. Todas as análises foram feitas em triplicata.

#### Planejamento Experimental e análises estatísticas

O planejamento composto central cujos níveis são especificados na tabela 1 (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001) foi usado para estudar o efeito de dois fatores, temperatura e concentração, cujos níveis variaram de

43 °C a 57 °C para a temperatura, e 43°Brix a 57°Brix para a concentração da solução osmótica. Este planejamento gerou 11 experimentos, dos quais resultaram os valores de quatro respostas: variação de peso, perda de umidade, ganho de sólidos e DEI. O planejamento utilizado permite a modelagem de uma determinada resposta como uma função quadrática da temperatura e da concentração. Sendo  $y$  uma das quatro respostas, o modelo tem a seguinte forma geral:

$$Y = \varphi (T,C) = \beta_0 + \beta_1T + \beta_2C + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{12}T.C \quad (4)$$

em que: T e C representam temperatura (°C) e concentração de sacarose (°Brix), respectivamente.

Tabela 1. Codificação dos níveis dos dois fatores

Variáveis	-1,41	-1	0	1	1,41
Temperatura (°C)	43	45	50	55	57
Concentração(°Brix)	43	45	50	55	57

As análises dos resultados foram realizadas empregando-se o programa computacional Statistica 6.0 (Statsoft, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos 11 ensaios do planejamento são mostrados na tabela 2.

Os valores para a perda de umidade são sempre maiores que os ganhos de sólidos sob diferentes tratamentos (Tabela 2), resultados que ratificam os obtidos por outros pesquisadores (LAZARIDES; KATSANIDES; NICOLAIDIS, 1995; LENART, 1996).

Tabela 2. Valores da perda de umidade, ganho de sólidos, variação de peso e perda de umidade/ganho de sólidos referentes ao planejamento composto central

C: concentração da sacarose (°Brix); T: temperatura (°C); *PU*: perda de

Ensaio	T (°C)	C (°Brix)	<i>PU</i> (%)	<i>GS</i> (%)	<i>VP</i> (%)	DEI
1	45	45	32,85	7,3	24,46	4,5
2	55	45	33,29	8,9	24,9	3,74
3	45	55	42,35	5,97	33,93	7,09
4	55	55	43,3	6,5	34,35	6,66
5	50	50	37,37	10,72	27,24	3,49
6	50	50	38,84	9,76	30,18	3,98
7	50	50	39,64	8,85	32	4,48
8	43	50	40,36	10,09	28	4
9	50	57	49,10	6,85	41,17	7,17
10	57	50	42,65	10,46	32,32	4,08
11	50	43	28,00	10,1	18,6	2,77

umidade (%); *GS*: Ganho de sólidos (%); *VP*: variação de peso e DEI: Dehydration Efficiency Index.

Uma análise de regressão foi aplicada para modelar os valores de *PU*, *GS*, *VP* e DEI como funções quadráticas da temperatura e da concentração da solução osmótica. Os coeficientes de regressão para os modelos assim obtidos são apresentados na tabela 3, onde os termos não significativos ( $p > 0.05$ ) foram eliminados. Todos os coeficientes de regressão para um modelo linear na concentração foram significativos ( $p < 0,05$ ), exceto para o ganho de sólidos, e os valores de  $R^2$  correspondentes acima de 0,800. A análise de variância (Apêndice), mostrou que não houve falta de ajuste estatisticamente significativo, (do nível de 5%), para nenhum dos quatro modelos).

Tabela 3. Valores dos coeficientes de regressão da modelagem das quatro respostas através da equação quadrática.

Coeficientes	<i>PU</i>	<i>GS</i>	<i>VP</i>	DEI
$\beta_0$	38,62	9,78	29,81	3,98
$\beta_1$	NS	NS	NS	NS
$\beta_2$	6,18	NS	6,36	1,47
$\beta_{11}$	NS	NS	NS	NS
$\beta_{22}$	NS	NS	NS	NS
$\beta_{12}$	NS	NS	NS	NS
	$R^2 = 0,926$	$R^2 = 0,602$	$R^2 = 0,899$	$R^2 = 0,882$

NS: não significativo ( $p < 0,05$ ). *PU*: perda de umidade (%); *GS*: Ganho de sólidos (%); *VP*: variação de peso e DEI: Dehydration Efficiency Index.

As superfícies de resposta correspondentes a estes modelos para *PU*, *VP* e DEI são mostrados na Figuras 1; 2 e 3 respectivamente.

Os resultados apresentados na tabela 3 revelam que as respostas *PU*, *GS* e DEI dependem linearmente da concentração de sacarose, com um coeficiente positivo. Na figura 1 observa-se como a *PU* aumentou gradativamente com a concentração de sacarose, durante toda a desidratação osmótica. Estes resultados podem ser atribuídos ao fato de que a alta viscosidade da solução osmótica ( $> 55$  °Brix) tem maior pressão osmótica, favorecendo a saída de água da fruta (BARAT; CHIRALT; FITO, 1998). Resultados similares foram obtidos por Uddin, Ainsworth e Ibanoglu (2004) e Mújica-Paz et al. (2003), ao desidratarem osmoticamente cenouras e maçãs, melão e manga, respectivamente, e reforçam as pesquisas de Ponting et al. (1966), ao relatarem que concentrações de sacarose acima de 60% não favorecem a perda de água em frutas e hortaliças. Por outro, lado a temperatura não teve influência em nenhuma das respostas, como se observa

para a  $PU$  na figura 1. Estes resultados são contrários aos obtidos por Azoubel e Murr (2003), que verificaram a temperatura como o fator mais importante na desidratação osmótica de caju. Na figura 1 verifica-se que a região na qual foram obtidos os maiores valores de  $PU$  encontra-se próxima do limite superior da concentração da solução osmótica, independentemente da temperatura.

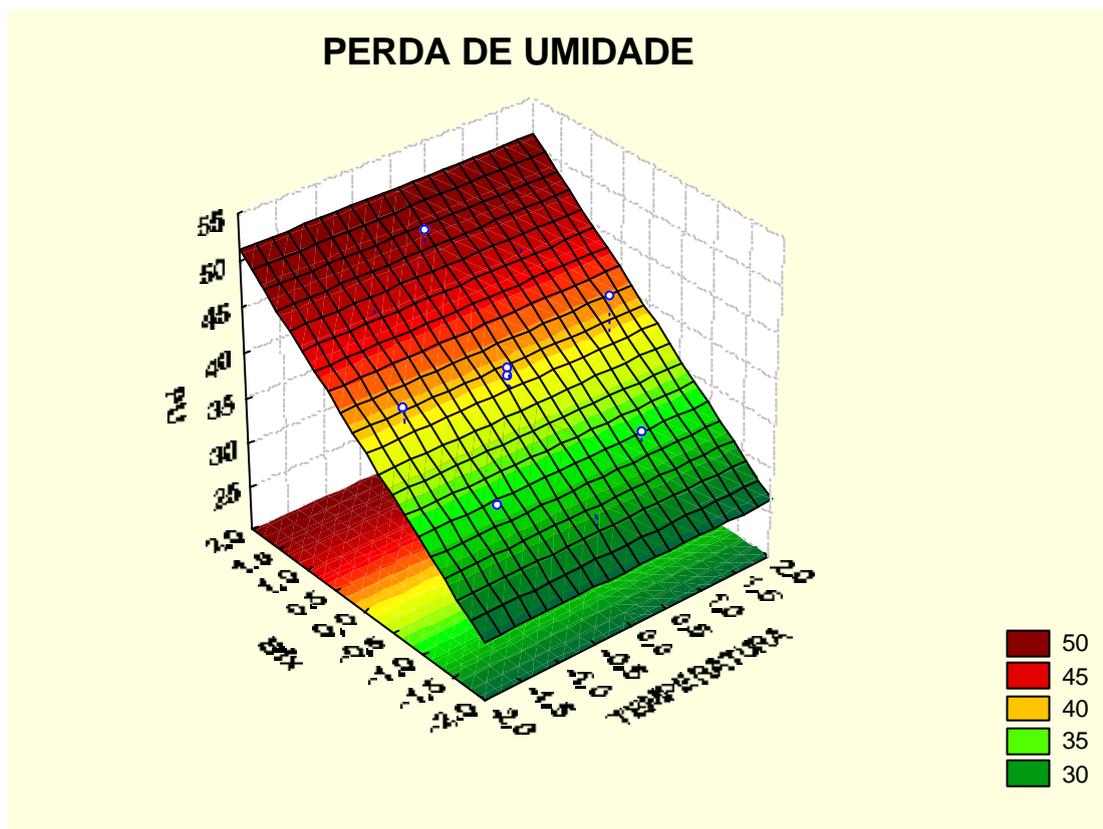


Figura 1. Perda de umidade ( $PU$ ) em função da temperatura e concentração da solução osmótica, durante a desidratação osmótica do jenipapo

O fato de a temperatura e a concentração não afetarem significativamente o  $GS$  na faixa investigada, está em discordância com os achados de El-Aouar et al. (2005), ao desidratarem papayas em solução de sacarose, em que a temperatura foi o efeito mais importante para o ganho de sólidos. Este comportamento, de aceleração da  $PU$  sem modificação do  $GS$ , acarretado pelo aumento da concentração da solução osmótica, também foi

observado por outros autores (BONGIRWAR; SREENIVASAN, 1977; HAWKES; FLINK, 1978; ISLAM; FLINK, 1982).

Conforme se pode observar na figura 2, a concentração da solução osmótica influenciou significativamente ( $p < 0.05$ ) a *VP*. Valores de 41,17% para *VP* e 49,10% para *PU* podem ser obtidos quando a concentração está em seu maior nível, considerando-se todas as faixas de temperatura.

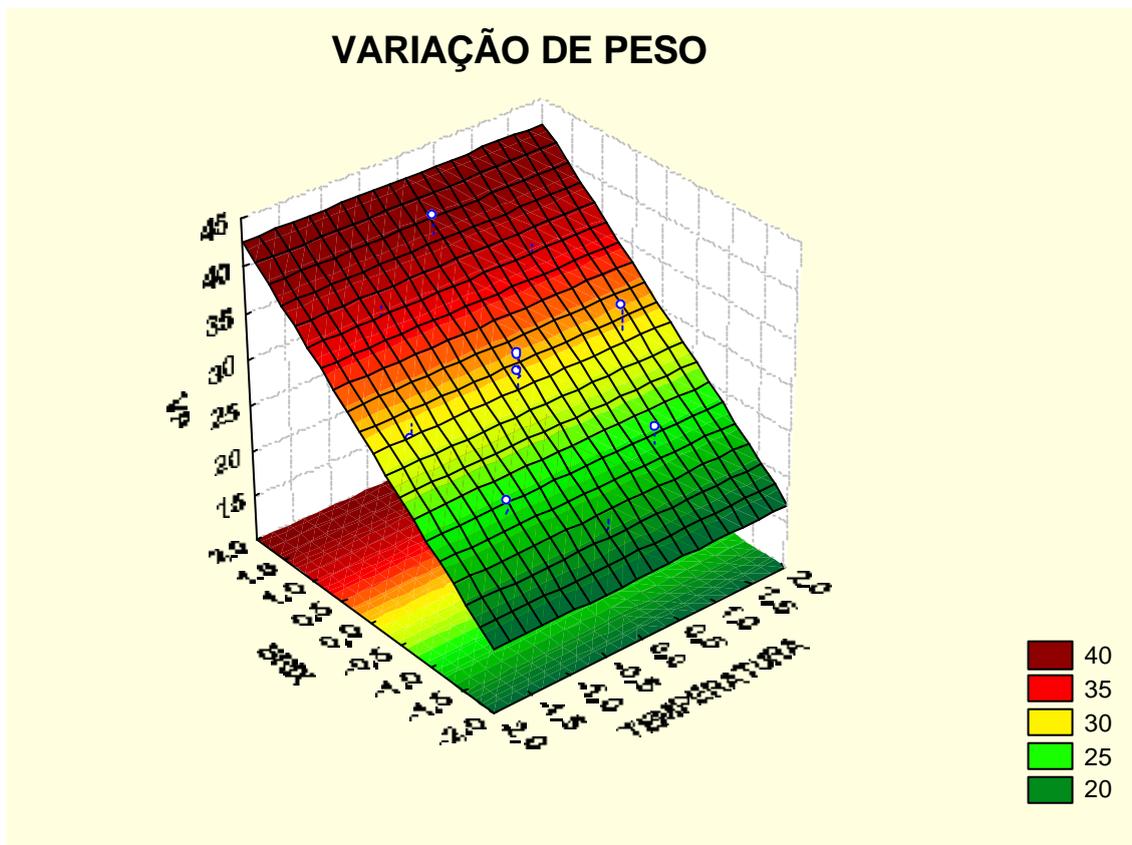


Figura 2. Variação de peso (*VP*) em função da temperatura e concentração da solução osmótica, durante a desidratação osmótica do jenipapo

A superfície de resposta para o DEI no processo osmótico (Figura 3), independentemente da temperatura usada, apresentou elevação contínua da taxa *PU/ GS* com o aumento da concentração da solução de sacarose, comportamento contrário ao observado por Alves et al. (2004), os quais constataram que a temperatura teve maior influência nesta resposta.

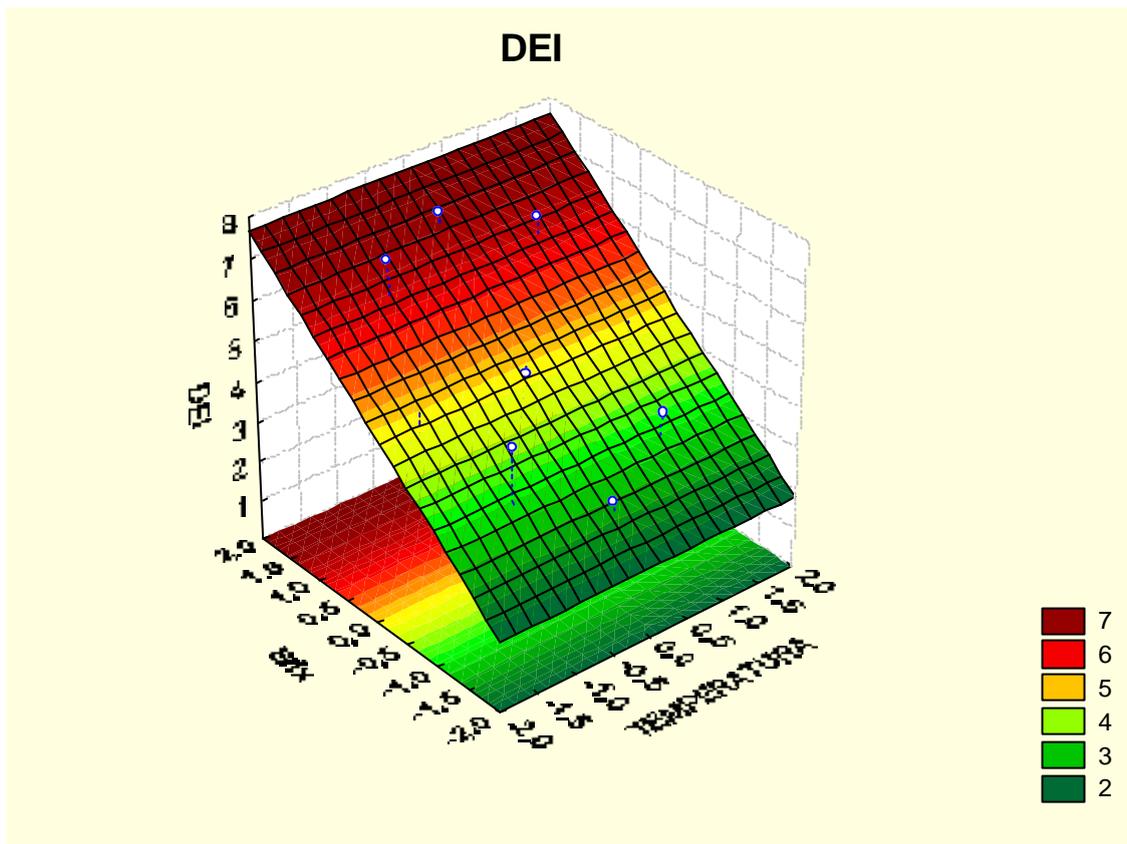


Figura 3. DEI:  $PU/GS$  em função da temperatura e concentração da solução osmótica durante a desidratação osmótica do jenipapo

Comparando-se os resultados obtidos nesta pesquisa para  $PU$  (49,10%) e  $GS$  (7,03%) com os obtidos por Andrade et al. (2003) ( $PU$ : 40% e  $GS$ : 70%), ao desidratarem jenipapo sem cobertura, fica demonstrada a eficácia do alginato como barreira à incorporação de solutos. Deve-se ressaltar que as condições de temperatura e concentração da solução osmótica para a pesquisa anterior diferiu das aplicadas neste trabalho: 70 °C; 70 °Brix e 50 °C; 57 °Brix respectivamente.

As equações de regressão obtidas neste estudo podem ser usadas para encontrar as melhores condições possíveis para a consecução das propriedades físicas e sensoriais desejadas em produtos derivados de jenipapos. Entretanto, deve ser lembrado que a validade das equações obtidas nesta pesquisa restringe-se aos limites dos fatores experimentais utilizados.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados conclui-se que: a concentração de sacarose apresentou um efeito significativo e positivo sobre *PU*, *VP* e DEI, exceto para o ganho de solutos, diferentemente da temperatura da solução osmótica, que não influenciou nenhuma das respostas (*PU*, *GS*, *VP* e DEI); os modelos estatísticos de superfície de respostas obtidos foram apropriados, ajustando-se razoavelmente aos dados experimentais, exceto para o ganho de sólidos; as melhores condições para a desidratação osmótica do jenipapo, utilizando o DEI como parâmetro, são 57ºBrix de concentração da sacarose e 50ºC de temperatura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D.G.; JÚNIOR, J.L.B.; ANTONIO, G.C.; MURR, F.E.X. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.). **Journal of Food Engineering** (in press), 2004.

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

ANDRADE, S. A.C.; BARROS NETO, B.; SALGADO, S.M.; GUERRA, N.B. Influência de revestimentos comestíveis na redução de ganho de sólidos em jenipapos desidratados osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, (dados não publicados),2005.

AOAC. **Official methods of analysis**, 13 ed. Washington, 2002.

AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Optimisation of osmotic dehydration of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) in sugar solutions. **Food Science and Technology International**, v.9, n.6, p, 427-433, 2003.

BARAT, J.M.E.; CHIRALT, A.; FITO, P. Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to structure. **Journal of Food Science**, v.63, n.5, p.836-840, 1998.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da Universidade Estadual de Campinas, 2001.

BONGIRWAR, D.R.; SREENIVASAN, A. Studies on osmotic dehydration of banana. **Journal of Food Science and Technology**, v.14, p.104-112, 1977.

BRANDELERO, R.P.H.; VIEIRA, A.P.; TELIS, V.R.N.; TELIS-ROMERO, J.; YAMASHITA, F. Aplicação de revestimento comestível em abacaxis processados por métodos combinados: isoterma de sorção e cinética de desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.2, p.285-290, 2005.

CAMIRAND, W.; KROCHTA, J.M.; PAVLATH, A.E.; WONG, D.; COLE, M.E. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymers**, v.17, n. 1, p. 39-49, 1992.

COMPUTER program manual. Tulsa: Statsoft, 1997. (Statsoft Statistica for Windows 6.0)

EL-AOUAR, N.A.; AZOUBEI, P.M.; JUNIOR, J.L.B.; MURR, F.E.X. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya L.*). **Journal of Food Engineering** (in press), 2005.

HAWKES, J.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing Preservation**, v.2, p.265-284, 1978.

ISLAM, M.N.; FLINK, J.M. Dehydration of potato. II. Osmotic concentration and its effects on air-drying behavior. **Journal of Food Technology**, v.17, p.387-403, 1982.

LAZARIDES, H.N.; KATSANIDIS, E.; NICOLAIDIS, A. Mass transfer during osmotic preconcentration osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.151-166, 1995.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p. 391-413, 1996.

MATUSKA, M.; LENART, A.; LAZARIDES, H.N. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. **Journal Food Engineering**, v.73, p.85-91, 2006.

MOREIRA, R.; SERENO, A .M. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v.57, p.25-31, 2003.

MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI – CHANES, J. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. **Journal of Food Engineering**, v.57, p.305-314, 2003.

PONTING, J.D.; WALTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R.; SATNLEY, W.L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v.20, p.125-128, 1966.

RAVINDRA, M.R.; CHATTOPADHYAY, P.K. Optimization of osmotic preconcentration and fluidized bed drying to produce dehydrated quick-cooking potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 44, p. 5-11, 2000.

UDDIN, M.B.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.473-477, 2004.

## CONCLUSÕES GERAIS

---

---

---

As condições experimentais utilizadas nesta pesquisa permitem as seguintes conclusões:

Conforme os estudos cinéticos, as velocidades de perda de umidade e ganho de sólidos foram maiores nas duas primeiras horas, e a taxa de difusão da sacarose é dependente da concentração da solução osmótica;

Com relação à forma de corte e às coberturas, a forma de quarto revestida com alginato permitiu a obtenção de um produto com menor incorporação de sólidos e uma perda de umidade satisfatória;

De acordo com a análise de superfície de resposta, as melhores condições para desidratação osmótica do jenipapo são: 57% de sacarose e 50°C.

**ANEXO**

---

---

---

Anexo A: Aceite do artigo: Avaliação do coeficiente de difusão da água e sacarose durante a desidratação osmótica do jenipapo.

15 October, 2005

Dr Samara Andrade  
Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Nutricao  
Heitor Maia filho, 52, Apt 402 Madalena  
RecifePE 50720525  
Brazil

phone: (81)32285467  
email: samaraandrade@uol.com.br  
fax: (81)21268473

Evaluation of Water and Sucrose Diffusion Coefficients During Osmotic Dehydration of Jenipapo (*Genipa americana* L.)  
S.A.C.Andrade, B. Barros Neto, A. C. Nóbrega, P.M.Azoubel & N.B.Guerra  
Paper reference number 05-2912

Dear Dr Andrade,

I am pleased to inform you that your paper listed above has been approved by the editors and the referees and is ready to be sent to the publishers. To speed up the publication process, the publishers now require the final versions of papers electronically. Please send me a version on disk (or if you prefer, as an e-mail attachment). If using a disk, the label must give the following data: Paper Title; Paper number; authors; software used; your contact details.

Please note that the quality of English used is your responsibility and before returning the manuscript, you must have it checked by an expert.

Yours sincerely,

Brian M. McKenna

**6º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos**  
Ciência de Alimentos: Abrindo Caminhos para o Desenvolvimento Científico, Tecnológico e Industrial

*Certificado*

Certificamos que o trabalho: "AVALIAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DIFUSÃO DA ÁGUA E SACAROSE DURANTE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DO JENIPEPO (GENIPA AMERICANA L.)." de autoria ANDRADE, S.A. C., NOBREGA, A. C., SALGADO, S.M., LIVERA, A. V.S., GUERRA, N.B. foi apresentado no **6º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos: Abrindo Caminhos para o Desenvolvimento Científico, Tecnológico e Industrial**, realizado de 07 a 10 de Novembro de 2005, Campinas – São Paulo – Brasil.

Campinas, 07 de novembro de 2005.

*[Assinatura]*  
Dra. Délia Rodriguez Amaya  
Coordenadora do Comitê de Programação

*[Assinatura]*  
Dra. Gabriela Alveiz de Macedo  
Coordenadora do Comitê Científico

*[Assinatura]*  
Dra. Gláucia Maria Pastore  
Presidente do Evento



Anexo C:

 www.sbcta.org.br	<b>Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos</b> Orgão de Utilidade Pública Lei Municipal No. 4919 de 31/08/1979 - Fundada em 08/04/1967
Av. Brasil, 2880 Caixa Postal 271 13001-970 - Campinas/SP	C.G.C: 46.113.742/0001-24 Fone/Fax: (019)3241-0527 Fone: (019)3241-5793
Campinas, 23 de setembro de 2005	
<b>ARTIGO SUBMETIDO PARA PUBLICAÇÃO</b>	
Ilmo.(a) Sr.(a) Samara Alvachian Cardoso Andrade Rua Heitor Maia Filho, 52 - Apto. 402 Madalena CEP 50720-525 Recife - PE	
Informamos que o artigo: <b>Influência de revestimentos comestíveis na redução de ganho de sólidos em jenipapos desidratados osmoticamente submetido para publicação no(a) Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos</b> , foi cadastrado com o número 001613.	
Atenciosamente,	
Diretoria de Publicações/SBCTA	

## APÊNDICE

---

---

---

Apêndice : Análise de variância para variação de peso (*VP*), ganho de sólidos (*GS*), perda de umidade (*PU*) e DEI (Dehydration Efficiency Index).

Fonte	SQ	GL	MQ	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>	p
<b>Varição de peso</b>						
Regressão	329,20	5	65,84	8,93	5,05	
Resíduo	36,87	5	7,37	-	-	-
Falta de ajuste	25,33	3	-	-	-	0,430
Erro puro	11,54	2	-	-	-	
Total	366,07	10	-	-	R <sub>2</sub> =0,8993	
<b>Perda de Umidade</b>						
Regressão	313,71	5	62,74	12,50	5,05	
Resíduo	25,08	5	5,02	-	-	-
Falta de ajuste	22,43	1	-	-	-	0,154
Erro puro	2,65	3	-	-	-	
Total	338,79	10	-	-	R <sub>2</sub> =0,9265	
<b>Ganho de sólidos</b>						
Regressão	18,52	5	3,70	1,55	5,05	
Resíduo	11,91	5	2,38	-	-	-
Falta de ajuste	10,16	3	-	-	-	0,212
Erro puro	1,75	2	-	-	-	
Total	30,43	10	-	-	R <sub>2</sub> =0,602	
<b>DEI</b>						
Regressão	20,91	5	4,18	7,6	5,05	
Resíduo	2,73	5	0,55	-	-	-
Falta de ajuste	2,24	3	-	-	-	0,256
Erro puro	0,49	2	-	-	-	
Total	23,64	10	-	-	R <sub>2</sub> =0,8823	

SQ: soma quadrática; GL: grau de liberdade; MQ: Média quadrática; F<sub>c</sub>:Fcalculado;F<sub>t</sub>:tabelado.

Andrade, Samara Alvachian Cardoso  
Otimização da desidratação osmótica do jenipapo  
*Genipa americana* L.) / Samara Alvachian Cardoso  
Andrade. – Recife : O Autor, 2005.  
109 folhas ; il., fig., tab.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de  
Pernambuco. CCS. Nutrição, 2005.

Inclui bibliografia, apêndice e anexo.

1. Ciência de alimentos – Preservação dos  
alimentos. 2. *Genipa americana* L. (jenipapo) –  
Desidratação osmótica – Filmes comestíveis –  
Alginatos e pectinas. 3. Cinética da desidratação  
osmótica – Água e sacarose – Coeficiente de difusão.  
4. Otimização da desidratação – Metodologia da  
superfície de resposta. I. Título.

612.392.7  
612.3

CDU (2.ed.)  
CDD (22.ed.)

UFPE  
BC2006-015