Elke Shigematsu

Influência de Pré - Tratamentos Sobre a Desidratação Osmótica e a Secagem de Carambolas



cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18 19

1910001334

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"

INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS SOBRE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E A SECAGEM DE CARAMBOLAS

Engenheira Elke Shigematsu

São José do Rio Preto – SP
Setembro 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – DETA
CAMPUS DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP

INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS SOBRE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E A SECAGEM DE CARAMBOLAS

Engenheira Elke Shigematsu

Profª. Drª. Maria Aparecida Mauro
Orientadora

Profª. Drª. Mieko Kimura
Co-orientadora

São José do Rio Preto – SP
Setembro 2004

ELKE SHIGEMATSU

INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS SOBRE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E A SECAGEM DE CARAMBOLAS

Inst. de Biociências, Letras e Ciências Exatas - UNESP
BIBLIOTECA
S. J. Rio Preto
T. 1334/05

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de São José do Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de Concentração: Engenharia de Alimentos)

Orientadora: Profª. Drª. Maria Aparecida Mauro
Co-orientadora: Profª. Drª. Mieko Kimura

São José do Rio Preto – SP

Setembro 2004

50702009

664.854
S555i

13/01/2005
Doação
R$ 25,00
Autor(a)
076/2005

Shigematsu, Elke.
Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica e a secagem de carambolas / Elke Shigematsu – São José do Rio Preto : [s.n.], 2004
110 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Maria Aparecida Mauro
Co-orientador: Mieko Kimura
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Frutas - Desidratação. 2. Carambola - Secagem. 3. Carambola - Pré-tratamento. 4. Desidratação osmótica. 5. Cinética de secagem. 6. Avaliação sensorial. 7. Revestimentos para comestíveis. I. Mauro, Maria Aparecida. II. Kimura, Mieko. III. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. IV. Título.

CDU – 664.854

ELKE SHIGEMATSU

INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS SOBRE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E A SECAGEM DE CARAMBOLAS

COMISSÃO JULGADORA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Profª. Drª. Maria Aparecida Mauro

Profª. Drª. Florência Cecília Menegalli

Profª. Drª. Vânia Regina Nicolleti Telis

Profª. Drª. Fábio Yamashita

Profª. Drª. Roger Darros Barbosa

São José do Rio Preto, 24 de setembro de 2004

DADOS CURRICULARES

ELKE SHIGEMATSU

NASCIMENTO	27.03.1978 – TUPÃ/SP
FILIAÇÃO	Roberto Shigematsu
	Heide Shigematsu

03/97 à 06/02	Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos – Universidade de Marília
08/02 à 09/04	Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, nível mestrado, na Universidade Estadual Paulista, Campus de São José do Rio Preto/SP.

unesp

Aos meus pais, Heide e Roberto Shigematsu, meu irmão Elton e minha avó Úrsula, os quais sempre me apoiaram em meus estudos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Profª. Drª. Maria Aparecida Mauro, pela imensa paciência, dedicação e apoio na realização deste trabalho.

Aos professores Doutores Florencia Cecília Menegalli e Vânia Nicoletti Telis pela participação na banca da tese.

Ao professor Doutor Fábio Yamashita pelas grandiosas correções na realização da tese

Aos professores Doutores Roger Darros Barbosa e Vânia Regina Nicoletti Telis pelas sugestões na elaboração da tese e participação da banca de Qualificação.

A amiga e graduando Nênis Maria Eik pela ajuda valiosa no desenvolvimento deste projeto.

Aos colegas da pós-graduação, pelos bons momentos em convívio, em especial as amigas Luci Kelly Guizzo e Crislene Barbosa de Almeida, as quais sempre me apoiaram.

Aos técnicos João Jesuíno e Newton Mayer Filho pelo auxílio técnico durante meus experimentos.

Á todos os professores do DETA, que de forma direta ou indireta, colaboraram para realização deste trabalho.

À Professora Mestre Patrícia Damy pelo apoio e incentivo à realização do mestrado.

À CNPq pelo auxílio financeiro e FUNDUNESP pelo suporte para realização da pesquisa

Nossa alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido, não na vitória propriamente dita.

Ghandi

SUMÁRIO

Índice de Figuras i

Índice de Tabela iii

Nomenclatura viii

Resumo 1

Abstract 3

1. Introdução e Justificativa 5

1.1. Carambola 5

1.2. Kiwi 7

1.3. Morango 8

1.4. Desidratação Osmótica e Secagem 10

2. Revisão Bibliográfica 12

3. Objetivos 21

Capítulo I – *Influência de Pré-tratamentos sobre a Desidratação Osmótica de Frutas* 22

A – Carambolas 22

1. Introdução 22

2. Material e Métodos 22

2.1. Material 22

2.2. Equipamentos 23

2.2.1. Desidratação Osmótica em Cuba 23

2.2.2. Desidratação Osmótica em Plataforma de Agitação (*shaker*) 23

2.3. Metodologia 25

2.3.1. Amostragem 25

2.3.2. Adição de Coberturas 25

2.3.3. Desidratação Osmótica em Cuba 27

2.3.4. Desidratação Osmótica em Plataforma de Agitação (*shaker*) 29

2.4. Procedimento para Seleção de Tratamento 29

2.5. Métodos Analíticos 30

3. Forma de Análise dos Resultados 30

4. Resultados e Discussões 32

4.1. Comparação entre Coberturas Úmidas 32

4.2. Comparação entre Coberturas Secadas 35

4.3. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas – 1 38

4.4. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas – 2 40

B – Kiwi e Morango 43

1. Introdução 43

2. Material e Métodos 43

2.1. Material 43

2.2. Metodologia 44

2.2.1. Desidratação Osmótica em Cuba 44

2.2.2. Desidratação Osmótica em *shaker* – Ensaios com $CaCl_2$ 44

3. Procedimentos conduzidos com Kiwi 44

4. Procedimentos conduzidos com Morango 45

5. Resultados e Discussões 45

5.1. Kiwi 45

5.1.1. Comparação entre Cobertura Úmida e Secada 45

5.1.2. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas 48

5.2. Morango 49

5.2.1. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas 49

6. Conclusões 52

Capítulo II – *Desidratação Osmótica e Secagem Convectiva de Carambolas* 53

1. Introdução 53

2. Material e Métodos 54

2.1. Material 54

2.2. Equipamentos 54

2.2.1. Cuba para Desidratação Osmótica 54

2.2.2. Plataforma de Agitação 54

2.2.3. Secador 54

3. Procedimento 56

3.1. Cinética da Desidratação Osmótica 56

3.2. Ensaio de Equilíbrio Osmótico 58

3.3. Secagem 58

3.4. Métodos Analíticos 59

4. Modelo Matemático 60

4.1. Cinética da Desidratação Osmótica e da Secagem 60

5. Resultados e Discussões 63

5.1. Cinética da Desidratação Osmótica 63

5.2. Ensaio de Equilíbrio Osmótico 69

5.3. Secagem 72

5.3.1. Cinética da Secagem 78

5.3.2. Encolhimento 83

6. Conclusões 87

Capítulo III – *Avaliação de Carambolas em fatias desidratadas* 88

1. Introdução 88

2. Material e Métodos 89

2.1. Material 89

2.2. Avaliação Sensorial 89

2.3. Análise Estatística 91

3. Resultados e Discussões 91

4. Conclusões 93

Conclusões Gerais 94

Sugestões 95

Referências Bibliográficas 96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Carambolas (*in natura*) inteiras embaladas com filme plástico 24

Figura 2: Cuba construída em aço inoxidável 24

Figura 3: Pesagem das carambolas (*in natura*) nos cestos de nylon com tampa de aço inoxidável antes da DO..... 26

Figura 4: Carambolas (*in natura*) sendo fatiadas 26

Figura 5: Conjunto para amostragem..... 28

Figura 6: Disposição dos cestos dentro da cuba de desidratação osmótica..... 28

Figura 7: Balança acoplada ao secador..... 55

Figura 8: Microcomputador acoplado ao Secador..... 55

Figura 9: Disposição das telas com as carambolas dentro do secador..... 57

Figura 10: Secador de ar aquecido 57

Figura 11: Comparação dos valores experimentais (exp) e calculados (cal) segundo a solução analítica da equação de Fick (eq. 12). Na solução aquosa de sacarose (50%) e na solução aquosa de sacarose (50%), com adição de 0,04M $CaCl_2$. 66

Figura 12: Comparação dos valores experimentais (exp) e calculados (cal) segundo a solução analítica da Equação de Page (14). Na solução aquosa de sacarose (50%) e na solução aquosa de sacarose (50%), com adição de 0,04M $CaCl_2$. 68

Figura 13: Curvas de secagem, em base úmida, das carambolas *in natura* e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem adição de cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60°C e 70°C. 74

Figura 14: Curvas de Secagem, em base seca, das carambolas in natura e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem adição de cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60ºC e 70ºC. 75

Figura 15: Média das taxas de secagem, em base seca, das carambolas in natura, submetidas a secagem com ar aquecido a 60ºC e 70ºC 75

Figura 16: Média das taxas de secagem, em base seca, das carambolas pré-tratadas osmoticamente, com ou sem adição de cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60ºC e 70ºC. 76

Figura 17: Curvas de secagem, em base seca, das carambolas in natura, com diferentes quantidades de amostra, submetidas à secagem com ar aquecido a 60°C. 78

Figura 18: Comparação entre os resultados experimentais (exp) e os calculados (cal) segundo a equação de Page (eq. 14 e 15), para as curvas de secagem (base seca) das carambolas *in natura* e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem $CaCl_2$, submetidas à secagem com ar aquecido a 60°C e 70°C. 82

Figura 19: Entradas de ar do secador 90

Figura 20: Realização da Análise Sensorial 90

Figura 21: Gráficos das médias e desvios padrão das notas de aparência, textura e sabor de carambolas em fatias secadas a 60 e 70°C, sem pré-tratamento e pré-tratadas em solução de sacarose 50% e em solução de sacarose 60% com adição de CaCl2 a 0,04 M. 91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de nutrientes (vitaminas e minerais), em 100 gramas, de carambola *in natura*.....6

Tabela 2: Quantidade de nutrientes (vitaminas e minerais), em 100 gramas, de kiwi *in natura*.....8

Tabela 3: Quantidade de nutrientes (vitaminas e minerais), em 100 gramas, de morango *in natura*.....9

Tabela 4: Resultados obtidos pela desidratação de fatias de carambola *in natura* e cobertas com pectina ou pectina/amido, em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba.....33

Tabela 5: Porcentagem de massa de cobertura, Umidade das coberturas de pectina e amido e Umidade calculada da fatia *in natura* com cobertura.....33

Tabela 6: Teor de sacarose calculado nas fatias de carambola após o processo de desidratação osmótica em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba.....34

Tabela 7: Resultados obtidos pela desidratação, em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba, de fatias de carambola *in natura* e cobertas com pectina (2%) e secadas em estufa em diferentes condições.....35

Tabela 8: Umidade da fatia com cobertura secada em estufa.....36

Tabela 9: Teor de sacarose calculado nas fatias de carambola *in natura* e cobertas com pectina (2%) e secadas em estufa em diferentes condições.....36

Tabela 10: Resultados obtidos pela desidratação de fatias de carambola por 2h, 27°C, em shaker, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$.....39

Tabela 11: Teor de sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente por 2h, 27°C, em *shaker*, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$ 40

Tabela 12: Resultados obtidos pela desidratação de fatias de carambola por 2h, 27°C em *shaker* em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$ ou previamente imersas em $CaCl_2$ 41

Tabela 13 : Teor de sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente por 2h, 27°C, em *shaker*, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$ 42

Tabela 14: Resultados obtidos pela desidratação, em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba, de fatias de kiwi *in natura* e cobertas com pectina (2%) e secadas ou não em estufa 46

Tabela 15: Porcentagem de massa de cobertura úmida, Umidade das coberturas de pectina e amido e Umidade calculada da fatia *in natura* com cobertura 46

Tabela 16: Teor de sacarose calculado nas fatias de kiwi após o processo de desidratação osmótica em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba..... 47

Tabela 17: Resultados obtidos pela desidratação de fatias de kiwi, em solução de sacarose (50%) e solução de sacarose (50%) adicionada de $CaCl_2$, por 2h, 27°C, em *shaker* 48

Tabela 18: Teor de sacarose e de açúcares redutores analisados nas fatias de kiwi tratadas em solução de sacarose (50%) adicionada de $CaCl_2$, por 2h, 27°C, em *shaker*..... 49

Tabela 19: Resultados obtidos pela desidratação de fatias de morango por 2h, 27°C, em *shaker*, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$..... 50

Tabela 20: Teor de sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de morango desidratadas osmoticamente por 2h, 27°C, em *shaker*, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$ 51

Tabela 21: Conteúdo de umidade, de sacarose e açúcares redutores, variação de massa, perda de água, ganho de sacarose e coeficiente de eficiência durante a desidratação osmótica de fatias de carambola imersas em solução de sacarose a 50% (p/p) adicionada de 0,04M de $CaCl_2$, em função do tempo de tratamento 64

Tabela 22: Conteúdo de umidade, de sacarose e açúcares redutores, variação de massa, perda de água, ganho de sacarose e coeficiente de eficiência durante a desidratação osmótica de fatias de carambola imersas em solução aquosa de sacarose a 50%(p/p), em função do tempo de tratamento 64

Tabela 23: Coeficientes de Difusão (eq. 12 e 13) e Média dos resíduos (eq. 16) para a água e sacarose em cada tratamento considerado 65

Tabela 24: Coeficientes de Transferência de Massa e Média dos resíduos (eq.16) para a água e sacarose em cada tratamento considerado, calculados segundo a equação (14) 67

Tabela 25: Teor de umidade, sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente, em *shaker*, em solução de sacarose (50%), adicionada de $CaCl_2$ 69

Tabela 26: Teor de umidade, sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente, em *shaker*, em solução de sacarose (50%) 69

Tabela 27: Variação de massa (ΔM), perda de água ($\Delta P_{água}$), ganho de sacarose ($\Delta G_{sacarose}$) e perda de açúcar redutor ($\Delta P_{aç.red}$) das carambolas utilizadas nos ensaios de equilíbrio 70

Tabela 28: Variação de massa (ΔM), perda de água ($\Delta P_{água}$), ganho de sacarose ($\Delta G_{sacarose}$) das carambolas que sofreram desidratação osmótica com e sem adição de cloreto de cálcio e que foram utilizadas para a secagem a 60 e 70ºC 73

Tabela 29: Umidade das carambolas, em base úmida, após as secagens a 60ºC e 70ºC, e/ou após a desidratação osmótica com e sem adição de $CaCl_2$ 73

Tabela 30: Coeficientes determinados segundo a equação de Fick (eq. 12) e as médias dos resíduos (eq. 16), para as curvas de secagem das carambolas *in natura* e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60°C e 70°C 79

Tabela 31: Variação da espessura das fatias de carambolas, *in natura*, após o processo de DO e após Secagem, e as médias utilizadas na solução analítica de Fick 80

Tabela 32: Coeficientes determinados segundo a equação de Page (eq. 14) e as médias dos resíduos (eq. 16), para as curvas de secagem das carambolas *in natura* e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60°C e 70°C 83

Tabela 33: Massa da carambola secada (m^S) em relação à massa inicial. m_0 (*in natura*),umidade da amostra secada, densidades *in natura* e secadas e encolhimentos na secagem a 60 e 70°C 84

Tabela 34: Massa da carambola desidratada osmoticamente, com e sem a adição de cloreto de cálcio, em relação à massa inicial (*in natura*), umidade da amostra desidratada, densidades *in natura* e desidratada e encolhimentos na desidratação osmótica a 50% 85

Tabela 35: Massa da carambola secada em relação à massa inicial (desidratada osmoticamente), umidade da amostra secada, densidades das amostras desidratadas osmoticamente e secadas 85

Tabela 36: Etapas do encolhimento da carambola durante a DO (2 h), a secagem (5 h)e o encolhimento total (DO + secagem) nas temperaturas de 60 e 70ºC 85

Tabela 37: Médias e desvios padrão das notas de aparência, textura e sabor de carambolas em fatias secadas a 60 e 70°C 92

NOMENCLATURA

AR	teor de açúcares redutores	adimensional
B	constante da equação de Page	adimensional
Bs	base seca	
Bu	base úmida	
Ca	adição de cloreto de cálcio na solução osmótica	
CB	cobertura	
D_{im}	coeficiente de difusão efetivo binário da espécie *i* difundindo através do meio *m*	[L^2/t]
DO	desidratação osmótica	
E	eficiência	adimensional
G	ganho	
IM	imersão de fatias em solução de cloreto de cálcio	
$\vec{j}_i$	fluxo de massa da espécie *i*	[M/L^2t]
K	constante da equação de Page	[t^{-B}]
K	número de variáveis independentes	
L	meia espessura	[L]
M	concentração	adimensional
M	massa	[M]
N	número de observações ou resíduos	
P	perda	
S	teor de sacarose	adimensional
S	secadas em estufa (40 e 70ºC/ 10 e 40 minutos)	
T	tempo	[t]
U	umidade	adimensional
$\vec{v}_i$	velocidade da espécie i	[L/t]
$\vec{v}$	velocidade média global	[L/t]
V	volume	[L^3]
V_c	valor calculado, do quadrado dos resíduos $(V_e - V_c)^2$	
V_e	valor experimental, do quadrado dos resíduos $(V_e - V_c)^2$	
X	fração de massa em base seca	adimensional

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

$\bar{X}$	fração de massa média em base seca	adimensional

Símbolos Gregos

Δ	variação	
ρ	concentração volumétrica ou densidade	$[M/L^3]$
ω	fração de massa média em base úmida	adimensional

Subíndices e Superíndices

0	tempo inicial
i	tempo inicial
i	espécie
f	final
aç.red.	açúcares redutores
c	coberturas
eq	equilíbrio (superfície)

RESUMO

Visando incrementar a qualidade de frutas desidratadas em secadores convencionais, estudou-se a Desidratação Osmótica (DO) de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em solução de sacarose, com o objetivo de otimizar o processo, e em seguida, avaliou-se a influência de alguns pré-tratamentos sobre a cinética de secagem e sobre a qualidade sensorial dos produtos obtidos.

Num primeiro conjunto de experimentos preliminares, aplicaram-se coberturas comestíveis sobre as fatias de frutas, antes da desidratação osmótica em solução aquosa de sacarose a 50%, p/p, a 27°C. As coberturas comestíveis foram obtidas a partir de solução de pectina de baixa metoxilação, assim como de amido com pectina de baixa metoxilação, gelificadas com cloreto de cálcio. Também foi testada, num segundo conjunto de experimentos, a secagem parcial da cobertura (pectina 2%), em estufa, por 10 e 40 minutos, a 40 e 70ºC, antes da DO. Num terceiro conjunto de experimentos testou-se a adição de cloreto de cálcio (0,02M, 0,04M e 0,06M) na própria solução osmótica e a imersão da fruta em solução de cloreto de cálcio (2% e 4%), previamente à desidratação osmótica.

A eficiência da desidratação osmótica foi medida com base na maior razão entre perda de água e ganho de soluto. As coberturas à base de pectina e de amido e pectina, *úmidas ou secadas em estufa antes da desidratação* osmótica, se mostraram inviáveis para melhoria da eficiência do processo, devido à grande retenção de umidade e à fácil impregnação de sacarose nas mesmas. O tecido vegetal, sem revestimento, restringiu mais a transferência de soluto e propiciou maior saída de água.

A utilização de soluções de cloreto de cálcio a 0,04M, na própria solução osmótica de sacarose (50%, p/p), melhorou ligeiramente a eficiência do processo. A cinética da DO foi bem representada pelo modelo de Page. Coeficientes de difusão efetivos correspondentes à solução sem adição de

cálcio, estimados através do modelo de Fick, resultaram ligeiramente superiores àqueles determinados com a presença do mesmo.

Amostras não tratadas e amostras pré-tratadas em soluções osmóticas com e sem adição de cloreto de cálcio, foram submetidas à secagem a 60 e 70ºC, e posteriormente avaliadas quanto à aceitação sensorial. As taxas de secagem das amostras pré-tratadas foram superiores àquelas obtidas com amostras não tratadas. A 70ºC, os maiores coeficientes de difusão efetivos foram obtidos para as frutas pré-tratadas.

Os pré-tratamentos também geraram resultados positivos na qualidade sensorial da carambola desidratada em fatias, em comparação com a fruta não tratada, o que foi detectado através de testes de preferência quanto aos atributos sabor, aparência e textura. A temperatura de secagem de 60ºC também provou melhorar as características desses produtos, quando comparada a 70ºC.

ABSTRACT

In order to improve the quality of fruits dehydrated in conventional driers, osmotic dehydration of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) slices in sucrose solution was studied, aiming at optimizing the process, and the influence of some pre-treatments on the drying kinetic and the sensorial quality of the dry fruit was evaluated.

At a first set of trials, an edible coating was applied on the slices followed by osmotic dehydration in sucrose aqueous solution at 50%, p/p, at 27°C. The edible coatings were obtained from low-methoxyl-pectin solution as well as from starch with low-methoxyl-pectin, jellified with calcium chloride. On a second set of trials, the coating partial drying (pectin 2%), in the oven, for 10 and 40 minutes, at 40 and 70 °C, before OD, was also assessed.

At a third set of trials the addition of the calcium chloride (0.02M, 0.04M and 0.06M) in the osmotic solution itself and the immersion of the fruit in calcium chloride solution (2% e 4%), previously to the osmotic dehydration, it was tested.

The efficiency of the osmotic dehydration was measured on the basis of the highest ratio between water loss and solute gain. The pectin based and starch+pectin based coatings, moist or oven-dried before the osmotic dehydration, were not viable on the process efficiency improvement due to the high moisture retention and the easy sucrose impregnation of them. The vegetal tissue, uncoated, restrained more of the solute transfer and allowed a higher water output.

The use of 0.04M $CaCl_2$ solutions, in the sucrose osmotic solution (50%, p/p) itself, slightly improved the process efficiency in relation to the solution without salt. The kinetic of the DO was well represented by Page's model. The water and sucrose effective diffusion coefficients in fruit immersed in osmotic solution without $CaCl_2$ resulted in a slightly higher value then those determined in with $CaCl_2$.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Samples not treated and pre treated in osmotic solutions with and without $CaCl_2$ were dried at 60 and 70ºC, and afterwards, sensorial acceptance was evaluated. The drying rates of the pre-treated samples were higher than those not treated. The highest effective diffusion coefficients were obtained for the pre-treated fruits at 70°C.

These pre-treatments also yielded positive results on the sensorial evaluation of the air dried star fruit slices, in comparison with the non treated fruit, which were detected by the preference tests as for flavor, aspect and texture attributes. Drying temperature at 60°C also proved to enhance these product qualities when compared to that at 70°C.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A grande variedade de frutas e vegetais existentes se distribui pelo mundo de acordo com a cultura, economia e, principalmente, o clima e a região.

Com o desenvolvimento da tecnologia, conseguiu-se trazer para o Brasil frutas até então não cultivadas no país, como o kiwi, morango e a carambola. Essas frutas, consideradas exóticas, apresentam altos teores de vitaminas e sais minerais, que são fontes essenciais para a nutrição dos seres humanos, além de terem alto conteúdo de fibras, também importantes para a saúde (PRATI; NOGUEIRA; DIAS, 2002). Por outro lado, essas frutas contêm um alto teor de umidade, facilitando sua deterioração, e necessitam de muitos cuidados na colheita, transporte e armazenamento, devido à fragilidade. Essas frutas *in natura* apresentam vida de prateleira curta, mesmo em condições de temperatura e umidade controladas; o período de safra é de poucos meses e, por essa razão, alternativas de processamento são interessantes. A desidratação diminui a disponibilidade da água para reações de deterioração e conseqüentemente aumenta a estabilidade das frutas, possibilitando seu armazenamento em condições ambiente.

1.1. Carambola

A carambola, de origem Asiática, é cultivada no Brasil com grande êxito, pois a planta necessita de climas quentes e úmidos. A espécie *Averrhoa carambola* L. é a mais conhecida comercialmente devido à capacidade de rápido desenvolvimento, alta produtividade, seleção de novos tipos doces e fruto com aparência e sabor únicos (SAUCO, 1994 *apud* ARAÚJO, 2000). Na **Tabela 1** são apresentados os nutrientes da carambola, sendo destaque a presença de vitamina A, muito importante para dieta alimentar.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Tabela 1: Quantidade de nutrientes (vitaminas e minerais), em 100 gramas, de carambola *in natura*

CARAMBOLA (*Averrhoa Carambola L.*)		
Nutrientes	**Unidades**	**Valores por 100 gramas da fruta**
Umidade	g	90.92
Proteína	g	0.54
Lipídeos	g	0.35
Cinza	g	0.37
Carboidratos (por diferença)	g	7.83
Fibras	g	2.7
Açúcares Totais	g	5.13
Vitamina C (total de ácido ascórbico)	mg	21.2
Vitamina A (IU)	IU	61
Potássio (K)	mg	163

Fonte: USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 16-1 (2004)

O fruto possui uma forma que varia de oblongo a elipsóide, com 6 a 15 cm de comprimento e com 4 a 5 recortes longitudinais, que correspondem aos carpelos (CAMPBELL e KOCH, 1989 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2001) que quando cortadas transversalmente, exibem-se com um contorno poligonal estrelado. A casca é translúcida, lisa e brilhante, e a cor varia do esbranquiçado ao amarelo-ouro intenso (WILSON, 1990 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2001). Os frutos pesam em média 140 a 150 gramas e o principal consumidor é o Estado de São Paulo. A comercialização apresenta sazonalidade, com pico de oferta nos meses de janeiro, fevereiro e março, alcançando maiores preços nos meses de novembro e dezembro (ARAÚJO; SCARPARE; MINAMI, 2001). Porém, no Brasil, o cultivar doce-híbrido tem sido encontrado ao longo do ano todo (Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do Estado da Bahia, 2003).

1.2. Kiwi

O kiwi é uma planta de clima temperado, originária do sul da China e mais tarde levada à Nova Zelândia, hoje principal produtor mundial. No Brasil ela se adaptou melhor em toda a região sul até Estado de São Paulo. O Estado de Santa Catarina destaca-se como o principal produtor nacional de kiwi (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2000). Seu potencial para utilização industrial tem importância cada vez maior, pela disponibilidade das frutas de maneira diversa durante todo o ano, e pelo aproveitamento daquelas que apresentam defeitos (calcula-se de 10-15% da produção anual), sem qualidade para consumo *in natura* (NUCCI, 1996 *apud* BORTOLINI, 2001).

O Brasil importa anualmente cerca de 90% do necessário para abastecer o consumo interno da fruta. Apesar da implantação dos pomares representar um investimento alto, o cultivo não necessita de grandes gastos, pois o kiwi tem uma penugem que oferece proteção natural contra o ataque de insetos, e por isso o pomar não depende de agrotóxicos (Secretaria da Agricultura de Farroupilha, 2004).

A planta dessa espécie é conhecida como *Actinidia chinensis*, Planck . A fruta tem vários nomes vulgares como quiui ou quivi (Brasil), Kiwi fruit e chinese goosebery (groselha) na Nova Zelândia, e mihoutao e yangtao na China. O cultivar Monty, encontrado no Estado de São Paulo, apresenta fruto oval achatado na base, comprimento com cerca de 7-12cm. A cor externa é marrom e a cor interna varia do verde ao amarelo, por ter alto conteúdo de carotenóides (Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do Estado da Bahia, 2003).

Na **Tabela 2** são apresentados os nutrientes, do kiwi, sendo este rico em vitamina C e A e também em potássio.

unesp

Tabela 2: Quantidade de nutrientes (vitaminas e minerais), em 100 gramas, de kiwi *in natura*

KIWI (*Chinese gooseberries*)		
Nutrientes	**Unidades**	**Valores por 100 gramas da fruta**
Umidade	g	83.07
Proteína	g	1.14
Lipídeos	g	0.52
Cinza	g	0.61
Carboidratos (por diferença)	g	14.66
Fibras	g	3.0
Açúcares Totais	g	8.99
Vitamina C (total de ácido ascórbico)	mg	92.7
Vitamina A (IU)	IU	87
Potássio (K)	mg	312

Fonte: USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 16-1 (2004)

1.3. Morango

O morango, de origem Européia, é considerado um dos frutos mais importantes. Trata-se de um produto destinado à sobremesa, muito delicado e altamente perecível, que há muitos anos é cultivado e comercializado no Brasil. Conseqüentemente, os problemas mais importantes desta cultura são os relativos à embalagem, transporte e conservação.

Na **Tabela 3**, são apresentados os nutrientes do morango.

Tabela 3: Quantidade de nutrientes (vitaminas e minerais), em 100 gramas, de morango *in natura*

MORANGO (*Fragaria X ananassa*)		
Nutrientes	**Unidades**	**Valores por 100 gramas da fruta**
Umidade	g	90.95
Proteína	g	0.67
Lipídeos	g	0.30
Cinza	g	0.40
Carboidratos (por diferença)	g	7.68
Fibras	g	2.0
Açúcares Totais	g	4.66
Vitamina C (total de ácido ascórbico)	mg	58.8
Vitamina A (IU)	IU	12
Potássio (K)	mg	153

Fonte: **USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 16-1 (2004)**

A cultura do morangueiro (*Fragaria ananassa* Duch) vem desenvolvendo-se rapidamente em várias partes do país. Essa ampla distribuição é devido à fácil adaptação de cultivo, clima e às características da fruta. Entre os responsáveis pela maior parte da produção encontram-se os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul (RAMANA BOBRINHO; CORREIA; SALGADO, 1991 *apud* HENRIQUE e CEREDA, 1999).

Os cultivares mais plantados no Brasil são IAC Campinas, Guarani, AGF-80, Sequóia, Princesa Isabel, e Lasse. Recentemente foi introduzido, do Japão, a cultivar Toyonoka, com alta produtividade e frutos mais doces e a americana Dover, com frutos de maior durabilidade pós-colheita.

As regiões produtoras brasileiras iniciam os plantios durante os meses de março a maio, com a produção de frutos se concentrando principalmente nos meses de junho a novembro (CAMARGO FILHO *et al.*, 1994 *apud* HENRIQUE e CEREDA, 1999). Portanto, o morango comercializado

de dezembro a maio é procedente de estoques frigorificados, em quantidade muito baixa e com o preço muito alto.

1.4. Desidratação Osmótica e Secagem

A secagem ou desidratação é muito utilizada para a preservação de alimentos pois, além de diminuir a disponibilidade da água para reações de deterioração dos produtos, aumentando a estabilidade dos mesmos, e reduzir seu volume, facilitando o transporte e armazenagem, trata-se de uma técnica simples, muitas vezes menos dispendiosa que outros processamentos. A secagem de alimentos utilizando o ar aquecido, baseia-se no aumento da temperatura do produto para evaporação da água que este contém, o que pode provocar alterações indesejáveis nos mesmos. Portanto, a qualidade de produtos desidratados geralmente é baixa, devido ao escasso conhecimento sobre particularidades do processo, o que dificulta o controle e geralmente compromete as características físicas e nutricionais dos mesmos.

A inclusão de pré-tratamentos antes da secagem de alimentos com ar aquecido, como a aplicação de coberturas comestíveis e a desidratação osmótica (DO), tem apontado para resultados positivos. O processo de DO de vegetais consiste em colocar pedaços dos mesmos em soluções hipertônicas, geralmente aquosas, e com açúcar ou sal como solutos. Devido à diferença de concentração entre o agente osmótico e a fruta, são criados fluxos simultâneos em contra corrente, através do tecido vegetal. Numa direção, um fluxo de água, o mais importante do ponto de vista da desidratação, junto com pequena quantidade de solutos, sai da fruta para solução, enquanto que em direção contrária há um fluxo de solutos (sal ou açúcar) da solução para a fruta.

Filmes e coberturas comestíveis são finas camadas de material digerível adicionadas sobre um alimento (DONHOWE e FENNEMA, 1994). Segundo Wong, Camirand e Pavlath (1994), há inúmeras vantagens de se usar coberturas comestíveis, como polímeros permeáveis a água, sobre pedaços de vegetais, antes de tratamentos osmóticos: aumento da eficiência do processo de desidratação, redução da perda de aromas, cor e nutrientes, redução da

unesp

impregnação de solutos da solução osmótica, no alimento, manutenção da integridade física durante o manuseio dos alimentos, redução da difusão do oxigênio para o interior do alimento, dentre outras.

Esta dissertação está dividida em 3 capítulos, sendo o primeiro referente aos testes preliminares conduzidos com coberturas à base de pectina e amido e também com a adição de $CaCl_2$, em várias concentrações, na solução de desidratação osmótica. A carambola foi submetida aos diversos pré-tratamentos com o objetivo de verificar a melhor eficiência durante a DO. Ainda no Capítulo 1, apresentaram-se os testes realizados com kiwi e morango, para avaliar o comportamento de diferentes tecidos vegetais submetidos a esses tratamentos.

Devido à crescente demanda de informações, ao apelo mercadológico quanto ao formato e sabor exóticos, às possibilidades quanto à utilização do fruto, à adaptabilidade da planta às condições climáticas do Brasil e principalmente à quantidade e regularidade da produção, a carambola foi selecionada para os ensaios seguintes.

No capítulo 2 são apresentadas as cinéticas da DO e da secagem para fatias de carambolas, e seus respectivos encolhimentos.

Para finalizar foi conduzida uma análise sensorial com carambolas com e sem tratamentos prévios à secagem, sendo que a fruta pré-tratada e secada a 60ºC obteve as maiores notas no atributo sabor, provando melhorar as características das frutas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A preocupação com a preservação de alimentos mantendo suas características sensoriais e nutricionais, tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Sendo que a procura por alimentos saudáveis tem aumentado a cada dia. Porém, o tempo disponível para o preparo dos alimentos tem sido reduzido devido à vida agitada nas cidades.

Uma das principais causas da deterioração de alimentos frescos e também conservados é a quantidade de água disponível para reações, presente nos mesmos (MANNHEIM; LIU; GILBERT, 1994). Assim é necessária a utilização de métodos para que o alimento se torne estável frente à deterioração química e microbiana (LABUZA, 1980).

A utilização de métodos convencionais de preservação, tais como secagem com ar aquecido, precedidos por métodos alternativos, como a desidratação osmótica, minimizam as alterações nas características do produto.

A secagem com ar aquecido é definida como um processo de remoção de umidade, a qual, baseia-se no aumento da temperatura do produto para evaporação da água por transferência de massa e calor simultâneos. É considerado um método clássico de preservação de alimentos, que prolonga a vida-de-prateleira, facilitando o transporte do produto e reduzindo o espaço para seu armazenamento (ERTEKIN e YALDIZ, 2004).

O processo de secagem com ar aquecido é considerado o mais simples e econômico, e amplamente utilizado em todos os países. Porém, altas temperaturas empregadas podem provocar alterações indesejáveis nos alimentos: o encolhimento que causa o colapso das células, fazendo, portanto, que estas percam a água do seu interior, a baixa reidratação do produto seco, e a desfavorável perda de cor, textura, sabor e o valor nutricional (MAZZA, 1983 *apud* KARIM e WAI, 1999). Conforme Ertekin e Yaldiz, (2004), temperaturas e velocidades do ar de secagem elevadas diminuem o tempo de secagem dos alimentos, porém temperaturas acima de 60ºC para berinjela e

outros vegetais diminuem o brilho da sua aparência, havendo rejeição dos consumidores.

Devido aos problemas apresentados pela secagem convencional, muitos pesquisadores têm investido em tratamentos prévios à secagem, como a desidratação osmótica e coberturas comestíveis. Têm-se várias referências de estudos sobre o tema, apesar de serem trabalhos bastante independentes, a grande maioria abordando unicamente o processo de DO, alguns combinando desidratação osmótica com secagem (LEWICKI e LUKASZUK, 2000, LENART, 1996, KARATHANOS; KOSTRAPOULOS; SARAVACOS, 1995, COLLIGAN; RAOULT-WACK; THEMELIN, 1992, CARRIZO, 2002, MURARI, 2000), e alguns, ainda, combinando coberturas comestíveis com desidratação osmótica (CAMIRAND *et al.*, 1968, CAMIRAND *et al.*, 1992, ISHIKAWA e NARA, 1990, LENART e PIOTROWIST, 2001, LENART e DOBROWSKA, 1999).

O processo de desidratação osmótica tem a capacidade de remover em contato direto com o alimento, a água contida em seu interior, numa solução hipertônica (LE MAGER, 1997). Devido às características das membranas da célula vegetal, que são permeáveis à grande maioria dos solventes, como a água, e impermeáveis a solutos de alto peso molecular, como a sacarose (BIDWELL, 1979), geralmente ocorre maior transferência de água do vegetal para a solução do que transferência de soluto da solução para fruta. As células vegetais são envolvidas por uma parede celulósica, que proporciona firmeza aos tecidos, mas que não se apresenta como barreira principal à transferência de substâncias, porque contém numerosos interstícios relativamente grandes (NOBEL, 1991). O conteúdo celular, conhecido como protoplasto, é separado da parede celular pelo plasmalema (membrana plasmática). Sob condições normais, a pressão interna da célula empurra o plasmalema firmemente contra a parede celular. O tecido vegetal, em equilíbrio com a água pura, apresenta máxima turgidez. Se for adicionado, à água, um soluto como a sacarose, conforme a concentração for aumentada, a pressão dentro da célula diminuirá, e ela irá encolher até perder a turgidez, atingindo o ponto chamado de plasmólise incipiente (NOBEL, 1991). A partir daí, aumentando-se a concentração de soluto, a célula irá plasmolisar, isto é,

unesp

ocorrerá a separação do protoplasto da parede celular e se formará um espaço ocupado pela solução osmótica. Na desidratação osmótica, dependendo do tipo de soluto, da concentração da solução, da temperatura e do tempo de exposição, a estrutura celular pode ser danificada. Segundo Thebud e Santarius (1982), temperaturas acima de 55ºC causam danos irreversíveis nas membranas plasmáticas.

Além da saída de água do alimento também ocorre escoamento dos solutos (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, etc) que é desprezível em relação à quantidade de água que sai do alimento para a solução, mas pode ser importante quando nos referimos a valores nutricionais e de sabor (HENG; GUILBERT; CUQ, 1990; PONTING, 1973). Entretanto, o processo de DO não é capaz de reduzir a atividade de água de um alimento a níveis suficientemente baixos que garantam sua estabilidade (TORRINGA *et al.*, 1998).

Em geral, a desidratação osmótica elimina ao redor de 50% da massa inicial do vegetal devido à redução da umidade. A perda de água ocorre principalmente durante as duas primeiras horas e o maior ganho de sólidos durante os 30 minutos iniciais (GIANGIACOMO; TORREGGIANI; ABBO, 1987). No entanto, não é sempre que esse efeito de maior perda de água do que ganho de solutos é observado. Andrade *et al.* (2003) verificou um ganho de soluto que superou a perda de água no processo de DO, aplicado ao jenipapo, em solução osmótica de sacarose. Cubos dessa fruta foram previamente branqueados a 100ºC, por 5 minutos. As temperaturas de DO foram 50, 60 e 70ºC e as concentrações das soluções, 50, 60 e 70% de sacarose. Provavelmente as injúrias causadas ao tecido devido às altas temperaturas e mesmo às concentrações mais altas (60 e 70%) devem ter contribuído para a variação negativa de peso das amostras durante o processo.

Para modelar a transferência de água durante a desidratação osmótica, muitos autores têm calculado coeficientes de difusão efetivos utilizando soluções analíticas da equação de Fick (CONWAY *et al.*, 1983, BERISTAIN *et al.*, 1990). Outros ainda, na tentativa de controlar melhor o processo, consideram a equação de Fick para as espécies água e soluto separadamente, porém negligenciando a influência de um fluxo sobre o outro, como Telis, Murari e Yamashita (2004), Kaymak-Ertekin e Sultanoglu (2000),

unesp

Nsonzi e Ramaswany (1998), Mauro e Menegalli (1995), Hough, Chirife e Marini (1993) e Azoubel e Murr (2004), ajustaram os resultados aos modelos de Fick, Page e Peleg para comparação, sendo o melhor ajuste para representar a perda de água foi obtido com a equação de Peleg e, para o ganho de sólidos com o modelo de Page.

Por causa da complexidade das alterações microscópicas, durante a DO, que ocorre ao nível celular dos vegetais, a abordagem de modelos semi-empíricos, para descrever a cinética da DO, são mais freqüentes. Simplificações com o uso de constantes de cinética, contêm informações complexas sobre o fenômeno de transferência de massa que ficam implícitas nesses coeficientes (FITO e CHIRALT, 2000).

No caso de frutas, o açúcar reduz a acidez das mesmas. Segundo Vial, Guilbert e Cuq (1991) o kiwi possui sabor azedo devido à sua alta acidez, porém quando tratado com soluções de açúcar, posteriormente apresenta sabor agradável. O uso de diferentes solutos (sacarose, açúcar invertido e xarope de glicose) mostrou mínimo efeito na transferência de massa. O ácido ascórbico, adicionado na solução osmótica, pode compensar a perda dessa vitamina durante o processo devido à sua solubilidade em água.

Ponting (1973) e Dixon *et al.* (1976) destacam que frutas tratadas osmoticamente com solução de açúcar e posteriormente submetidas ao processo de secagem apresentam uma alta relação açúcar/ácido, responsável por um sabor mais agradável do produto final quando comparado ao sabor de frutas liofilizadas, que, por apresentarem alta concentração de ácidos, têm um sabor azedo.

No entanto, excessiva incorporação de solutos pode ser um inconveniente nesses processos. Alguns estudos fazem uso da combinação de coberturas comestíveis com o processo de desidratação osmótica, com o intuito de minimizar a transferência de solutos da solução para o produto e maximizar a perda de água (CAMIRAND *et al.*, 1968, CAMIRAND *et al.*, 1992, ISHIKAWA e NARA, 1991). O enfoque desses trabalhos é aumentar o rendimento do processo, com base na razão entre perda de água e ganho de solutos. Camirand *et al.* (1992) testaram diversas coberturas (amido de milho e

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

de batata, alginato de sódio, cloreto de cálcio, polipectinato de sódio, pectina, metil e etil celulose e maltodextrina) medindo a transferência de água e a transferência de soluto (glicerol, sacarose e dextrose) através dos filmes, em uma célula de difusão. Os tratamentos mais eficientes para a sacarose corresponderam ao filme de amido de milho e ao filme composto por pectina e amido de milho. Porém, a combinação das coberturas com os diferentes tecidos vegetais, pode levar a resultados diversos daqueles obtidos na célula de difusão para a cobertura sozinha. Ogonek e Lenard (2002), num trabalho recente, obtiveram diminuição tanto da perda de água quanto do ganho de solutos, desidratando osmoticamente morangos cobertos com pectina, amido de batata ou uma mistura dos dois componentes.

O trabalho de Lenart e Piotrowiski (2001), assim como de Lenart e Dabrowska (1999) abordam a formação de coberturas em tecidos vegetais antes da desidratação osmótica. Os autores aplicaram a tecnologia a pedaços de maçãs e compararam o desempenho de algumas misturas à base de amido e pectina. A eficiência do processo durante a desidratação osmótica, em algumas condições de tratamento, foi notavelmente aumentada com a presença da cobertura nos pedaços de fruta, principalmente quando as temperaturas de DO eram elevadas.

Azeredo e Jardine (2000) também obtiveram sucesso utilizando métodos combinados, tendo como resultado produtos similares à fruta fresca. Os autores constataram que coberturas de pectina de baixa metoxilação e alginato, aplicadas em pedaços de abacaxi previamente branqueados, aumentaram significativamente a eficiência da desidratação osmótica.

Há controvérsias sobre resultados obtidos com desidratação osmótica de vegetais revestidos em relação a não revestidos. Reconhece-se que estudos de transferência de massa em filmes com características de semipermeabilidade e em vegetais, que também apresentam membranas semi-permeáveis, envolvem mecanismos complexos, e que será necessário aprofundá-los na medida em que se deseje controlar esses processos. Além disso, há pouca disponibilidade de propriedades e de parâmetros microestruturais de materiais alimentícios, dificultando a predição da transferência de massa durante esses processos (LE MAGUER, 1997).

unesp

Predições em DO de tecidos vegetais ainda são mal estabelecidas devido à difusão multicomponente associada às propriedades inerentes aos tecidos vegetais. Mais difícil ainda é descrever o processo com materiais combinados ou permeabilidades modificadas. Portanto, o campo de DO ainda necessita de grande levantamento de propriedades para que se possa conduzir estudos mais detalhados e fundamentais sobre esses processos.

Outras técnicas também têm se mostrado viáveis na melhoria da eficiência do processo. Heng, Guilbert e Cuq (1990), estudando desidratação osmótica de papaia em soluções de açúcares, observaram que a adição de cloreto de cálcio na solução aumentou a eficiência do processo, sendo que a concentração ótima foi 0,03 M (em íon cálcio). O cálcio, que difunde no tecido, associa-se à pectina parcialmente solubilizada das paredes celulares da fruta, firmando a estrutura e ao mesmo tempo criando uma barreira à difusão do soluto. No entanto, um outro estudo, sobre análise da difusividade efetiva da água e do açúcar demonstrou que esta última foi aumentada em papaia desidratada em solução de sacarose contendo cloreto de cálcio (RODRIGUES; CUNHA; HUBINGER, 2003).

Quimicamente, pectinas são polímeros formados por cadeias lineares de ácidos D-galacturônico (BOBBIO, 1984). Nas células vegetais, são encontradas na forma de protopectina, inicialmente, insolúvel em água, sustentando as paredes celulares. Com o amadurecimento ou armazenamento ou a ruptura do vegetal, a pectina é enzimaticamente solubilizada tanto pela redução do tamanho da cadeia quanto pela desesterificação parcial do polímero (remoção dos grupos metílicos). Isso causa a perda da rigidez do material estrutural. Dependendo do grau de esterificação, as pectinas são classificadas em pectinas de baixa metoxilação e em pectinas de alta metoxilação. Quando o grau de esterificação é alto, as pectinas formam filmes ou géis estáveis em meios ácidos contendo açúcar. Quando o grau de esterificação é baixo, sais de cálcio melhoram muito a capacidade de gelificação (POMERANZ e MELOAN, 2000, PILNIK e VORAGEN, 1993). Portanto, é a pectina de baixa metoxilação a responsável pela formação do pectato de cálcio, que irá enrijecer o tecido vegetal e desempenhar o papel de barreira seletiva, reduzindo a impregnação de soluto durante a DO.

unesp

Kiwis minimanente processados foram submetidos a soluções de cloreto de cálcio, ácido cítrico e ácido ascórbico que, segundo Carvalho e Lima (2002), obtiveram maior tempo de armazenamento e melhor qualidade com a solução de 1% de cloreto de cálcio, comprovando a influência do cálcio em reduzir a solubilização de substâncias pécticas que leva a inferir em uma menor perda de firmeza da polpa nos frutos, uma vez que as pectinas contribuem em grande parte para a manutenção desse atributo de qualidade.

Quintero-Ramos *et al.* (2002) analisando a influência dos íons cálcio na solução de branqueamento com pedaços de cenouras congeladas, constatou que concentrações entre 0,04 M e 0,258 M de cloreto de cálcio na solução melhora a firmeza do tecido vegetal das mesmas.

O cálcio também tem sido usado como aditivo na solução osmótica, com o objetivo de incorporar nutrientes ao vegetal (BARRERA *et.al.*, 2004).

Muitos pesquisadores têm estudado a secagem osmo-convectiva como uma alternativa para obter produtos desidratados de melhor qualidade, quando comparados com aqueles obtidos pela secagem convencional (MURARI, 2000, CARRIZO, 2002), além de apresentar um custo inferior à liofilização. A combinação desses dois métodos pode proporcionar uma economia de energia do processo como um todo (JAYARAMAM e DAS GUPTA, 1992). Outra vantagem é que o pré-tratamento osmótico em soluções de açúcar promove uma proteção contra os efeitos adversos do calor e da oxidação durante a secagem de frutas (QUINTERO-RAMOS *et al.*, 1993).

Segundo Carrizo (2002), o emprego da DO aplicada previamente à secagem do pimentão, resultou na redução de injúrias térmicas, evitando a influência negativa de mudanças da cor e perda de substâncias voláteis e na redução do tempo de secagem e consequentemente do consumo de energia em uma porcentagem de 20-30%, quando comparado com a secagem por convecção.

Normalmente a secagem convencional por ar aquecido de vegetais não apresenta período de taxa constante. Segundo Karathanos, Kostrapoulos e Saravacos (1995) a taxa de secagem é sempre controlada pelo transporte de umidade (difusão) dentro dos pedaços de alimentos. A difusividade efetiva da

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

água, a principal propriedade de transporte, é afetada fortemente pela estrutura física do alimento. O conhecimento da difusividade da água é importante para a estabilidade e qualidade das frutas desidratadas durante o armazenamento.

Para descrever o processo de secagem no período de taxa decrescente, utilizam-se modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos. Esses modelos são geralmente baseados no fenômeno de transferência de massa, negligenciando-se o efeito de transferência de calor. A principal teoria utilizada para interpretar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas, é a teoria da difusão da umidade como líquido e/ou vapor, representada pela segunda Lei de Fick (DO AMARAL SOBRAL, 1987). Freqüentemente, os autores simulam a curva de secagem dos alimentos através de modelos empíricos simples, como é o caso do modelo exponencial e do modelo de Page. Estes derivam de uma relação direta entre a umidade média e o tempo de secagem, e negligenciam os fenômenos que ocorrem durante a secagem. Mas através do uso desses modelos, pode-se predizer o comportamento das curvas durante a cinética da secagem, e os coeficientes fornecem uma idéia geral da transferência de massa (SIMAL *et al.*, 2004).

Simal *et al.* (2004) secaram fatias e cubos de kiwi, em temperaturas de 30 a 90ºC, sem alcançar o equilíbrio até 8 horas de secagem. Os modelos de Page, exponencial e de difusão foram ajustados às variações de umidade com o tempo de secagem, sendo que Page apresentou o melhor ajuste. Doymaz e Pala (2002) também verificaram, em secagem de uvas pré-tratadas, que o modelo de Page foi superior ao modelo exponencial.

O modelamento matemático da secagem com ar aquecido, precedida por diferentes tratamentos, é objeto de estudo de vários pesquisadores. O efeito da aplicação de microondas antes do processo de secagem convencional de fatias de laranjas foi estudado por Díaz *et al.* (2003), que observaram que o tempo de secagem sob as condições citadas é menor. As curvas de secagem foram construídas considerando-se dois períodos com diferentes constantes de cinética, relacionadas à difusão efetiva da água. O modelamento de secagem de frutos pré-tratados osmoticamente, na maioria dos casos, apresentam redução da difusividade em comparação com frutos não tratados, como demonstraram diversos estudos com maçãs (RODRIGUES,

unesp

2003, KARATHANOS; KOSTRAPOULOS; SARAVACOS, 1995, SIMAL *et.al.*, 1997). Com papaia o pré-tratamento também reduziu os coeficientes de difusão durante a secagem (EL-AOUAR; AZOUBEL; MURR, 2003). No entanto, Park, Brin e Brod (2003), avaliaram o comportamento da secagem de pêras *in natura* e de frutas pré-tratadas osmoticamente e, verificaram que a difusividade efetiva, neste último caso, é maior quando a velocidade do ar de secagem é 2 m/s. Isto porque o pré-tratamento evitou o encolhimento rápido da superfície, com conseqüente formação de crosta endurecida. O mesmo não ocorreu com a fruta *in natura*, cuja difusividade efetiva foi menor que no produto tratado.

Para avaliação de produtos desidratados, dando ênfase às características dos mesmos, o melhor método utilizado é a análise sensorial. Azeredo e Jardine (2000) como comentado, desidrataram osmoticamente fatias de abacaxis através de métodos combinados, e submeteram o produto à avaliação sensorial de aceitação, tendo apresentado boa aceitação geral. Para comparação entre os tratamentos foram utilizadas análises de variância e aplicado o teste F, com 30 provadores. Brandão *et al.* (2003) estudaram o tempo de armazenamento de mangas com umidade intermediária, com 4 concentrações diferentes na desidratação osmótica e posterior secagem solar. As frutas foram submetidas à análise sensorial, com intuito de avaliar a aceitação global pelos potenciais consumidores, que em caráter voluntário, demonstraram insatisfação com a textura rígida e o sabor doce da manga tratada à 45ºBrix e imersão seqüenciada em xaropes de 45, 55 e 65ºBrix. Porém a análise sensorial (aceitação global) não mostrou diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os produtos.

unesp

3. OBJETIVOS

O enfoque do presente trabalho foi o desenvolvimento de produtos desidratados com atributos de qualidade, frente à demanda crescente pelos mesmos. Com o objetivo de avaliar o comportamento dos diferentes tecidos vegetais desidratados osmoticamente, três frutas foram analisadas. Testaram-se diversos tratamentos com revestimentos comestíveis, buscando-se a otimização do processo de Desidratação Osmótica. Alguns pré-tratamentos foram aplicados para analisar a influência da impregnação de solutos sobre a cinética de secagem. Com o intuito de obter produtos desidratados de boa aceitação, também foi avaliada a influência desses pré-tratamentos sobre atributos sensoriais dos mesmos.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS SOBRE A DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FRUTAS

A. CARAMBOLAS

1. INTRODUÇÃO

Pré-tratamentos em fatias de carambolas foram testados para melhorar a eficiência da desidratação osmótica. Filmes comestíveis formados por polissacarídeos (amido e pectina) e a adição de cloreto de cálcio na solução osmótica foram estudados com base na maior razão entre perda de água e ganho de solutos.

As fatias de carambola com os revestimentos e com cloreto de cálcio na solução foram comparadas com fatias sem pré-tratamentos, ambas submetidas à desidratação osmótica.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Material

Carambolas (*Averrhoa carambola* L.), variedade doce híbrido, ligeiramente maduras foram adquiridas no mercado local - CEASA (São José do Rio Preto, SP) e armazenadas em geladeira a 5ºC, em embalagens de filme plástico, por até 3 semanas (**Figura 1)**.

O agente osmótico utilizado foi sacarose comercial e os íons cálcio foram provenientes do cloreto de cálcio bihidratado (grau comestível USP). Os polissacarídeos utilizados para formação de coberturas foram: pectina de baixa metoxilação (Grindsted Pectin LA 210) e amido de batata solúvel (Synth) com grau de pureza P.A.

2.2. Equipamentos

2.2.1. Desidratação Osmótica em Cuba

O equipamento de desidratação osmótica consiste de uma cuba quadrada construída em aço inoxidável, de dimensões: 30x30x35cm (**Figura 2**). A cuba comportava 4 cestos de cada vez, que se encaixavam numa estrutura construída do mesmo material da cuba. Os cestos foram construídos em *nylon*, com tampa de aço inoxidável, e cada cesto tinha uma repartição no meio, de forma a separar melhor as amostras (**Figura 3**).

A agitação foi conduzida por um agitador mecânico (Fisatom, modelo 723, potência de 350W) com hélice naval (10 cm de diâmetro). A temperatura do banho foi controlada por água circulando numa camisa externa da cuba, a qual era bombeada de um banho termostático que dispunha de refrigeração.

2.2.2. Desidratação Osmótica em Plataforma de Agitação (*shaker*)

Utilizou-se uma incubadora refrigerada com plataforma de agitação orbital, dispondo de temperatura e velocidade de agitação controladas (Marconi, modelo MA 830/A). Na plataforma, com 12 suportes, encaixam-se vidros cilíndricos transparentes com tampas, com capacidade de 800 ml cada um.



Figura 1: Carambolas (*in natura)* inteiras embaladas com filme plástico



Figura 2: Cuba construída em aço inoxidável

2.3 – Metodologia

2.3.1. Amostragem

Selecionaram-se frutas com cor e tamanho semelhantes, sendo que a maioria não estava totalmente madura. As frutas foram lavadas e cortadas no sentindo transversal, apresentando, após o corte, a geometria de uma estrela (**Figura 4**). Utilizou-se um cortador elétrico da Marca Eco, regulado para cortar fatias com espessura em torno de 4,50 mm. Como a ação das enzimas pectinases é acelerada quando ocorre o corte das frutas, provocando solubilização da pectina que sustenta as paredes celulares (POMERANZ e MELOAN, 2000; PILNIK e VORAGEN, 1966), procurou-se despender sempre o mesmo tempo entre corte e imersão da fruta na solução osmótica.

A metodologia de amostragem utilizada consistiu em colocar em saco plástico aproximadamente o dobro das fatias a serem utilizadas no experimento, misturá-las e retirá-las aleatoriamente para formar amostras homogêneas (**Figura 5**).

2.3.2 - Adição de Coberturas

Utilizaram-se quatro tipos de coberturas formadas a partir de soluções aquosas contendo 1% de pectina (p/v), 2% de pectina, 3% de pectina e 1% de pectina com 2% de amido. As soluções foram preparadas mediante aquecimento e agitação constante, até dissolver e gelatinizar todo amido e/ou pectina, e a seguir, foram resfriadas à temperatura ambiente.

Pesavam-se 80 a 100 gramas de fatias de frutas, sendo que cinco fatias eram dispostas, por vez, num cesto construído em tela de nylon, de 15x15 cm com espaçamento de 2cm entre os fios, para garantir uma grande área vazada. Esse cesto era mergulhado por 60 segundos num recipiente retangular (20x20 cm) contendo a solução formadora de cobertura. A seguir o mesmo cesto era mergulhado por 30 segundos na solução de cloreto de cálcio a 2%, gelificando a pectina e formando uma camada firme na superfície das

unesp

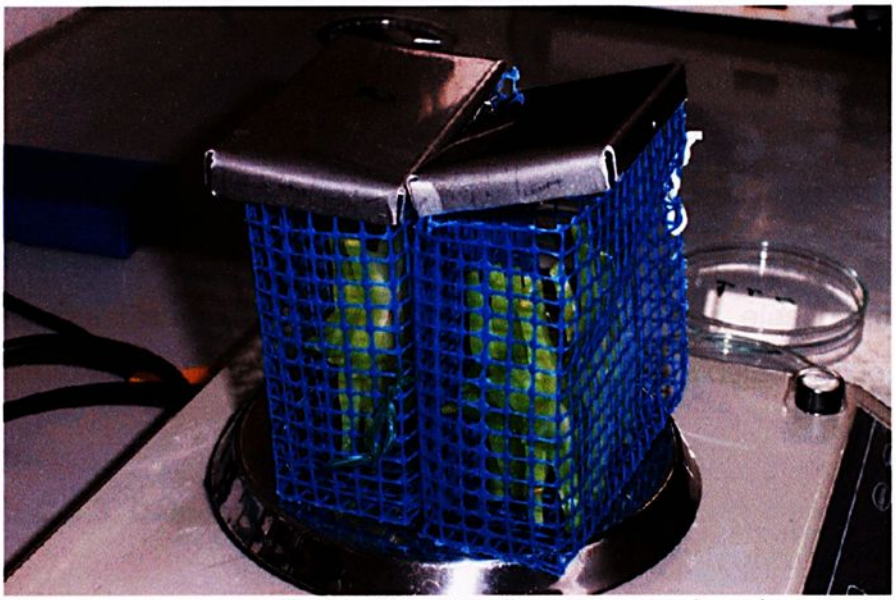


Figura 3: Pesagem das carambolas (*in natura*) nos cestos de nylon com tampa de aço inoxidável antes da DO.



Figura 4: Carambolas (*in natura*) sendo fatiadas

fatias. Realizava-se, então, um enxágüe, em água destilada, por 10 segundos, as amostras eram colocadas em bandejas para a água escorrer, e por fim eram delicadamente enxugadas com papel absorvente e pesadas.

Num diferente ensaio, as amostras com cobertura de pectina, com 2% de concentração, foram secadas dentro de estufas com recirculação de ar, após serem distribuídas sobre telas metálicas apoiadas em suportes. As temperaturas testadas foram 40 e 70ºC e os tempos, 10 e 40 minutos.

Ensaios independentes foram realizados para estimar a umidade das coberturas. Para tanto, após a formação das mesmas, elas foram retiradas com espátula e pinça e tiveram seu teor de sólidos totais determinado.

2.3.3. Desidratação Osmótica em Cuba

Amostras de aproximadamente 100-110 g de fatias foram pesadas nos cestos do equipamento de *DO* (item **2.2.1**).

Os cestos foram dispostos na cuba quadrada de DO, com aproximadamente 15 kg de solução aquosa de sacarose a 50%. A solução foi preparada com açúcar refinado comercial e água destilada (**Figura 6**).

O processo, para cada tipo de amostra, foi sempre conduzido por 2 horas, de tal forma que se fizesse a comparação utilizando-se tempo de desidratação osmótica suficiente para que grande parte da transferência das espécies já tivesse ocorrido. Após esse tempo as amostras foram retiradas do banho osmótico e limpadas com tecido e material absorvente. As fatias foram então pesadas e homogeneizadas com um *mixer* e alíquotas para análise de sólidos totais e açúcares totais e redutores foram preparadas.

Todos os ensaios foram conduzidos à temperatura de 27ºC.

unesp



Figura 5: Conjunto para a amostragem



Figura 6: Disposição dos cestos dentro da cuba de desidratação osmótica

2.3.4. Desidratação Osmótica em Plataforma de Agitação (*shaker*)

Com o intuito de realizar diversos ensaios simultaneamente, para uma seleção comparativa, foram conduzidos experimentos de DO na Plataforma de Agitação (item **2.2.2**). Em cada vidro cilíndrico contendo 800 g de solução aquosa de sacarose a 50%, p/p, desidratou-se aproximadamente 50 gramas de fruta, para manter uma relação alta entre fruta:solução. Para cada concentração, foram preparados dois vidros de solução osmótica, sendo que fatias *in natura* também foram colocadas em dois vidros. Estes foram submetidos à agitação orbital durante 2 horas à temperatura de 27ºC. A seguir, as frutas foram retiradas dos vidros e colocadas em bandejas, tiveram suas superfícies limpas com tecido úmido e secadas com material absorvente. As fatias foram então pesadas e homogeneizadas, e alíquotas foram preparadas para análise de sólidos totais e açúcares totais e redutores em balança analítica.

2.4. Procedimento para Seleção de Tratamento.

Para selecionar o melhor tratamento, foram realizados três conjuntos de experimentos:

Conjunto I: Fatias revestidas com coberturas e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose 50%, em cuba, por 2h (CB-DO), a 27ºC, sob agitação de 700 rpm. Utilizaram-se quatro tipos de coberturas formadas a partir de soluções aquosas contendo 1% de pectina, 2% de pectina, 3% de pectina e 1% de pectina com 2% de amido.

Conjunto II: Fatias revestidas com coberturas, secadas em estufa e desidratadas osmoticamente em solução de 50%, em cuba, por 2 h (CB-S-DO), a 27ºC, sob agitação de 500 rpm. Após a adição de cobertura com 2% de

unesp

pectina, as fatias foram submetidas a rápida secagem, em estufa (40 minutos/40ºC, 10 minutos/70ºC e 40 minutos/70ºC).

Conjunto III: Fatias *in natura* desidratadas osmoticamente em solução de sacarose 50%, com adição de cloreto de cálcio na própria solução (0,02M, 0,04M, 0,06M), em plataforma de agitação, por 2h (DO-Ca), a 27ºC, sob agitação de 150 rpm. Fatias *in natura* imersas em solução de cloreto de cálcio (2% e 4%) por 5 minutos e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose 50%, em plataforma de agitação, por 2h (IM-DO).

Todos os ensaios tiveram amostras *in natura* desidratadas em solução de sacarose 50%, p/p, como controle (DO).

2.5. Métodos analíticos

Para a determinação de açúcares totais e redutores, a metodologia adotada foi a titulação de óxido-redução (WILLIAM, 1970), utilizando-se aproximadamente 10-20 gramas da amostra.

Os sólidos totais foram determinados utilizando-se o método gravimétrico, no qual amostras trituradas de aproximadamente 2 gramas, em triplicata, foram pesadas em frascos pesa-filtro e secadas em estufa a vácuo a 60ºC até peso constante, em balança analítica com resolução igual a 0,1 mg.

3. Forma de análise dos resultados

A eficiência da DO foi calculada, para cada tratamento, com base na perda de água e ganho de sacarose, determinados através do levantamento de dados experimentais de massas, teores de sólidos totais e, em alguns casos (experimentos com e sem $CaCl_2$ na solução osmótica ou experimentos com mergulho da fruta antes da DO em solução de $CaCl_2$), de açúcares totais e redutores.

A variação de massa em relação à massa inicial é dada segundo

$$\Delta M = \frac{M_f - M_i}{M_i} = \Delta P_{água} + \Delta G_{sólidos} \quad (1)$$

com M_f representando a massa final (após a desidratação osmótica) e M_i a massa inicial, antes da DO, isto é, das fatias *in natura* (tratamentos de DO e DO-Ca), das fatias com cobertura (tratamentos CB-DO), das fatias com coberturas adicionadas e parcialmente secadas em estufa (tratamentos CB-S-DO) e das fatias após a imersão (tratamentos IM-DO).

A perda de água em relação à massa inicial, ($\Delta P_{água}$), é calculada segundo:

$$\Delta P_{água} = \frac{\left[(M_f U_f) - (M_i U_i)\right]}{M_i} \quad (2)$$

com U_f representando a umidade da fruta após a desidratação osmótica e U_i a umidade inicial antes da DO.

O ganho de sólidos em relação à massa inicial ($\Delta G_{sólidos}$) pode ser calculado pela diferença entre as equações (1) e (2), isto é:

$$\Delta G_{sólidos} = \frac{\Delta M}{M_i} - \Delta P_{água} \quad (3)$$

ou ainda, com base nos teores de sacarose determinados experimentalmente. Neste caso, o ganho de soluto é descrito em função do teor inicial e final de sacarose, e representado pelo ganho de sacarose em relação à massa inicial ($\Delta G_{sacarose}$) segundo:

$$\Delta G_{sacarose} = \frac{\left[(M_f . S_f) - (M_i . S_i)\right]}{M_i} \quad (4)$$

onde S_i representa o teor de sacarose inicial e S_f o teor de sacarose determinado nas amostras, após a DO.

Desprezando-se qualquer perda de sólidos da fruta para a solução, o teor de sacarose pode ser calculado segundo:

$$S_f = \frac{[(\Delta G_{sólidos} M_i) + (M_i . S_i)]}{M_f} \quad (5)$$

A perda de açúcares redutores em relação à massa inicial ($\Delta P_{aç.red.}$) é calculada mediante seus teores, medidos experimentalmente:

$$\Delta P_{aç.red.} = \frac{[(M_f . AR_f) - (M_i . AR_i)]}{M_i} \quad (6)$$

onde AR_i representa o teor inicial de açúcares redutores e AR_f o teor final de açúcares redutores determinado nas amostras após a DO.

A eficiência (*E*) foi determinada pela relação entre perda de água e ganho de sólidos (sacarose).

$$E = \Delta P_{água} / \Delta G_{sacarose} \quad (7)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Comparação entre coberturas úmidas

Foram desidratadas osmoticamente fatias *in natura* e com coberturas preparadas com 1%, 2% e 3% de pectina e 1% de pectina com 2% de amido, em cuba contendo 15 kg de solução aquosa de sacarose a 50% e agitação de 700 rpm, à temperatura de 27ºC, durante 2 horas. A espessura média das amostras foi 4,5mm.

Na **Tabela 4** são apresentados os resultados de teor de umidade, variação total de massa (eq. 1), perda de água (eq. 2) e ganho de sólidos (eq. 3), os três últimos em relação à massa inicial que foi imersa na solução osmótica, e a eficiência (eq. 7).

Tabela 4: *Resultados obtidos pela desidratação de fatias de carambola in natura e cobertas com pectina ou pectina/amido, em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba.*

Carambola/ Coberturas	U_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sólidos}$ (%)	E
Pectina(1%)	73,36 ± 0,06	-42,42	-49,73	7,31	-6,80
Pectina(2%)	77,16 ± 0,13	-42,65	-47,81	5,16	-9,27
Pectina(3%)	72,91 ± 0,03	-44,67	-52,01	7,34	-7,09
Pec(1%) e Amido(2%)	75,55 ± 0,11	-45,52	-50,99	5,47	-9,32
In natura	71,96 ± 0,05	-55,4	-59,74	4,34	-13,76

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 91,70(%,bu); Açúcar redutor: 5,37(%,bu); Sacarose: 0(%, bu)

Pela **Tabela 4** constata-se que o tratamento mais eficiente corresponde à amostra *in natura*, isto é, sem nenhum tipo de cobertura. A adição de coberturas reduziu a perda de água do conjunto fruta:cobertura, e não restringiu a entrada de solutos, o que abaixou muito a eficiência do processo. Também foi conduzido um ensaio independente para determinar a umidade das coberturas. As porcentagens de massa de cobertura sobre a massa total, assim como a umidade dessas coberturas (U_c) e a umidade final do conjunto (U_f) são apresentadas na **Tabela 5**.

Tabela 5: *Porcentagem de massa de cobertura, Umidade das coberturas de pectina e amido e Umidade calculada da fatia in natura com cobertura.*

Carambola/Coberturas	$\frac{M_c}{M_f}$ **(%)**	U_c, Umidade da cobertura (%, bu)	Umidade da fatia com cobertura
Pectina(1%)	2,48	97,18 ± 0,35	91,97 ± 0,14
Pectina(2%)	6,99	95,02 ± 0,22	92,06 ± 0,11
Pectina(3%)	13,63	95,60 ± 0,11	92,35 ± 0,35
Pec(1%) e Amido(2%)	6,51	96,75 ± 0,25	92,16 ± 0,25

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 91,70(%,bu); Açúcar redutor: 5,37(%,bu); Sacarose: 0(%, bu)

Na **Tabela 5** pode-se observar que, quanto maior o teor de pectina, mais massa de cobertura é incorporada. Por outro lado, a umidade das coberturas é alta, o que explica a maior variação de água da amostra com

unesp

cobertura preparada com solução de 3% de pectina (**Tabela 4**). A solução de pectina, solúvel em água, quando em contato com cloreto de cálcio (2%) gelifica formando, sobre a fatia da fruta, uma camada de pectado de cálcio, insolúvel. Durante a DO, mesmo com agitação vigorosa, não se constatou perda de partes do revestimento.

Ainda neste ensaio, a determinação de sacarose e de açúcares redutores não deu boa repetibilidade nem exatidão, pois os resultados não foram compatíveis com os balanços de massa. Como ensaios na cuba causam pouquíssima injúria às fatias de fruta, que ficam contidas nos cestos (diferentemente dos ensaios em frascos de vidro agitados em *shaker*), é viável calcular o teor de sacarose final (eq. 5) a partir da incorporação de soluto ($\Delta G_{sólidos}$) e da sacarose inicial. As análises de açúcares realizadas na carambola *in natura* deram boa repetibilidade, resultando em média 5,37% de açúcares redutores (bu) e teor de sacarose nulo. Os valores de sacarose calculados são apresentados na **Tabela 6**, em base úmida e em base seca. Estes últimos, mostram a porcentagem de sacarose sobre os sólidos totais finais do produto.

Tabela 6: *Teor de sacarose calculado nas fatias de carambola após o processo de desidratação osmótica em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba.*

Carambola/cobertura	S_f (%, bu)	S_f (%, bs)
Pectina(1%)	12,69	47,64
Pectina(2%)	8,99	39,36
Pectina(3%)	13,26	48,95
Pect(1%)/ Amido(2%)	10,05	41,10
In natura	9,73	34,70

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 91,70(%,bu); Açúcar redutor: 5,37(%,bu); Sacarose: 0(%, bu)

A cobertura eleva o teor de água do conjunto fruta-cobertura que vai ser desidratado osmoticamente. Além disso, os resultados indicam que a sacarose difunde com facilidade nessas camadas de pectina ou amido/pectina,

impregnando muito o produto final com açúcar (**Tabela 6).** Consequentemente, a eficiência diminui em relação às fatias sem revestimento (**Tabela 4).**

4.2. Comparação entre coberturas secadas

Neste ensaio, seguindo procedimento utilizado por Lenart e Piotrowski (2001), as fatias de carambola foram revestidas com a cobertura de 2% de pectina e levadas à estufa de recirculação de ar nos tempos e temperaturas que se seguem: 40 minutos/40ºC, 10 minutos/70ºC e 40 minutos/70ºC. Após a secagem, as fatias foram desidratadas no banho osmótico com solução a 50% (p/p), a 27ºC, durante 2 horas. O controle foi realizado com fatias de carambola *in natura* levadas diretamente ao banho osmótico. Neste ensaio a espessura média das amostras foi igual a 4,3 mm.

Na **Tabela 7** são apresentados os resultados de teor de umidade, variação total de massa (eq. 1), perda de água (eq. 2) e ganho de sólidos (eq. 3), os três últimos em relação à massa inicial que foi imersa na solução osmótica, e a eficiência (eq. 7).

Tabela 7 : *Resultados obtidos pela desidratação, em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba, de fatias de carambola in natura e cobertas com pectina (2%) e secadas em estufa em diferentes condições*

Carambola/Cobertura com Secagem	U_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sólidos}$ (%)	E
Pect (2%) -40min/40ºC	80,16 ± 0,06	-30,81	-35,86	5,05	-7,10
Pect (2%) -10min/70ºC	80,20 ± 0,22	-31,52	-37,39	5,87	-6,37
Pect (2%) -40min/70ºC	78,43 ± 0,35	-32,76	-38,86	6,1	-6,37
In natura	77,39 ± 0,20	-44,53	-48,51	3,98	-12,17

Teores médios da carambola in natura:

Umidade: 91,44(%,bu); Açúcar redutor: 4,80(%,bu); Sacarose: 0,05(%, bu)

Esse ensaio não é comparável ao anterior (coberturas úmidas), devido à diferente agitação no sistema. O efeito da resistência externa provavelmente interferiu na transferência de massa, o que se conclui pela umidade da amostra *in natura*, após a desidratação osmótica, que resultou

superior à do primeiro ensaio (**Tabela 4**). As umidades de todas amostras desidratadas osmoticamente resultaram relativamente semelhantes (**Tabela 7**). No entanto, a maior eficiência, mais uma vez, foi da DO da amostra *in natura*.

Também foram determinadas experimentalmente as umidades das coberturas (U_c) assim como das carambolas com coberturas antes da desidratação (U_f), que estão apresentados na **Tabela 8.**

Tabela 8: *Umidade da fatia com cobertura secada em estufa*

Carambola/Cobertura com Secagem	U_c , *Umidade da cobertura (%, bu)*	*Umidade da fatia com cobertura secada em estufa*
Pect (2%) -40min/40ºC	95,21± 0,14	91,32 ± 0,06
Pect (2%) -10min/70ºC		92,31 ± 0,11
Pect (2%) - 40min/70ºC		91,60 ± 0,19

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 91,44(%,bu); Açúcar redutor: 4,80(%,bu); Sacarose: 0,05(%, bu)

Na **Tabela 9** são apresentados os teores de sacarose calculados nas fatias processadas, em base úmida e seca.

Tabela 9: *Teor de sacarose calculado nas fatias de carambola in natura e cobertas com pectina (2%) e secadas em estufa em diferentes condições*

Carambola/Cobertura com Secagem	S_f *(%, bu)*	S_f *(%, bs)*
Pect (2%) -40min/40ºC	7,30	36,79
Pect (2%) -10min/70ºC	8,57	43,28
Pect (2%) - 40min/70ºC	9,08	42,10
In natura	7,19	31,80

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 91,44(%,bu); Açúcar redutor: 4,80(%,bu); Sacarose: 0,05(%, bu)

Quanto maior a temperatura na estufa, maior a impregnação de sacarose, como visto na **Tabela 9** (teores em base seca). É possível que a temperatura mais elevada tenha injuriado o tecido vegetal, facilitando a entrada de solutos com moléculas maiores, antes barradas pelas membranas celulares da fruta.

unesp

Todo o conjunto de resultados mostra que o processo mais eficiente sempre foi aquele com as fatias de carambola sem cobertura. A explicação mais plausível é que a cobertura aumenta a resistência, reduzindo a transferência de água e a transferência de sacarose no tecido da fruta. A própria cobertura fica muito impregnada de sacarose, além de reter considerável quantidade de água na sua preparação. Esta água não é facilmente eliminada durante a secagem da cobertura na estufa, o que se observa pelos valores das umidades da cobertura úmida e das frutas com cobertura, reportados na **Tabela 8**.

Por outro lado, o tecido vegetal, enquanto mantém suas estruturas celulares íntegras, restringe a transferência de soluto, pois moléculas grandes não são capazes de atravessar as membranas celulares. Sendo assim, enquanto a membrana plasmática que envolve o protoplasto estiver intacta, a sacarose não atravessará a mesma, e se restringirá aos espaços intersticiais e aos espaços de plasmólise. No entanto, quando a solução é muito concentrada, os tempos de imersão são muito longos, ou o tecido é exposto a temperaturas altas, as estruturas celulares podem ser injuriadas e o soluto passa a ocupar todos os espaços da célula. Esse pode ser um dos motivos de haver tanta contradição entre resultados sobre coberturas em DO. Em nosso trabalho a concentração utilizada é moderada (50%) e o tempo de exposição não é longo (2h). Nessas condições o tecido celular mostrou-se muito mais seletivo do que a cobertura adicionada sobre o mesmo.

Os resultados obtidos no presente trabalho poderiam ser comparados com os de Lenart e Piotrowski (2001), que trabalharam com cubos de maçã e testaram diversos revestimentos colocados previamente à DO. O aumento de umidade do conjunto fruta/cobertura de pectina 3% também foi observado pelos autores, mesmo com a secagem parcial do mesmo em estufa (70ºC por 10 ou 40 minutos). Os autores não detectaram ganho significativo de massa seca devido à cobertura. Esta, formada com 3% de pectina, causou diminuição de perda de água e de ganho de sólidos, após 3 horas de DO em solução de sacarose 61,5%, (p/p). Em um trabalho anterior, Lenart e Dabrowska (1999) observaram um aumento da eficiência na DO (sacarose 61,5% p/p, 30ºC) de cubos de maçã revestidos com coberturas de pectina 2%,

unesp

em comparação com a fruta sem revestimento, devido ao menor ganho de sólidos, que caiu 40% em 2 h de processo. Com temperatura elevada (80ºC), a eficiência do processo foi notavelmente aumentada, sendo que, em 2 h, a saída de água foi 25% maior e o ganho de soluto, 50% menor, em relação à fruta sem revestimento. Isso ocorreu provavelmente porque, nesta temperatura, bastante elevada, o tecido celular perde suas propriedades de semi-permeabilidade e se encharca de soluto. Temperaturas acima de 55ºC causam danos irreversíveis nas membranas plasmáticas (THEBUD e SANTARIUS, 1982). Mauro e Menegalli (1995) observaram que o soluto penetra em maior quantidade na fruta que é submetida a branqueamento a vapor, previamente à DO, do que naquele que não é submetida ao mesmo. A concentração da solução, com 61,5% de sacarose, também pode causar alguma injúria às primeiras camadas de células do tecido vegetal. Técnicas de microscopia mostraram que soluções de 60% de sacarose causaram significativa injúria ao tecido celular de maçãs, viabilizando a entrada de soluto em todos os espaços da célula (RODRIGUES, 2003).

Azeredo e Jardine (2000) obtiveram aumento na eficiência da DO de abacaxis revestidos com alginato ou pectina de baixa metoxilação, em comparação com frutas sem cobertura. Possivelmente a temperatura do branqueamento causou alguma injúria ao tecido vegetal, que tornou-se mais permeável ao soluto. Além disso, as concentrações da solução osmótica eram altas, o que também poderia causar efeito nas células do tecido. Como resultado, o desempenho das coberturas mostrou-se bem mais eficiente que o tecido vegetal, quanto a aumentar a perda de água em relação ao ganho de soluto.

4.3. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas – 1

Neste ensaio foi estudada a influência da adição de cloreto de cálcio nas soluções osmóticas com 50% de sacarose. Os ensaios foram conduzidos em *shaker* com temperatura controlada, segundo descrito no item **2.3.4** (Desidratação Osmótica em Plataforma de Agitação). As concentrações

testadas foram 0,02 M e 0,04 M, e as fatias ficaram sob agitação de 150 rpm à temperatura de 27ºC, durante 2 horas. A espessura média das amostras foi 4,3 mm.

Nestes casos, como há alguma injúria nas fatias, que atritam com as paredes do frasco e com as próprias fatias, é importante realizar a determinação dos açúcares totais e redutores em todas as amostras. Isso possibilitou estimar a variação de açúcares redutores nas fatias, durante o processo.

Na **Tabela 10** são apresentados os resultados de teor de umidade, variação total de massa (eq. 1), perda de água (eq. 2), ganho de sacarose (eq. 4) e perda de açúcares redutores (eq. 6), todos estes em relação à massa inicial, e a eficiência (eq. 7).

Tabela 10: *Resultados obtidos pela desidratação de fatias de carambola por 2h, 27°C, em shaker, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$*

Carambola/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	U_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sacarose}$ (%)	$\Delta P_{aç.red}$ (%)	E
0,04M	69,84 ± 0,31	-54,57	-58,69	4,35	-0,61	-13,49
0,02M	70,09 ± 0,16	-52,69	-57,26	4,60	-0,36	-12,45
Imersão (2%,5min)	70,73 ± 0,16	-52,76	-57,00	4,28	-0,74	-13,32
0% de $CaCl_2$	72,39 ± 0,05	-49,78	-54,07	4,25	-0,41	-12,72

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 90,42(%,bu); Açúcar redutor: 5,81(%,bu); Sacarose: 0,70(%, bu)

Neste caso a DO em solução adicionada de $CaCl_2$ a 0,04 M foi o processo mais eficiente. A solução de 0,04 M proporcionou a maior relação (perda de água/ganho de sólidos) em relação aos outros tratamentos, apesar de muito semelhante aos demais.

Na **Tabela 11** são reportados os dados de sacarose e açúcares redutores determinados experimentalmente (titulação de óxido-redução), em base úmida e em base seca.

Tabela 11: *Teor de sacarose e açúcares redutores analisadas nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente por 2h, 2 °C, em shaker, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$*

Carambola/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	S_f (%, bu)	S_f (%, bs)	AR (%, bu)	AR (%, bs)
0,04M	11,12	36,87	11,44	37,93
0,02M	11,21	37,48	11,52	38,52
Imersão (2%,5min)	10,56	36,08	10,74	36,69
0% de $CaCl_2$	9,87	35,75	10,75	38,94

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 90,42(%,bu); Açúcar redutor: 5,81(%,bu); Sacarose: 0,70(%, bu)

4.4. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas – 2

Num segundo ensaio com cloreto de cálcio adicionado à solução osmótica, nas concentrações de 0,02 M, 0,04 M, 0,06 M e com imersões de 2 e 4% de $CaCl_2$, seguiu-se procedimento idêntico ao anterior. A espessura média das amostras foi 4,4 mm.

Na **Tabela 12** são apresentados os resultados de teor de umidade, variação total de massa (eq. 1), perda de água (eq. 2), ganho de sacarose (eq. 4) e perda de açúcares redutores (eq. 6), todos estes em relação à massa inicial, e a eficiência (eq. 7). O resultado obtido anteriormente confirmou-se neste ensaio, sendo a concentração de 0,04 M de cloreto de cálcio aquela que proporcionou melhor desempenho de processo.

Tabela 12: *Resultados obtidos pela desidratação de fatias de carambola por 2h, 27ºC em shaker em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$ ou previamente imersas em $CaCl_2$*

Carambola/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	U_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sacarose}$ (%)	$\Delta P_{aç.red}$ (%)	*E*
0,06M	69,38 ± 0,04	-56,71	-60,84	5,20	-1,31	-11,70
0,04M	70,96 ± 0,08	-55,76	-59,47	4,25	-0,88	-14,00
0,02M	71,43 ± 0,19	-52,24	-56,47	4,69	-0,44	-12,04
Imersão (4%,5min)	71,22 ± 0,05	-53,96	-58,07	4,52	-0,82	-12,85
Imersão (2%,5min)	72,33 ± 0,11	-51,23	-55,31	4,48	-0,70	-12,35
0% de $CaCl_2$	73,83 ± 0,08	-49,79	-53,52	4,29	-0,54	-12,48

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 90,73(%,bu); Açúcar redutor: 5,94(%,bu); Sacarose: 0,667(%, bu)

Na **Tabela 13** são reportados os dados de sacarose e açúcares redutores determinados experimentalmente (titulação de óxido-redução), em base úmida e em base seca.

A utilização do cloreto de cálcio teve resultados positivos, porém, de significância moderada, apresentando um leve aumento na perda de água. No entanto, os resultados obtidos por Heng *et.al.* (1990), que desidrataram cubos de mamão em soluções de sacarose a 65ºBrix, a 60ºC, com adição de cloreto de cálcio em várias concentrações, mostram que a redução do ganho de sacarose em relação a soluções sem o cálcio foi grande para esse caso. O teor de pectina total, em mamões, está em torno de 1,62%, p/p, bu (RODRIGUES; CUNHA; HUBINGER, 2003), enquanto que em carambolas, o teor de pectina solúvel e insolúvel é aproximadamente 0,6 %, p/p, bu (SOUZA, 2003). Porém, além das diferenças inerentes aos tecidos, as condições de tratamento (concentração e temperatura da solução) utilizadas com a carambola foram mais moderadas que as utilizadas com mamão. Provavelmente as condições mais drásticas provocaram grande impregnação de açúcar no mamão desidratado sem o cálcio, chegando a um ganho de 9,3% de sólidos, em 2 horas de processo.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Tabela 13 : *Teor de sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente por 2h, 27°C, em shaker, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$*

Carambola/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	S_f (%, bu)	S_f (%, bs)	AR (%, bu)	AR (%, bs)
0,06M	13,55	44,25	10,69	34,91
0,04M	11,12	38,29	11,44	39,39
0,02M	11,21	39,24	11,52	40,32
Imersão (4%,5min)	11,27	39,16	11,11	38,60
Imersão (2%,5min)	10,56	38,16	10,74	38,81
0% de $CaCl_2$	9,87	37,71	10,75	41,08

Teores médios da carambola *in natura*:
Umidade: 90,73(%,bu); Açúcar redutor: 5,94(%,bu); Sacarose: 0,667(%, bu)

Porque existem diferenças nas estruturas celulares entre os tecidos vegetais, foram testadas outras frutas para comparar se realmente os revestimentos de coberturas à base de pectina e amido e os íons cálcio na solução osmótica aumentam a eficiência do processo de DO.

B. KIWI E MORANGO

1 - INTRODUÇÃO

Com o intuito de testar outros tecidos vegetais foram realizados alguns ensaios com as frutas kiwi e morango. A influência da umidade da fruta sobre o desempenho da cobertura pode ser avaliada através da utilização do kiwi, cuja umidade é bem inferior à da carambola e do morango.

Foi testado o revestimento de pectina a 2% e também este mesmo revestimento, secado rapidamente em estufa, os dois seguidos de DO. Mesmo assim, o kiwi *in natura* se mostrou mais seletivo do que com cobertura. Também testou-se o efeito do cálcio sobre os diferentes tecidos, tanto na forma de imersão prévia à DO (morango) quanto como aditivo na própria DO (kiwi e morango).

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Kiwis foram adquiridos no mercado local (CEASA) e armazenados em câmara frigorífica a 1°C por até 3 semanas. A variedade de kiwi utilizada no experimento foi a Monty Extra 23.

Morangos, variedade Dover, também adquiridos no mercado local, foram armazenados em câmara frigorífica a 1°C por até 4 dias.

O agente osmótico foi a sacarose comercial juntamente com a água destilada e os íons cálcio foram provenientes de cloreto de cálcio bihidratado. Para as coberturas foram utilizados a pectina de baixa metoxilação (Grindsted Pectin LA 210) e amido de batata solúvel (Synth) com grau de pureza P.A.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

2.2 – Metodologia

2.2.1. Desidratação osmótica em cuba

Estes ensaios foram conduzidos em cuba. A preparação das amostras e o processamento na cuba estão descritos no item **A - 2.3.1** (Amostragem) e **2.3.3** (Desidratação Osmótica em Cuba).

A adição de cobertura de pectina foi utilizada apenas nas fatias de kiwi.

2.2.2. Desidratação Osmótica em Plataforma de Agitação (*Shaker*) – Ensaios com $CaCl_2$

O kiwi e o morango seguiram o mesmo procedimento que o descrito no item **A - 2.3.4** (Desidratação Osmótica em Plataforma de Agitação).

3. PROCEDIMENTOS CONDUZIDOS COM KIWI

O procedimento foi semelhante ao utilizado com a carambola [item **A – 4.1** (Comparação entre coberturas úmidas) e **4.2** (Comparação entre coberturas secadas)]. Porém, no caso do kiwi, os ensaios foram conduzidos apenas com cobertura de 2% de pectina para a desidratação osmótica e 2% de pectina seguida de secagem em estufa à temperatura de 70ºC por 40 minutos, e então desidratadas osmoticamente.

As concentrações de $CaCl_2$ na solução osmótica na plataforma de agitação (*shaker)* foram de 0,02 M e 0,04 M. A agitação nesses ensaios foi igual a 170 rpm, diferindo dos demais (150 rpm).

Em todos os ensaios todas as fatias a serem utilizadas foram colocadas em saco plástico, misturando-as e retirando-se fatias aleatoriamente para formar amostras homogêneas.

Após a preparação das coberturas estas foram secadas em material absorvente. Após duas horas de processo, as fatias foram retiradas do banho osmótico e foram limpas com tecido úmido e também secadas em material absorvente.

4. PROCEDIMENTOS CONDUZIDOS COM MORANGO

O morango foi testado apenas na plataforma de agitação (*shaker)* com o cloreto de cálcio adicionado à solução osmótica, como conduzido no kiwi (0,02 M e 0,04 M). Fatias de morango foram colocadas em saco plástico e misturadas. Retiraram-se fatias aleatoriamente para formar amostras homogêneas. A agitação foi igual a 150 rpm.

Foi incluído também um ensaio que consistiu em mergulhar as fatias de morango, por cinco minutos, em uma solução de cloreto de cálcio a 2%. As frutas foram desidratadas osmoticamente por 2 horas e a seguir, retiradas dos vidros, limpas (para retirar o excesso da solução de sacarose) e secadas com material absorvente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Kiwi

5.1.1. Comparação entre cobertura úmida e secada

Na **Tabela 14** são apresentados os resultados de teor de umidade, variação total de massa (eq. 1), perda de água (eq. 2) e ganho de sólidos (eq. 3), os três últimos em relação à massa inicial, e a eficiência (eq. 7), para o ensaio realizado em cuba, com concentração de solução de sacarose a 50%, agitação de 700 rpm, 27ºC, durante 2 horas. A espessura média das amostras foi 4,5 mm.

As fatias foram revestidas com pectina, sendo que uma parte foi para estufa de recirculação de ar (70ºC, 40 min). A seguir foram imersas na

solução osmótica (50%, 2 horas). A fruta *in natura* foi desidratada osmoticamente, como controle.

Tabela 14: *Resultados obtidos pela desidratação, em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba, de fatias de kiwi in natura e cobertas com pectina (2%) e secadas ou não em estufa*

Kiwi/Coberturas	U_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sólidos}$ (%)	E
Pectina(2%)	66,26 ± 0,30	-30,40	-38,23	7,83	-4,88
Pect(2%) -40 min/70°C	63,82 ± 0,10	-26,07	-32,29	6,22	-5,19
In natura	70,04 ± 0,10	-32,06	-35,09	3,03	-11,58

Teores médios do kiwi *in natura*:

Umidade: 82,68 (%,bu); Açúcar redutor: 10,21(%,bu); Sacarose: 0,5 (%, bu)

Os resultados da **Tabela 14** mostram, mais uma vez, que a eficiência maior é para o processo sem adição de cobertura. Porém, neste caso as amostras com cobertura apresentaram umidade menor que a desidratada osmoticamente.

Na **Tabela 15** estão reportados os percentuais de cobertura incorporados às fatias de kiwi (cobertura úmida) e a umidade das amostras com cobertura úmida e secada.

Tabela 15: *Porcentagem de massa de cobertura úmida, Umidade das coberturas de pectina e amido e Umidade calculada da fatia in natura com cobertura.*

Kiwi/Coberturas	$\frac{M_c}{M_f}$ (%)	*Umidade da fatia com cobertura*
Pectina(2%)	2,86	84,34 ± 0,27
Pectina(2%)-40 min/70°C	3,59	79,47 ± 0,11

Teores médios do kiwi *in natura*:

Umidade: 82,68 (%,bu); Açúcar redutor: 10,21(%,bu); Sacarose: 0,5 (%, bu)

No caso do kiwi a variação de massa foi significativa dentro da estufa, ficando abaixo da umidade do kiwi *in natura* (**Tabela 15**).

Na **Tabela 16** são apresentados os valores de sacarose, calculados em base úmida e em base seca. Os resultados, em base seca, mostram a porcentagem de sacarose sobre os sólidos totais finais do produto.

Tabela 16: *Teor de sacarose calculado nas fatias de kiwi após o processo de desidratação osmótica em solução de sacarose (50%) por 2h, 27°C, em cuba.*

Kiwi/Cobertura	S_f (%, bu)	S_f (%, bs)
Pectina(2%)	11,24	33,31
Pectina (2%)- 40 min/ 70°C	8,41	23,24
In natura	4,46	14,89

Teores médios do kiwi *in natura*:
Umidade: 82,68 (%,bu); Açúcar redutor: 10,21(%,bu); Sacarose: 0,5 (%, bu)

Os resultados da **Tabela 16** sugerem que a cobertura úmida fica muito impregnada de sacarose. O procedimento de secagem, após a formação das coberturas, certamente teve papel mais significativo na redução da umidade superficial. Essa redução, com o kiwi, foi maior do que na carambola, porque o primeiro tem umidade muito inferior ao segundo, o que possivelmente estaria associado à umidade média das frutas (kiwi, 82%; carambola, 91%, bu). Pode ser que a água da carambola difunda com mais facilidade para a cobertura, durante a secagem na estufa, em comparação com o kiwi. Essa cobertura secada foi menos impregnada de sacarose que a úmida. A perda de água também foi menor, já que havia menor umidade na cobertura durante a desidratação osmótica (**Tabela 15**).

Os kiwis ainda foram testados em relação à agitação mecânica e tamanho das amostras colocadas nos cestos. Os resultados mostraram que amostras in natura de 120 g e de 85 g tiveram comportamento equivalente, quanto à transferência de massa, quando submetidas à agitação de 700 rpm.

5.1.2. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas

Neste ensaio, conduzido em *shaker,* a adição de $CaCl_2$ na solução osmótica foi testada nas concentrações de 0,02 M e 0,04 M. As fatias ficaram sob agitação de 170 rpm à temperatura de 27ºC, durante 2 horas. A espessura média das amostras foi 4,4 mm.

Na **Tabela 17** são apresentados os resultados de teor de umidade, variação total de massa (eq. 1), perda de água (eq. 2), ganho de sacarose (eq. 4) e perda de açúcares redutores (eq. 6), todos estes em relação à massa inicial, e a eficiência (eq. 7). As equações 4 e 6 foram utilizadas com os valores de concentração de sacarose e açúcares redutores nas amostras desidratadas, determinados por titulação de oxi-redução.

Tabela 17: *Resultados obtidos pela desidratação de fatias de kiwi, em solução de sacarose (50%) e solução de sacarose (50%) adicionada de $CaCl_2$, por 2h, 27°C, em shaker*

Kiwi/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	U_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sacarose}$ (%)	$\Delta P_{aç.red}$ (%)	E
0,04M	65,55 ± 0,06	-37,58	-41,54	7,28	-2,41	-5,71
0,02M	67,36 ± 0,38	-36,93	-39,97	6,48	-2,17	-6,17
0% $CaCl_2$	66,57 ± 0,10	-36,12	-39,8	7,99	-2,36	-4,98

Teores médios do kiwi *in natura*:
Umidade: 82,68 (%,bu); Açúcar redutor: 10,21(%,bu); Sacarose: 0,5 (%, bu)

Deve-se destacar que a variação de massa, calculada pela eq.(1), é ligeiramente diferente daquela calculada com base nos teores de sólidos totais, sacarose e açúcares redutores, o que corresponde à soma das equações 2, 4 e 6 (ou $\Delta P_{água} + \Delta G_{sacarose} + \Delta P_{aç.red.}$). Neste caso obter-se-á 36,67% para 0,04 M, 35,66% para 0,02 M e 34,17% para as fatias sem cloreto de cálcio. Essa diferença de aproximadamente 1 ponto percentual para as amostras com $CaCl_2$ e 2 pontos para a fresca (*in natura*) justifica-se pela pouca firmeza do tecido

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

dessa fruta. Observou-se perda visível de sementes nas soluções osmóticas, que não foram computadas na pesagem final. A perda de açúcares redutores, determinada experimentalmente, resultou um pouco alta, o que provavelmente se deve à perda de massa durante o processo.

Na **Tabela 18** são apresentados os resultados, em base úmida e seca, por titulação de oxi-redução, da quantidade de sacarose e de açúcares redutores das fatias de frutas após DO com e sem cálcio na solução osmótica.

O tratamento mais eficiente foi aquele com 0,02 M de cloreto de cálcio na solução, ainda que as diferenças sejam pequenas. Os resultados dos açúcares finais nas amostras encontram-se na **Tabela 18,** na qual se observam conteúdos finais bastante semelhantes.

Tabela 18: *Teor de sacarose e de açúcares redutores analisados nas fatias de kiwi tratadas em solução de sacarose (50%) adicionada de $CaCl_2$, por 2h, 27°C, em shaker*

Kiwi/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	S_f (%, bu)	S_f (%, bs)	AR (%, bu)	AR (%, bs)
0,04M	12,46	36,17	12,50	36,28
0,02M	11,06	33,88	12,75	39,06
0% $CaCl_2$	13,29	39,75	12,29	36,76

Teores médios do kiwi *in natura*:
Umidade: 82,68 (%,bu); Açúcar redutor: 10,21(%,bu); Sacarose: 0,5 (%, bu)

5.2. Morango

5.2.1. Comparação entre concentrações de $CaCl_2$ adicionado às soluções osmóticas

Os ensaios conduzidos com morangos são similares àqueles com os kiwis em soluções osmóticas com cloreto de cálcio. No caso do morango, a rotação do *shaker* foi de 150 rpm, à temperatura de 27°C, durante 2 horas. A espessura média das amostras foi 4,7 mm.

Na **Tabela 19** são apresentados os resultados de teor de umidade, variação total de massa (eq. 1), perda de água (eq. 2), ganho de sacarose (eq. 4) e perda de açúcares redutores (eq. 6), todos estes em relação à massa inicial, e a eficiência (eq. 7). As equações 4 e 6 foram utilizadas com os valores de concentração de sacarose e açúcares redutores nas amostras desidratadas, determinados por titulação de oxi-redução.

Tabela 19: *Resultados obtidos pela desidratação de fatias de morango por 2h, 27°C, em shaker, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$*

Morango/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	U_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sacarose}$ (%)	$\Delta P_{aç.red}$ (%)	E
0,04M	71,82 ± 0,08	-49,74	-56,41	6,48	-0,12	-8,71
0,02M	72,35 ± 0,07	-50,78	-56,90	5,60	-	-10,16
Imersão (2%,5min)	70,99 ± 0,17	-51,29	-57,93	6,85	-0,37	-8,46
0% $CaCl_2$	70,29 ± 0,12	-49,48	-57,00	7,82	-0,19	-7,29

Teores médios do morango *in natura*:
Umidade: 92,51 (%,bu); Açúcar redutor: 3,90 (%,bu); Sacarose: 0,10 (% bu)

Na **Tabela 20** são apresentados os resultados, em base úmida e seca, por titulação de oxi-redução, da quantidade de sacarose e de açúcares redutores das fatias de frutas após DO, com e sem cálcio na solução osmótica.

Neste caso a eficiência entre a DO em solução adicionada de $CaCl_2$ a 0,04 M e a DO de fatias previamente imersas em solução com 2% de $CaCl_2$ foram equivalentes.

Todos os tratamentos tiveram diferenças pequenas no valor da eficiência, porém o tratamento com cloreto de cálcio a 0,02 M em solução osmótica foi ligeiramente melhor (**Tabela 20**).

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Tabela 20: *Teor de sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de morango desidratadas osmoticamente por 2h, 27°C, em shaker, em solução de sacarose (50%), adicionada ou não de $CaCl_2$,ou previamente imersas em $CaCl_2$*

Morango/ Solução 50% (sac) + $CaCl_2$	S (%, bu)	S (%, bs)	AR (%, bu)	AR (%, bs)
0,04M	13,08	46,42	7,53	26,72
0,02M	11,57	41,84	8,55	30,92
Imersão (2%,5min)	14,24	49,09	7,24	24,96
0% $CaCl_2$	15,67	52,74	7,34	24,71

Teores médios do morango *in natura*:
Umidade: 92,51 (%,bu); Açúcar redutor: 3,90 (%,bu), 52,07(%,bs); Sacarose: 0,10 (%,bu)

Possivelmente, o tratamento do morango em solução com 0,02 M de cloreto de cálcio, se mostrou mais eficiente devido à barreira que o cálcio forma no tecido do vegetal, *restringindo parcialmente a entrada de sólidos da solução* osmótica (**Tabela 20**).

As frutas apresentam estruturas muito diferentes entre si, sendo que umas precisam de mais íons cálcio, outras menos, para formar pectato de cálcio em níveis que efetivamente contribuam para a eficiência do processo. Além disso, a ação das enzimas pectinases é acelerada quando ocorre o corte das frutas, acelerando o processo de formação de pectato de cálcio. A estrutura e a composição da fruta também influenciam na transferência de massa. No caso do kiwi, que tem baixa umidade, as variações de água e de sólidos são menores que nas outras frutas estudadas.

6. CONCLUSÕES

Para a condição de DO estudada neste trabalho (concentração osmótica e temperatura controladas), as coberturas à base de pectina reduziram a eficiência do processo. A explicação mais provável é que a cobertura aumenta a resistência à transferência de massa da água e, ela própria, fica muito impregnada de sacarose (além de reter considerável quantidade de água na sua preparação). Por outro lado, o tecido vegetal, enquanto íntegro, restringe a transferência de soluto a partes das células, enquanto que a água difunde livremente nas mesmas. Nos casos estudados, o tecido vegetal sempre mostrou desempenho melhor quanto à restrição da entrada de solutos, em comparação com a fruta revestida com coberturas.

O teor de umidade inicial do kiwi, mais baixo que da carambola, não melhorou a eficiência das coberturas. Foi comprovado novamente, com o kiwi, que coberturas à base de pectina, úmidas ou secadas em estufa, diminuem a eficiência da DO em comparação com a fruta fresca, encharcando o conjunto (cobertura e fruta) de água e sacarose.

A literatura tem mostrado resultados superiores para a DO de vegetais com revestimentos em relação a vegetais sem revestimentos, sempre em condições de processo um pouco drásticas (altas temperaturas ou soluções osmóticas muito concentradas), o que poderia causar danos às membranas das células vegetais e, conseqüentemente, reduzir a seletividade desses tecidos em relação aos solutos.

A adição de $CaCl_2$ na própria solução osmótica em concentração de 0,04M de $CaCl_2$, aumentou ligeiramente a eficiência da DO de fatias de carambola, quando comparada com a DO de fatias tratadas sem a presença do cálcio. Para o morango e o kiwi, a concentração de 0,02M de íons cálcio na solução osmótica também aumentou ligeiramente o desempenho. Essas diferenças de concentrações de cálcio, entre essas frutas, podem estar associadas ao pH, à quantidade de pectina solúvel e à maturação das frutas.

unesp

CAPÍTULO II

DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM CONVECTIVA DE CARAMBOLAS

1. INTRODUÇÃO

Devido à escassez de estudos sobre carambola, somada à atual facilidade de obtenção dessa fruta, durante o ano todo, a mesma foi escolhida para a condução de estudos de cinética de desidratação osmótica e de secagem com ar aquecido. Como foi verificado no Capítulo I, a concentração de 0,04 M de cloreto de cálcio, na solução osmótica, proporcionou uma ligeira superioridade na eficiência da DO de fatias de carambola, em relação àquelas processadas em banho osmótico sem cálcio. Portanto, a cinética da desidratação osmótica foi determinada em soluções aquosas de sacarose (50%, p/p) com e sem a presença de íon cálcio, este último como controle. Para o estabelecimento das condições de interface durante o processo, foram conduzidos ensaios para determinar a concentração de equilíbrio nessas duas soluções osmóticas. Com base no pré-tratamento selecionado (50%, 0,04 M), foi estabelecido o tempo de tratamento osmótico de 2 h para condução dos subseqüentes ensaios de secagem, pois este tempo proporcionou uma boa redução da umidade e, ao mesmo tempo, uma alta eficiência de processo. A cinética de secagem, a 60 e 70°C, foi determinada para amostras desidratadas osmoticamente nessas duas condições (50% e 50% + 0,04 M $CaCl_2$, 2 h), e para amostras *in natura*, como controle.

Neste Capítulo, também são apresentados os resultados de ensaio de equilíbrio, densidade e encolhimento das amostras durante a DO e a secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Os materiais, como já descritos no **Cap.I (A)** - item **2.1.**, foram: carambolas (*Averrhoa carambola* L.), variedade doce híbrido; o agente osmótico utilizado foi sacarose comercial; o cálcio, como aditivo, foi proveniente do cloreto de cálcio bihidratado (grau comestível USP).

2.2. Equipamentos

2.2.1. Cuba para Desidratação Osmótica

As amostras, acondicionadas em cestos, foram desidratadas em cuba contendo 15 kg de solução osmótica, sob agitação mecânica através de hélice, a 27°C, como descrito no **Cap.I (A)** - Item **2.2.1.**

2.2.2. Plataforma de Agitação

Os ensaios de equilíbrio foram conduzidos em frascos de vidro, dispostos em plataforma de agitação orbital, numa incubadora refrigerada, como descrito no **Cap.I (A)** – Item **2.2.2.**

2.2.3. Secador

O processo foi conduzido em um secador de laboratório que possibilita recirculação de ar. Este dispõe de uma balança semi-analítica com precisão de 0,01 g e capacidade para 4 Kg, para o registro contínuo de peso (**Figura 7**). A balança possui interface RS 232, o que possibilitou ligá-la a um microcomputador para a aquisição dos dados (**Figura 8**). Um programa fornecido pelo fabricante da balança foi utilizado, registrando os pesos a cada

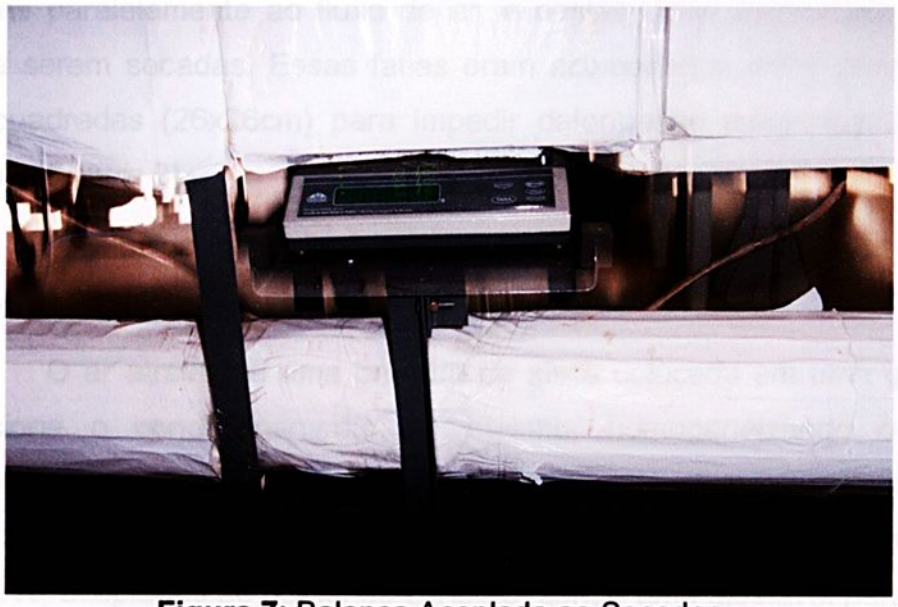


Figura 7: Balança Acoplada ao Secador

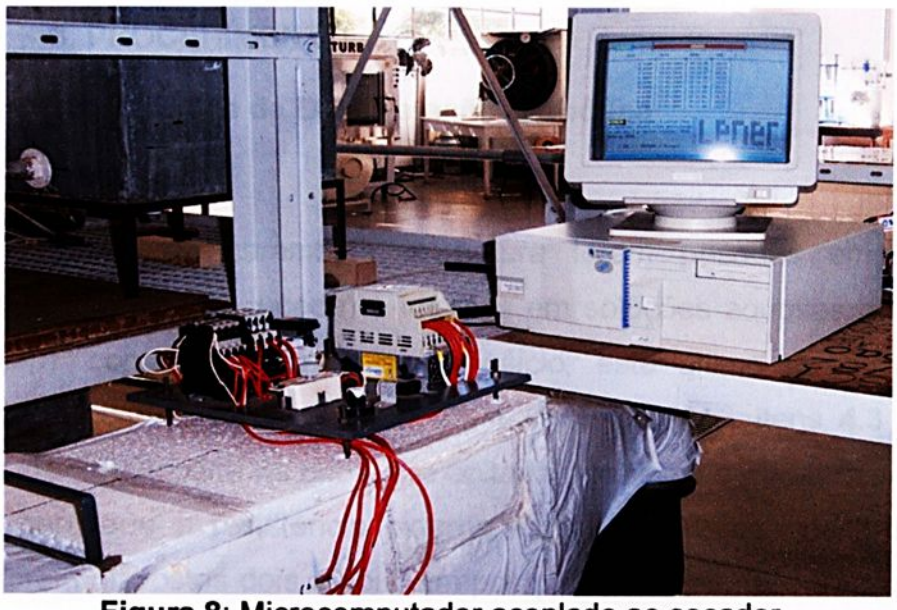


Figura 8: Microcomputador acoplado ao secador

segundo no software compatível com planilhas eletrônicas do Excel da Microsoft. No lugar do prato, a balança dispõe de um suporte onde podem ser colocadas três bandejas construídas em tela metálica. As bandejas ficam dispostas paralelamente ao fluxo de ar, e nestas eram distribuídas fatias de frutas a serem secadas. Essas fatias eram acomodadas entre duas telas de metal quadradas (26x26cm) para impedir deformação exagerada durante a secagem (**Figura 9**).

A velocidade do ar no interior do secador é controlada por um painel de comando acoplado ao ventilador.

O ar atravessa uma barreira de sílica colocada em uma grade que proporciona o condicionamento do mesmo, homogeneizando o fluxo e mantendo a umidade do ar relativamente estável entre os diferentes experimentos. O ar de secagem é aquecido por até três resistências elétricas de 1000W, acopladas ao painel de controle, sendo uma ajustável para controle da temperatura (**Figura 10**).

3. PROCEDIMENTO

3.1. Cinética da Desidratação Osmótica

Fatias de carambola in natura foram pesadas em 4 cestos (aproximadamente 100 g cada) e imersas em soluções aquosas de sacarose (50%, p/p), contendo ou não o íon cálcio, este último na concentração selecionada como a mais eficiente (0,04 M, **Cap.I (A)** - itens **4.3 e 4.4**). A solução (15 kg), contida na cuba, era agitada por hélice a 700 rpm, velocidade mínima para que a resistência externa fosse considerada desprezível. Os cestos foram dispostos dois a dois, em posições opostas dentro da cuba, para cada tempo de processo (½, 1, 2 e 3 h). Decorrido o tempo de DO pré-estabelecido, as amostras foram retiradas da solução, limpadas rapidamente com material absorvente, para retirar o excesso de solução de sua superfície, e novamente pesadas. A seguir as amostras foram desintegradas, e alíquotas foram preparadas para análises de teores de sólidos totais, de açúcares totais e redutores.



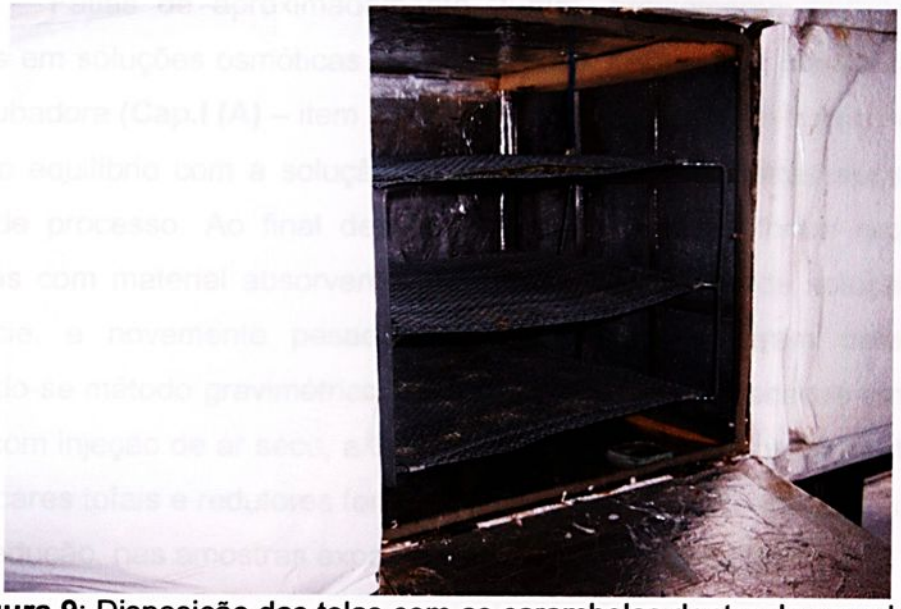


Figura 9: Disposição das telas com as carambolas dentro do secador

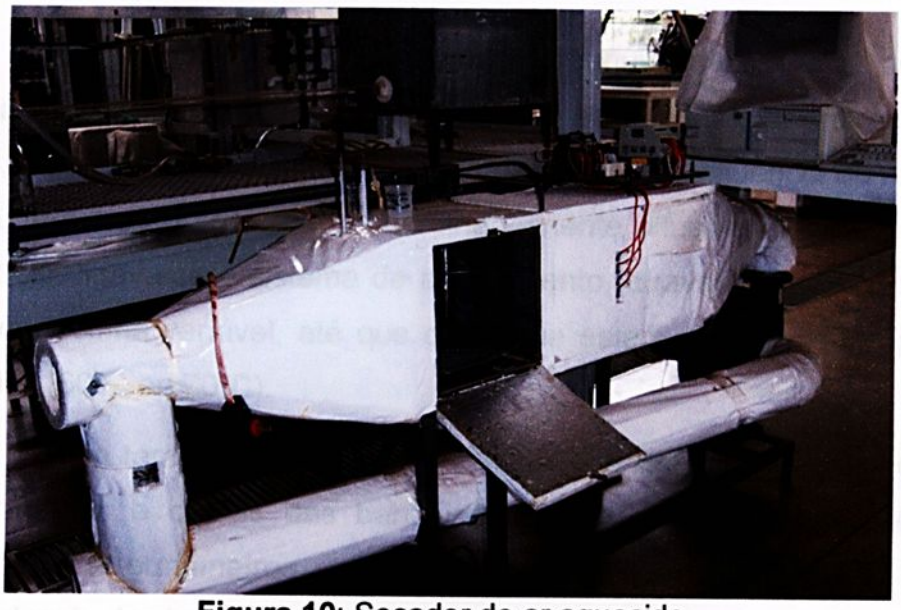


Figura 10: Secador de ar aquecido

3.2. Ensaio de Equilíbrio Osmótico

Fatias de aproximadamente 2 mm, previamente pesadas, foram imersas em soluções osmóticas (50% sacarose, com e sem adição de cálcio), em incubadora (**Cap.I (A) –** item **2.3.4**) a 27ºC e sob agitação com o objetivo de atingir o equilíbrio com a solução. Foram analisadas amostras após 24 e 48 horas de processo. Ao final desses períodos, as fatias foram rapidamente limpadas com material absorvente para retirar o excesso de solução de sua superfície, e novamente pesadas. Os sólidos totais foram determinados utilizando-se método gravimétrico, onde as amostras são secadas em estufa a vácuo com injeção de ar seco, a 60ºC, até peso constante (cerca de 48 horas). Os açúcares totais e redutores foram determinados pelo método de titulação de óxido-redução, nas amostras expostas por 48 horas à solução.

3.3. Secagem

Antes de iniciar o ensaio, o equipamento era posto em funcionamento nas condições de secagem. A velocidade do ar era regulada em 2,0 m/s, relativamente alta, com o intuito de eliminar a influência da resistência externa, tornando o processo predominantemente difusivo. Através do painel de controle, ligava-se o sistema de aquecimento, através de três resistências, duas fixas e uma variável, até que o sistema estabilizasse nas temperaturas desejadas (60ºC ou 70ºC).

Com termopares, a temperatura foi monitorada em dois pontos do secador, antes e depois das bandejas com as amostras. Também foram dispostos dois termômetros de bulbo úmido, na parte superior do secador, antes e depois das bandejas com as amostras.

Após o secador entrar em regime, as carambolas *in natura* ou com DO, eram distribuídas nas três bandejas levadas ao secador. O ventilador era rapidamente desligado, a balança, zerada, e as bandejas colocadas no suporte. Iniciava-se, então, a secagem, ligando o ventilador e ao mesmo tempo

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

iniciando o registro do peso pelo sistema de aquisição de dados. Acompanhava-se constantemente o ensaio, regulando-se manualmente a temperatura pelo painel de controle do secador. Nas duas primeiras horas a temperatura oscilava muito, devido à alta taxa de evaporação de água da fruta.

O tempo para a finalização da secagem foi determinado quando ocorria a estabilidade do peso da amostra, exibida no monitor do microcomputador. Ao final das secagens as fatias de carambolas eram retiradas, pesadas nas próprias bandejas para conferência, e guardadas em frascos de vidro bem fechados. Algumas fatias eram separadas para determinação de densidade e de sólidos totais. Análises de sólidos totais e açúcares totais e redutores também foram realizadas com amostras na condição inicial, isto é, *in natura* e após desidratação osmótica. Ensaios independentes foram realizados para preparação de amostras para testes sensoriais e para a determinação da densidade de amostras *in natura*, desidratadas osmoticamente e secadas com fluxo de ar aquecido.

3.4. Métodos Analíticos

Para a determinação de açúcares totais e redutores por titulação de óxido-redução (WILLIAM, 1970), utilizaram-se amostras com massa aproximada de 10 gramas.

Os sólidos totais foram determinados em triplicata pelo método gravimétrico, no qual amostras *in natura* e desidratadas osmoticamente foram cortadas em pedaços, 2 g foram pesados em frascos pesa-filtro e secadas em estufa a vácuo a 60°C até peso constante, utilizando-se uma balança analítica com resolução igual a 0,1 mg. As amostras saídas do secador foram cortadas em pedaços com auxílio de lâminas de aço, e aproximadamente 2 g foram analisados.

A determinação de densidade, em duplicata, foi realizada com aproximadamente 2 g de amostra, pelo método de deslocamento de volume, utilizando-se frascos picnômetros de 50 ml, com termômetro, e toluol como

unesp

fluido de preenchimento. As amostras, úmidas ou secadas, foram cortadas com lâminas de aço. A manipulação do solvente foi realizada em capela.

4. MODELO MATEMÁTICO

4.1. Cinética da Desidratação Osmótica e da Secagem

O modelo teórico largamente utilizado para interpretar a secagem de alimentos é a teoria da difusão, que considera o sistema binário constituído de espécies *i* (água e espécies não aquosas). Esse mesmo modelo pode ser utilizado para a desidratação osmótica, onde as espécies *i* passam a ser água, sacarose e demais sólidos.

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \vec{\nabla}.(\rho_i \vec{v}_i) = 0 \qquad (8)$$

com ρ_i representando a concentração de massa volumétrica e $\vec{v}_i$ a velocidade das espécies *i*.

O fluxo de massa das espécies *i* com respeito à velocidade média global $\vec{v}$ é descrito segundo:

$$\vec{j}_i = \rho_i(\vec{v}_i - \vec{v}) \qquad (9)$$

O fluxo de massa pode ser representado pela Lei de Fick:

$$\vec{j}_i = \rho_i . D_{im} \vec{\nabla} \omega_i \qquad (10)$$

sendo que ω_i é a fração mássica e D_{im} é o coeficiente de difusão efetiva correspondente à difusão da espécie *i* em uma mistura *m* (BIRD et al., 1975).

As seguintes considerações são assumidas:

- A difusão de cada componente é tratada segundo a forma binária da Lei de Fick
- Qualquer reação (r=0) é desprezível.
- Densidade é constante (ρ=cte).
- Velocidade média global é nula ($\vec{v} = 0$).

Combinando-se as equações (8) a (10) e levando-se em conta as considerações acima, obtém-se:

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} = D_{im}.\nabla^2 \rho_i \tag{11}$$

que é a equação conhecida como a Segunda Lei de Fick.

A difusividade efetiva engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno (encolhimento da amostra, efeito do pectato de cálcio e a própria variação da difusividade). As soluções analíticas para a segunda lei de Fick aplicam-se a sólidos de formas geométricas simples e constantes ao longo do processo.

Considerando-se que o sólido (fatia da fruta) seja uma placa plana com ambas as superfícies expostas à solução osmótica ou ao ar de secagem, que a difusividade seja constante, a variação do volume, desprezível, e que o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra também seja desprezível, tem-se a seguinte solução analítica da equação de Fick, integrada ao longo da espessura (CRANK, 1975).

$$M = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{im} t}{L^2} \right] \tag{12}$$

onde D_{im} é a difusividade binária efetiva, t é o tempo, $2L$ é a espessura média da amostra e M é a concentração adimensional da espécie i, definida por:

$$M = \frac{\overline{\omega_i} - \omega_i^{eq}}{\omega_i^0 - \omega_i^{eq}} \tag{13}$$

sendo que $\overline{\omega}_i$ é a fração de massa média da espécie *i* na fatia , em base úmida, ω_i^{eq} é a fração de massa da mesma espécie no tecido, em equilíbrio com a solução osmótica e ω_i^0 representa a fração nas condições iniciais.

Um modelo empírico bastante utilizado é a equação de Page (HUTCHINSON e OTTEN, 1983 *apud* DO AMARAL SOBRAL, 1987):

$$M = \exp(-K\, t^B) \tag{14}$$

onde M é a concentração adimensional da espécie *i*, K é a constante em s^{-B}, t é o tempo em segundos e B é a constante.

No caso da secagem, é usual definir as equações (12) e (14) com teores de umidade, em base seca. Portanto, o adimensional de concentração M será:

$$M = \frac{\overline{X}_i - X_i^{eq}}{X_i^0 - X_i^{eq}} \tag{15}$$

onde $\overline{X}_i$ é a fração de massa média da espécie *i* na fatia , em base seca, X_i^{eq} é a fração de massa da mesma espécie no tecido, em equilíbrio com o ar nas condições de secagem e X_i^0 representa a fração nas condições iniciais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Cinética da Desidratação Osmótica

Selecionadas as condições de tratamento que resultaram na maior eficiência (0,04 M de $CaCl_2$), foram conduzidos ensaios de desidratação osmótica nessas condições e também sem a adição do sal, para determinação da cinética dos processos e respectiva comparação entre os mesmos. As frutas utilizadas nesses ensaios estavam bem firmes e um pouco verdes.

Nas **Tabelas 21 e 22** são apresentados os resultados de conteúdo de água, sacarose e açúcares redutores em função do tempo de processo (0, 1/2, 1, 2 e 3 h), assim como no ensaio de equilíbrio (24 e 48 h), cuja apresentação está detalhada mais adiante, no item **5.2.** Também é apresentada a variação total de massa (eq. 1), a perda de água (eq. 2) e o ganho de sacarose (eq. 4), todos estes em relação à massa inicial. As perdas de açúcares redutores foram muito baixas, sempre menores que 1% da massa inicial, e não estão reportadas nas tabelas. O coeficiente que representa a eficiência (E) resultou bastante alto, o que pode estar relacionado ao estado de maturidade das frutas. Nestes ensaios as frutas estavam mais verdes que nos ensaios anteriores, apresentando-se bem firmes. A firmeza do tecido provavelmente melhora a restrição à transferência do soluto e não à água, cuja quantidade perdida foi mais alta que dos outros experimentos. Observa-se também que, em média, o processo com a presença do íon cálcio (**Tabela 21**) apresentou eficiência maior, em concordância com o obtido nos ensaios anteriores.

Tabela 21: *Conteúdo de umidade, de sacarose e açúcares redutores, variação de massa, perda de água, ganho de sacarose e coeficiente de eficiência durante a desidratação osmótica de fatias de carambola imersas em solução de sacarose a 50% (p/p) adicionada de 0,04M de $CaCl_2$, em função do tempo de tratamento.*

Tempo de DO 50% sac e 0,04M $CaCl_2$	U_f (%, bu)	S_f (%, bu)	AR_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sacarose}$ (%)	E
0	89,40 ± 0,04	0,54	6,15	100	0	0	-
1/2 h	84,45 ± 0,15	2,25	8,50	-24,39	-25,67	1,19	-21,57
1 h	79,79 ± 0,09	3,84	10,72	-37,72	-39,74	2,02	-19,67
2 h	71,99 ± 0,12	7,78	11,60	-52,84	-55,49	2,65	-20,94
3 h	65,00 ± 0,18	11,77	14,70	-58,69	-62,59	3,90	-16,05
48h	47,01± 0,15	37,46	3,05	-	-	-	-

Tabela 22: *Conteúdo de umidade, de sacarose e açúcares redutores, variação de massa, perda de água, ganho de sacarose e coeficiente de eficiência durante a desidratação osmótica de fatias de carambola imersas em solução aquosa de sacarose a 50%(p/p), em função do tempo de tratamento.*

Tempo de DO 50% sac	U_f (%, bu)	S_f (%, bu)	AR_f (%, bu)	ΔM (%)	$\Delta P_{água}$ (%)	$\Delta G_{sacarose}$ (%)	E
0	90,53 ± 0,22	0,31	5,83	100	0	0	-
1/2 h	84,57 ± 0,10	2,28	8,44	-27,94	-29,59	1,65	-17,93
1 h	79,96 ± 0,10	4,84	9,45	-39,57	-42,22	2,64	-15,99
2 h	71,51 ± 0,18	8,96	11,02	-53,79	-57,49	3,70	-15,54
3 h	64,62 ± 0,16	11,52	12,88	-62,51	-66,31	3,80	-17,45
48h	48,34 ± 0,09	38,49	3,05	-	-		-

Com os resultados dos teores de água e de sacarose (**Tabelas 21** e **22**) foram calculadas as concentrações na forma de adimensionais (M, eq. 13), e a eq. (14) foi ajustada aos mesmos, separadamente. A dimensão característica foi calculada como a média entre a espessura inicial da placa (4,4 mm) com a final (3,2 mm), resultando em 3,8 mm após 3 horas de DO. A espessura final foi calculada com base na redução de volume da amostra em função do ganho de sacarose e da perda de água. Para tanto foi utilizada a densidade da sacarose e da água pura (PERRY e CHILTON, 1973), subtraindo o volume devido à perda de água e somando o volume devido à incorporação de sacarose. Computou-se o encolhimento em uma dimensão considerando-se que o sólido encolheu igualmente nas três direções.

Para determinar os coeficientes efetivos de difusão, utilizou-se um programa comercial (Eureka 1.0) que ajusta equações não lineares utilizando o método dos passos descendentes (MARQUARD, 1959).

Os coeficientes foram calculados segundo eq. (12), utilizando 4 termos de série. Esta convergiu com 3 termos, sendo que a inclusão do quarto termo não provocou variação significativa no coeficiente de difusão. No entanto, para que o valor do adimensional de concentração, calculado no instante zero, se aproximasse de 1, seriam necessários aproximadamente uns 20 termos.

Para medir os desvios entre os valores experimentais e calculados, estimou-se a Média dos Resíduos segundo a equação:

$$\text{Média dos Resíduos}\,(\%) = 100.\sqrt{\frac{1}{N-K-1}\sum_{1}^{N}(V_e - V_c)^2} \qquad (16)$$

onde o resíduo é a diferença entre o valor experimental (V_e) e o calculado (V_c); N= número de observações ou resíduos; K= número de variáveis independentes na equação ajustada; $(N-K-1)$ =define o grau de liberdade

Na **Tabela 23** estão apresentados os coeficientes de difusão efetivos calculados pela eq. (12) e suas respectivas médias de resíduos.

Tabela 23: *Coeficientes de Difusão (eq.12 e 13) e Média dos Resíduos (eq. 16) para a água e sacarose em cada tratamento considerado.*

Carambolas tratadas em solução	*D* água x 10^7 (cm^2/s)	*Média dos Resíduos (%)*	*D* sac x 10^7 (cm^2/s)	*Média dos Resíduos (%)*
50%, 0,04M $CaCl_2$	6,65	8,1	1,61	6,3
50%	7,85	7,8	1,81	5,2

Os valores de difusividade da água resultaram aproximadamente 40% dos valores teóricos para coeficientes binários água-sacarose reportados na literatura (HENRION, 1964).

A eficiência dos ajustes pode ser analisada na **Figura 11**. Nessa figura são comparados os valores experimentais com os calculados, segundo a eq. (12), tanto do ensaio com a presença do íon cálcio quanto daquele sem o mesmo.

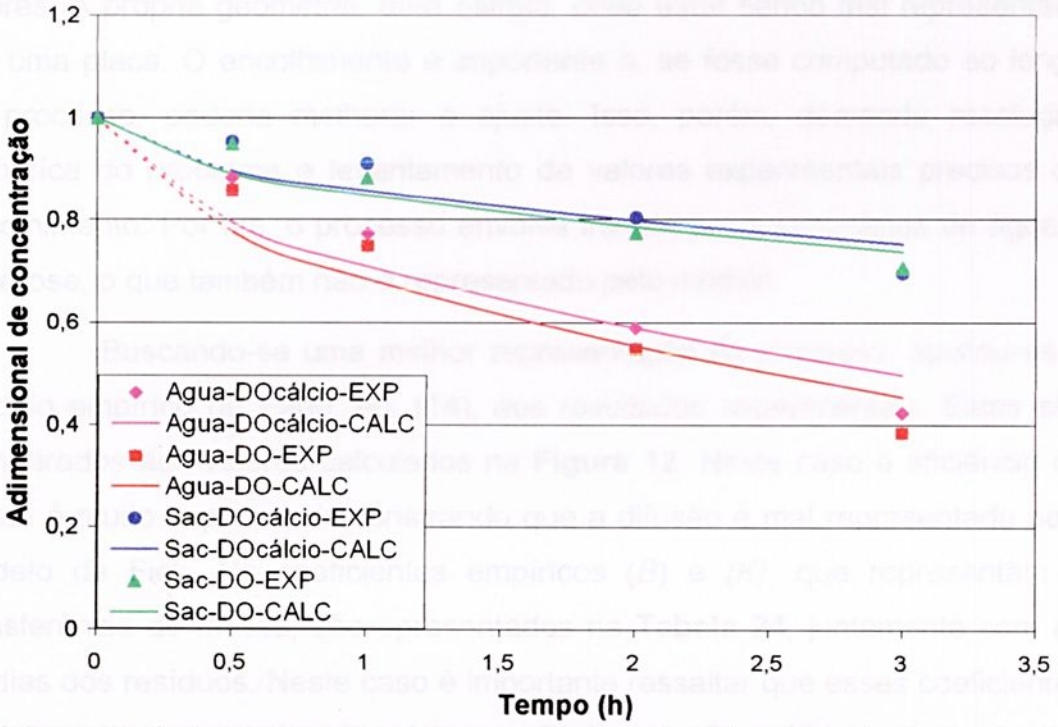


Figura 11: *Comparação dos valores experimentais (exp) e calculados (cal) segundo a solução analítica da equação de Fick (eq. 12). Na solução aquosa de sacarose (50%) e na solução aquosa de sacarose (50%), com adição de 0,04 M $CaCl_2$.*

A presença do cálcio alterou muito pouco a cinética da DO, como pode ser observado na **Figura 11**. Também, pela **Tabela 23**, observa-se que o coeficiente de difusão efetivo de água, calculado no ensaio sem $CaCl_2$, foi 15% maior que naquele com $CaCl_2$, enquanto que o coeficiente de sacarose foi 11% maior. Essa superioridade parece ser uma contradição em relação aos resultados de eficiência. No entanto, comparando-se a variação de água e a variação de sacarose em cada um dos processos (**Tabela 21 e Tabela 22**), é possível detectar maior saída de água e maior ganho de soluto nas amostras não expostas ao respectivo íon. Como a entrada de sacarose é parcialmente restringida pelo pectato de cálcio, a eficiência resulta maior neste caso. Sendo assim, fica claro que o pectato de cálcio restringe as duas espécies, tanto a

água quanto sacarose. Ao restringir os dois componentes, a difusividade de ambos resulta menor (**Tabela 23**).

A eficiência do ajuste é baixa para todos os casos, o que pode ser constatado pela média dos resíduos (eq. 16) apresentados na **Tabela 23**, assim como na **Figura 11**. Provavelmente isso está relacionado a diversos fatores. A própria geometria, uma estrela, pode estar sendo mal representada por uma placa. O encolhimento é importante e, se fosse computado ao longo do processo, poderia melhorar o ajuste. Isso, porém, demanda resolução numérica do problema e levantamento de valores experimentais precisos de encolhimento. Por fim, o processo envolve transferência simultânea de água e sacarose, o que também não é representado pelo modelo.

Buscando-se uma melhor representação do processo, ajustou-se o modelo empírico de Page, eq. (14), aos resultados experimentais. Estes são comparados aos valores calculados na **Figura 12**. Neste caso a eficiência do ajuste é muito superior, demonstrando que a difusão é mal representada pelo modelo de Fick. Os coeficientes empíricos (*B*) e (*K*), que representam a transferência de massa, são apresentados na **Tabela 24**, juntamente com as médias dos resíduos. Neste caso é importante ressaltar que esses coeficientes englobam a geometria do sistema. Portanto são válidos apenas para representar a difusão em placas com a mesma espessura utilizada durante o levantamento dos valores experimentais.

Tabela 24: *Coeficientes de Transferência de Massa B* (eq. 13 e 14) *e Média dos Resíduos (eq. 16) para a água e sacarose em cada tratamento considerado.*

Carambolas tratadas em solução	*B água*	*Kágua x10^5* (s^{-B})	*Média dos Resíduos (%)*	*B sac*	*Ksac x 10^5* (s^{-B})	Média dos Resíduos (%)
50%, 0,04M $CaCl_2$	1,087	3,483	0,6	1,083	1,495	0,4
50%	1,054	5,261	0,8	1,047	2,201	0,9

Os coeficientes de transferência de massa da **Tabela 24** seguiram a mesma tendência dos coeficientes de difusão obtidos pela equação de Fick, os quais diminuem quando $CaCl_2$ está presente. Para analisar a tendência dos coeficientes da equação de Page, considerou-se o parâmetro B semelhante para todos os casos e compararam-se as constantes K. Estas resultaram maiores para os ensaios sem a presença de cálcio e também para água, em comparação à sacarose. Portanto, esses resultados confirmam as maiores taxas de perda de água e de ganho de sólidos quando a solução osmótica não é adicionada de cloreto de cálcio.

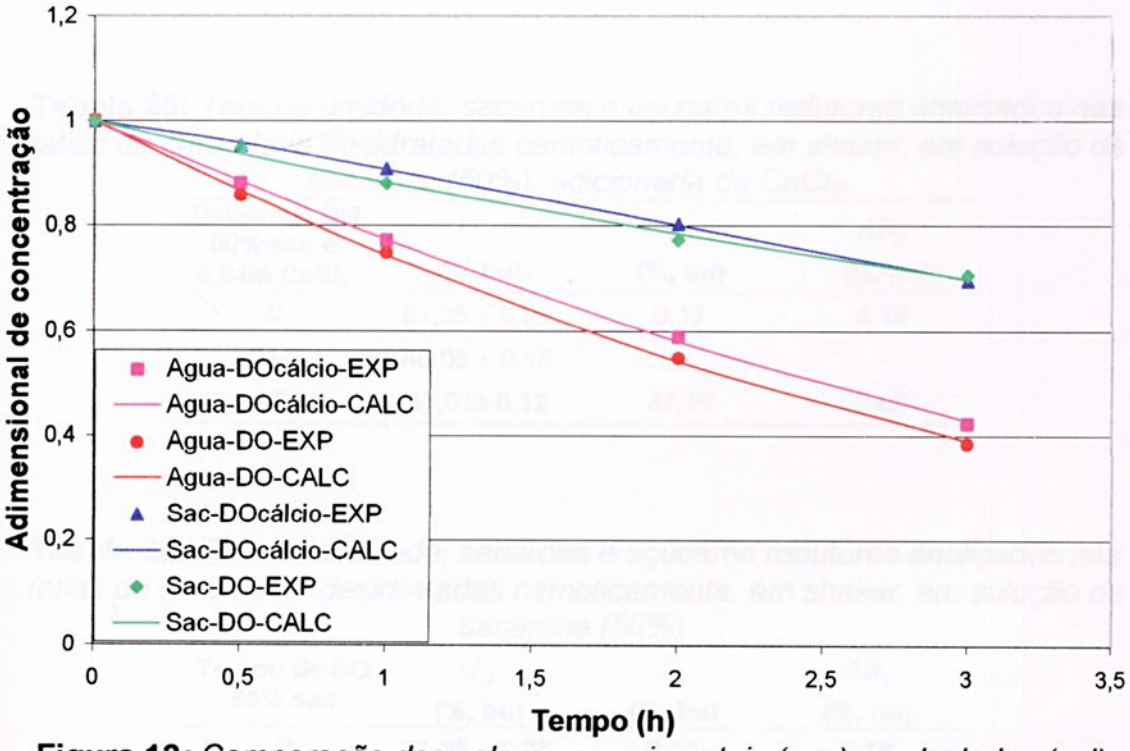


Figura 12: *Comparação dos valores experimentais (exp) e calculados (cal) segundo a solução analítica da Equação de Page (14). Na solução aquosa de sacarose (50%) e na solução aquosa de sacarose (50%), com adição de 0,04M $CaCl_2$.*

5.2. Ensaio de Equilíbrio Osmótico

Como descrito no item **3.2**, fatias de 2 mm de carambolas permaneceram na DO, com ou sem cloreto de cálcio (0,04 M), durante 24 e 48 horas, sendo que para o tempo de 48 horas foram feitas titulações de óxido-redução.

Os resultados dos teores de sólidos totais e açúcares redutores e totais durante o ensaio estão representados nas **Tabelas 25 e 26**. Na **Tabela 27** encontram-se os valores de variação de massa em relação à massa inicial, a perda de água e o ganho de sacarose das amostras utilizadas neste ensaio.

Tabela 25: *Teor de umidade, sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente, em shaker, em solução de sacarose (50%), adicionada de $CaCl_2$.*

Tempo de DO 50% sac e 0,04M $CaCl_2$	U_f (%, bu)	S_f (%, bu)	AR_f (%, bu)
0	91,35 ± 0,05	0,17	4,18
24 h	46,06 ± 0,15	-	-
48h	47,01± 0,12	37,46	3,05

Tabela 26: *Teor de umidade, sacarose e açúcares redutores analisados nas fatias de carambola desidratadas osmoticamente, em shaker, em solução de sacarose (50%).*

Tempo de DO 50% sac	U_f (%, bu)	S_f (%, bu)	AR_f (%, bu)
0	91,35 ± 0,05	0,17	4,18
24 h	47,24 ± 0,09	-	-
48h	48,36 ± 0,31	38,49	3,74

Tabela 27: *Variação de massa (ΔM), perda de água ($\Delta P_{água}$), ganho de sacarose ($\Delta G_{sacarose}$) e perda de açúcar redutor ($\Delta P_{aç.red}$) das carambolas utilizadas nos ensaios de equilíbrio.*

Desidratação osmótica	ΔM (%, bu)	$\Delta P_{água}$ (%, bu)	$\Delta G_{sólidos}$ (%, bu)	$\Delta G_{sacarose}$ (%, bu)	$\Delta P_{aç.red}$ (%, bu)
50% - $CaCl_2$ (24 horas)	-62,30	-73,98	11,69	-	-
50% - (24 horas)	-50,77	-68,10	17,32	-	-
50% - $CaCl_2$ (48 horas)	-61,77	-73,38	11,61	14,15	-3,01
50% - (48 horas)	-49,62	-66,99	17,37	19,22	-2,30

As umidades reportadas nas **Tabelas 25 e 26** apresentam uma leve tendência de aumento (1 ponto percentual) entre 24 e 48 horas, ainda que as diferenças não sejam significativas.

Os resultados obtidos mostram que a perda de água das amostras submetidas ao tratamento de desidratação osmótica com adição de cloreto de cálcio na solução foi maior do que a das amostras que sofreram a desidratação osmótica sem a presença do sal (**Tabela 27**). Além disso, o ganho de sacarose neste último ensaio foi claramente mais acentuado, se comparado ao anterior. Se cada ensaio for analisado separadamente, o ganho de sólidos e a perda de água nos tempos de 24 e 48 horas são praticamente iguais, demonstrando que 24 horas são suficientes para representar o equilíbrio.

As fatias de carambolas desidratadas na solução osmótica com cálcio tiveram variação maior de água que aquelas imersas em solução sem a presença do íon. Esses resultados são opostos ao que se observou nos ensaios para determinação da cinética e, provavelmente, devem estar associados ao longo tempo de exposição das fatias às soluções osmóticas. A fruta desidratada osmoticamente sem a presença de cálcio apresenta umidade e concentração de sacarose ligeiramente maiores, que aqueles com a presença do íon cálcio. Porém, observa-se que a concentração da solução, calculada considerando-se somente a água e a sacarose presentes dentro da fruta, resulta igual a 44%, nos dois casos. Esse valor foi calculado através da razão entre porcentagem de sacarose e porcentagem de sacarose mais água,

após 48 horas de processo. Portanto, mesmo com variações diferentes (**Tabela 27**), a condição final tornou-se semelhante (**Tabelas 25 e 26**)

Um fator a se considerar é que a fruta, sem a presença do cálcio, após longo período de contato com a solução, sofra algum amolecimento, deixando a solução osmótica penetrar facilmente em seus tecidos, encharcando-os, e ganhando um pouco mais de volume. Existe uma leve evidência de que o tempo de exposição causa esse efeito nos dois tratamentos, já que as umidades, após 48 horas, são ligeiramente maiores que após 24 horas, assim como a correspondente perda de água foi um pouco menor para o maior tempo de contato. No entanto, a presença do cálcio parece ter reduzido esse efeito. Sabe-se que o cálcio proporciona firmeza dos tecidos vegetais devido à ligação do cálcio com a pectina solúvel na forma de pectato de cálcio (BOBBIO, 1984). É possível que, na ausência de cálcio, haja um alargamento das paredes celulares, o que viabilizaria mais espaços intracelulares, que seriam ocupados pela solução com presença da sacarose.

No caso do tecido com a estrutura mais rígida devido ao pectato de cálcio, os espaços disponíveis seriam menores, ou porque as paredes celulares manteriam sua forma original, ou porque a sacarose não conseguiria penetrar em algumas partes do tecido. Neste segundo caso, poderia ocorrer a redução dos poros da parede celular. Estes, nos tecidos frescos, normalmente não são barreira para solutos como a sacarose (diâmetro igual a 10 nm), pois o diâmetro médio dos mesmos é igual a 35 nm (CARPITA, 1979). No entanto, o encolhimento do tecido vegetal somado a uma possível difusão ampla desse íon através do mesmo, devido aos longos períodos de exposição, poderiam promover estreitamento e até fechamento de poros pelo pectato de cálcio.

A concentração de 0,04M de íons cálcio na solução osmótica dificilmente afetaria o equilíbrio osmótico, pois a atividade de água da solução de sacarose com $CaCl_2$ (0,991) é muito semelhante à atividade da solução contendo apenas sacarose (0,991-0,992).

5.3. Secagem

Para determinar as curvas de secagem, foram realizados seis ensaios com as fatias de carambolas. Dois deles foram conduzidos com fatias *in natura* (aproximadamente 200 g gramas), à temperatura de 60 e 70ºC. O processo osmótico, prévio às secagens a 60 e 70ºC, foi conduzido em solução com concentração de 50% de sacarose, temperatura de 27ºC, no tempo de 2 horas, com ou sem cloreto de cálcio a 0,04 M e agitação de 700 rpm, utilizando-se aproximadamente 200 g de amostra. Todos os ensaios foram realizados em cuba.

As fatias de carambola, pré-tratadas ou não, foram distribuídas em três bandejas e levadas ao secador, com velocidade do ar de secagem igual a 2 m/s. O peso das amostras mostrou-se estável em 5 horas de secagem. As umidades relativas medidas no ar de secagem em recirculação, durante a realização dos ensaios, foram aproximadamente 15% a 60°C e 8% a 70°C, sem grandes variações.

Na **Tabela 28** são apresentados os resultados de variação de massa, perda de água e ganho de sacarose, todos em relação à massa inicial, obtidos durante os desidratação osmótica (com ou sem cálcio), prévios às secagens de 60°C e 70°C.

Tabela 28: *Variação de massa (ΔM), perda de água ($\Delta P_{água}$), ganho de sacarose ($\Delta G_{sacarose}$) das carambolas que sofreram desidratação osmótica com e sem adição de cloreto de cálcio e que foram utilizadas para a secagem a 60 e 70ºC.*

Tratamento	ΔM (%, bu)	$\Delta P_{água}$ (%, bu)	$\Delta G_{sacarose}$ (%, bu)
DO – $CaCl_2$ e posterior Secagem a 60ºC	-58,41	-61,99	2,91
DO – posterior Secagem a 60ºC	-51,78	-55,81	4,89
DO – $CaCl_2$ e posterior Secagem a 70ºC	-59,33	-63,55	2,93
DO – posterior Secagem a 70ºC	-59,35	-63,37	4,36

Na **Tabela 29** são apresentados os teores de umidade das carambolas *in natura* (antes da secagem e antes da DO), das carambolas após a DO e das carambolas após a secagem.

Tabela 29: *Umidade das carambolas, em base úmida, após as secagens a 60ºC e 70ºC, e/ou após a desidratação osmótica com e sem adição de $CaCl_2$*

Tratamento	*In natura* (%, bu)	Após DO (%, bu)	Após Secagem (%, bu)
Secagem a 60ºC	91,02 ± 0,22		4,98 ± 0,06
Secagem a 70ºC	91,02 ± 0,22		3,31 ± 0,22
DO - $CaCl_2$ e posterior Secagem a 60ºC	91,99 ± 0,31	71,26 ± 0,46	4,56 ± 0,27
DO - posterior Secagem a 60ºC	91,48 ± 0,45	73,93 ± 1,44	6,14 ± 0,18
DO - $CaCl_2$ e posterior Secagem a 70ºC	91,40 ± 0,04	66,47 ± 0,42	3,07 ± 0,20
DO - posterior Secagem a 70ºC	91,51 ± 0,65	69,45 ± 0,77	3,07 ± 0,12

As curvas de secagem das carambolas *in natura* e desidratadas osmoticamente, com ou sem cloreto de cálcio na solução osmótica, submetidas à secagem a 60°C e 70°C, estão representadas na **Figura 13**, em base úmida, e na **Figura 14**, em base seca.

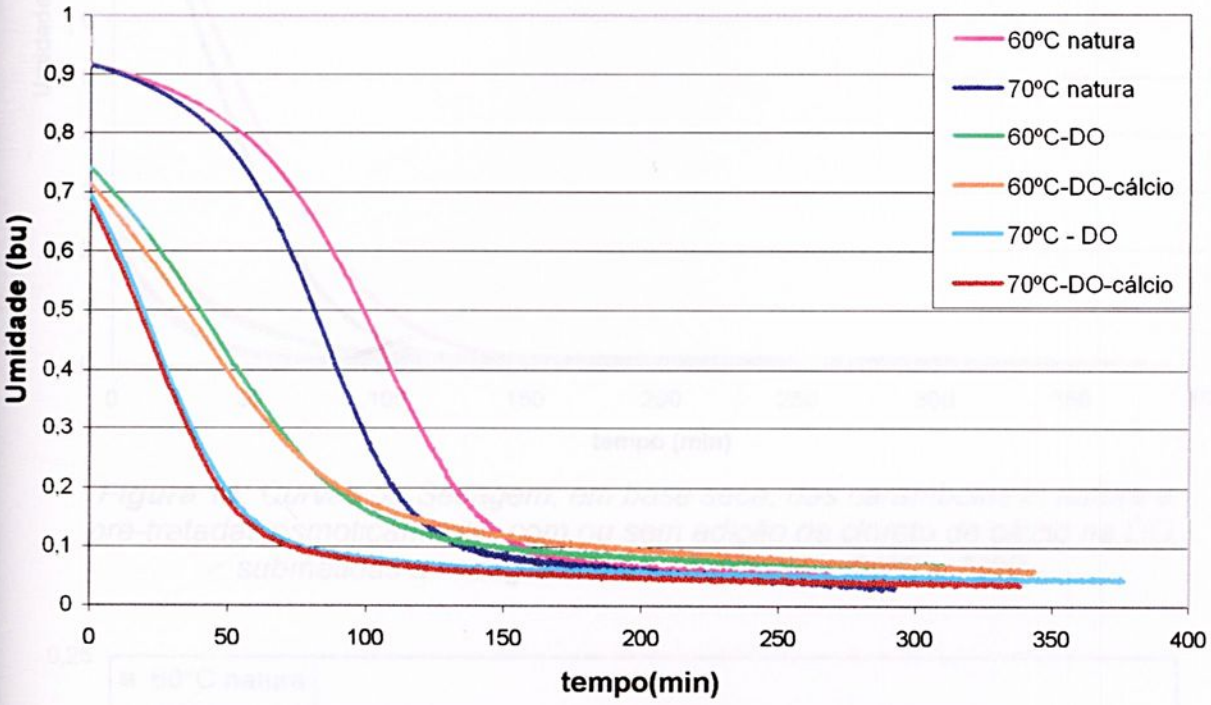


Figura 13: *Curvas de secagem, em base úmida, das carambolas in natura e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem adição de cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60 °C e 70 °C.*

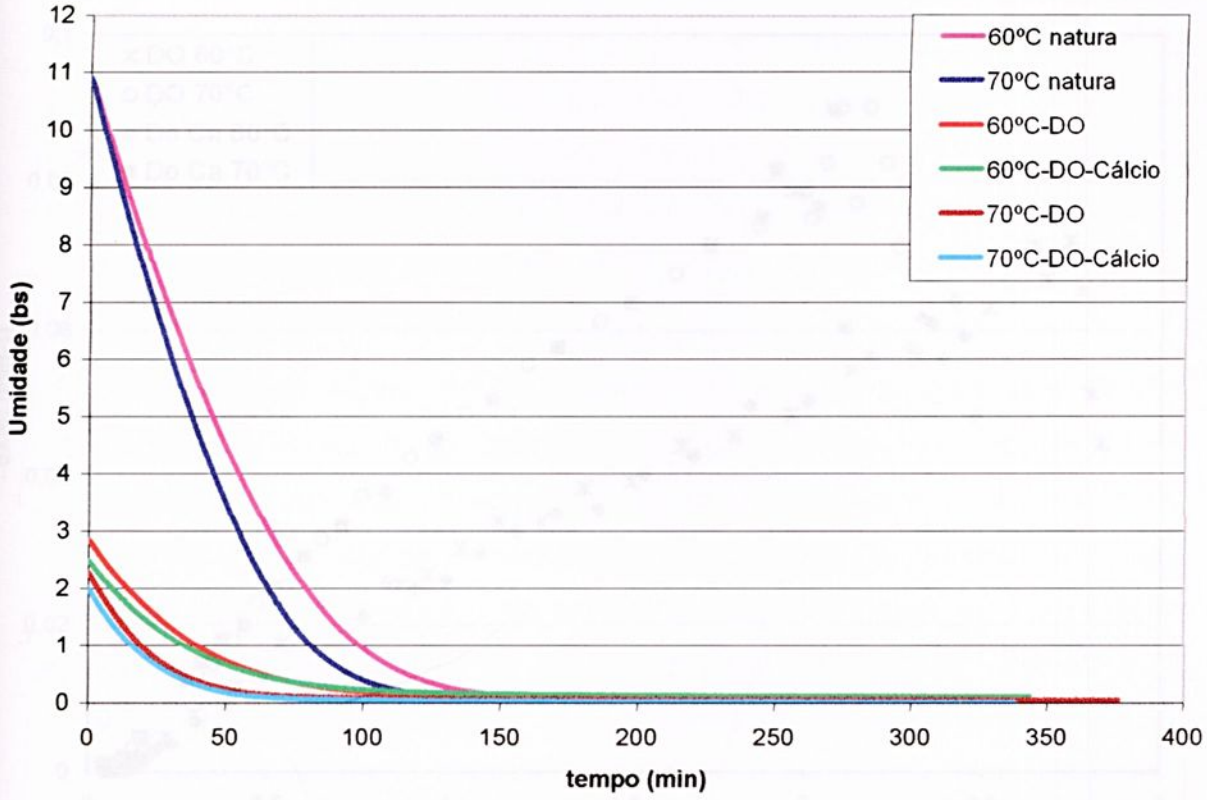


***Figura 14**: Curvas de Secagem, em base seca, das carambolas in natura e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem adição de cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60ºC e 70ºC.*

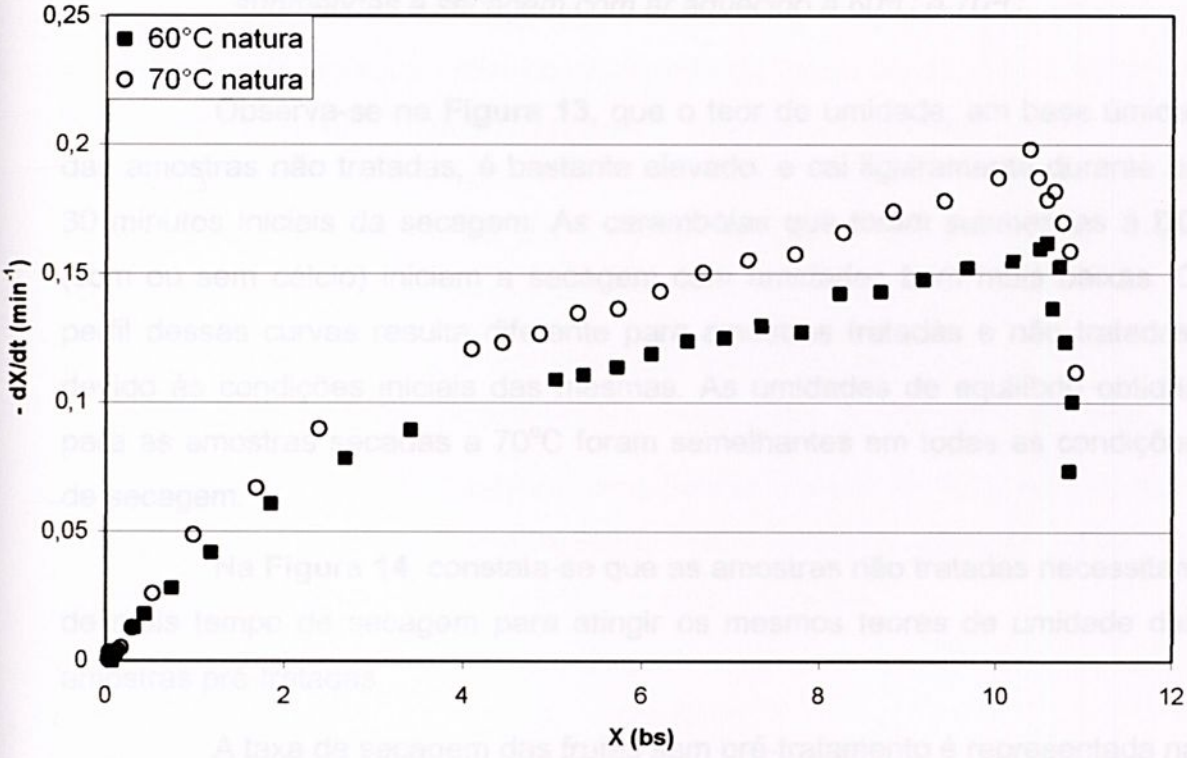


***Figura 15**: Média das taxas de secagem, em base seca, das carambolas in natura, submetidas a secagem com ar aquecido a 60ºC e 70ºC.*

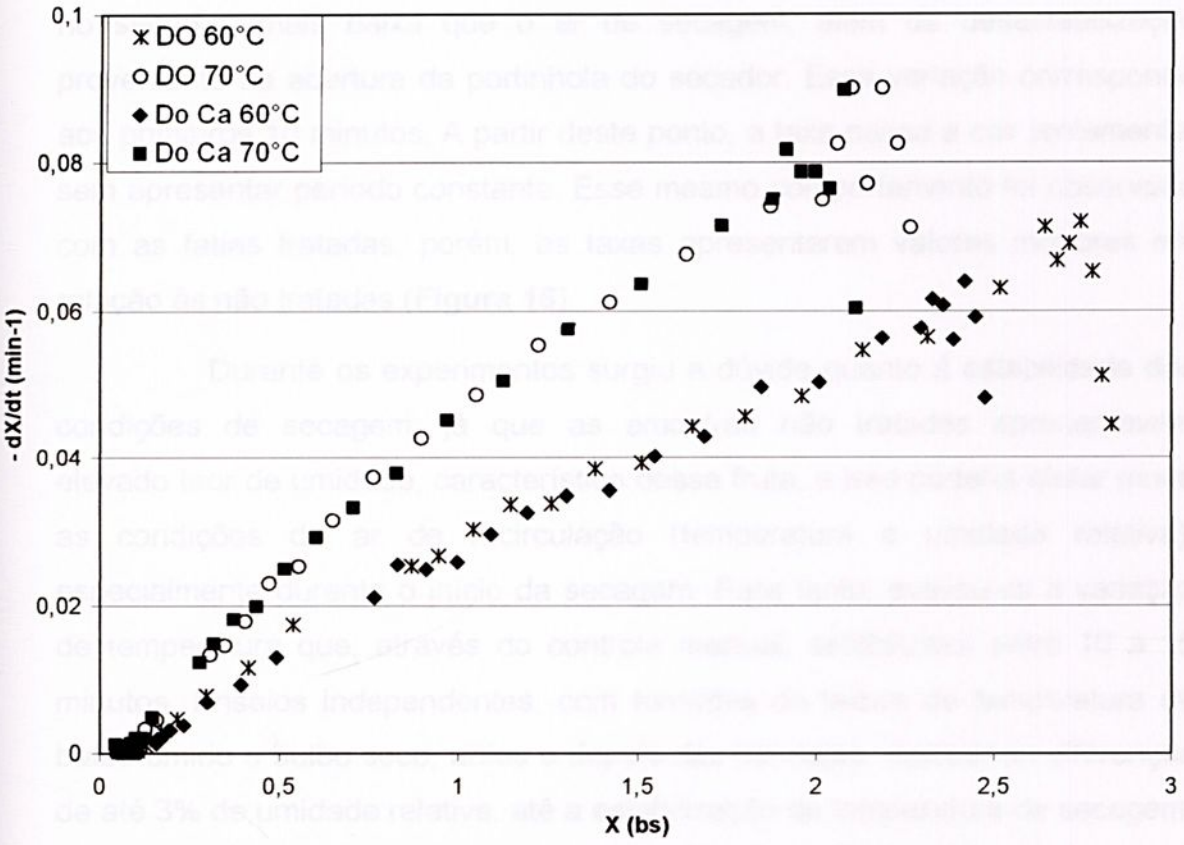


***Figura 16**: Média das taxas de secagem, em base seca, das carambolas pré-tratadas osmoticamente, com ou sem adição de cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60ºC e 70ºC.*

Observa-se na **Figura 13**, que o teor de umidade, em base úmida, das amostras não tratadas, é bastante elevado, e cai ligeiramente durante os 30 minutos iniciais da secagem. As carambolas que foram submetidas à DO (com ou sem cálcio) iniciam a secagem com umidades bem mais baixas. O perfil dessas curvas resulta diferente para amostras tratadas e não tratadas, devido às condições iniciais das mesmas. As umidades de equilíbrio obtidas para as amostras secadas a 70°C foram semelhantes em todas as condições de secagem.

Na **Figura 14**, constata-se que as amostras não tratadas necessitam de mais tempo de secagem para atingir os mesmos teores de umidade das amostras pré-tratadas.

A taxa de secagem das frutas sem pré-tratamento é representada na **Figura 15.** Pode-se constatar que no início da secagem, a taxa cresce

rapidamente, e essa variação deve-se à temperatura com que o produto entra no secador, mais baixa que o ar de secagem, além da desestabilização proveniente da abertura da portinhola do secador. Essa variação corresponde aos primeiros 10 minutos. A partir deste ponto, a taxa passa a cair lentamente, sem apresentar período constante. Esse mesmo comportamento foi observado com as fatias tratadas, porém, as taxas apresentaram valores menores em relação às não tratadas (**Figura 16**).

Durante os experimentos surgiu a dúvida quanto à estabilidade das condições de secagem, já que as amostras não tratadas apresentavam elevado teor de umidade, característico dessa fruta, e isso poderia afetar muito as condições do ar de recirculação (temperatura e umidade relativa), especialmente durante o início da secagem. Para tanto, avaliou-se a variação de temperatura que, através do controle manual, estabilizava entre 10 a 15 minutos. Ensaios independentes, com tomadas de leitura de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco, antes e depois das bandejas, mostraram diferenças de até 3% de umidade relativa, até a estabilização da temperatura de secagem. No entanto, após esse período, a umidade no secador se mantinha relativamente estável. Mesmo assim, foi conduzido um ensaio independente, com 100 gramas de amostras *in natura* secadas na temperatura de 60ºC, para verificar se a recirculação total do ar afetaria de forma significante a eficiência da secagem. Também foram realizados ensaios independentes com 400 e 430g de amostra, nestes casos com recirculação parcial do ar de secagem e pesagem das bandejas fora do secador, já que a entrada de ar fresco desestabilizava a balança acoplada ao secador.

Na **Figura 17** são apresentadas as curvas de secagem a 60ºC das carambolas não tratadas, nas diferentes quantidades de amostras utilizadas.

As curvas são bastante semelhantes a partir de 1h30 de secagem, sendo que as diferenças iniciais estão relacionadas à umidade inicial das carambolas, um pouco diferente entre os lotes utilizados.

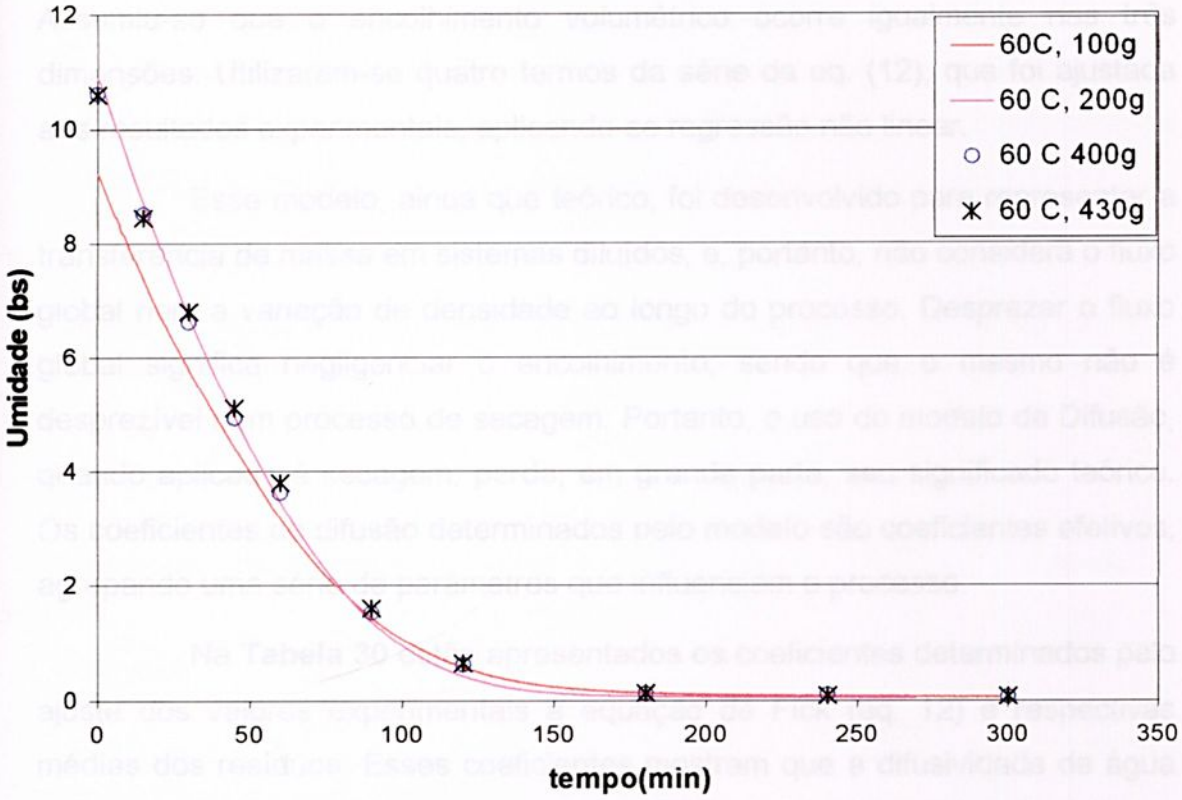


Figura 17: *Curvas de secagem, em base seca, das carambolas in natura, com diferentes quantidades de amostra, submetidas à secagem com ar aquecido a 60 °C.*

5.3.1. Cinética da Secagem

Devido à grande diferença entre as condições iniciais das amostras, uma análise da simples variação de umidade pode não ser esclarecedora. Para descrever a cinética de secagem através dos modelos mecanísticos, há as equações de transferência de massa e as equações de transferência de calor, que devem ser aplicadas ao transporte interno e externo. No entanto, a resolução numérica dessas equações diferenciais parciais demanda considerável trabalho computacional. Portanto, é bastante freqüente a utilização de modelos mais simples para descrever a cinética de secagem.

Testou-se o modelo de Difusão de Fick. Utilizou-se, como hipótese, uma espessura média, calculada a partir da dimensão no início da secagem e daquela ao final da secagem. Os cálculos foram baseados em medidas

experimentais de densidade, como apresentado no item **5.3.2**, a seguir. Assumiu-se que o encolhimento volumétrico ocorre igualmente nas três dimensões. Utilizaram-se quatro termos da série da eq. (12), que foi ajustada aos resultados experimentais, aplicando-se regressão não linear.

Esse modelo, ainda que teórico, foi desenvolvido para representar a transferência de massa em sistemas diluídos, e, portanto, não considera o fluxo global nem a variação de densidade ao longo do processo. Desprezar o fluxo global significa negligenciar o encolhimento, sendo que o mesmo não é desprezível num processo de secagem. Portanto, o uso do modelo de Difusão, quando aplicado à secagem, perde, em grande parte, seu significado teórico. Os coeficientes de difusão determinados pelo modelo são coeficientes efetivos, agrupando uma série de parâmetros que influenciam o processo.

Na **Tabela 30** estão apresentados os coeficientes determinados pelo ajuste dos valores experimentais à equação de Fick (eq. 12) e respectivas médias dos resíduos. Esses coeficientes mostram que a difusividade da água determinada a 60ºC é semelhante para amostras tratadas e não tratadas. Isso não ocorre com as secagens a 70ºC, onde o menor coeficiente corresponde a amostras não tratadas. Ainda que a utilização da solução analítica da Equação de Fick, integrada, não compute o encolhimento, a consideração da espessura média torna os coeficientes obtidos mais comparáveis entre si. Isso porque a espessura inicial das amostras sem tratamento é bem maior que das amostras tratadas (**Tabela 31**).

Tabela 30: *Coeficientes determinados segundo a equação de Fick (eq. 12) e as médias dos resíduos (eq. 16), para as curvas de secagem das carambolas in natura e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60 °C e 70 °C.*

	60ºC		70ºC	
	$D \times 10^6$ (cm^2/s)	*Média dos Resíduos (%)*	$D \times 10^6$ (cm^2/s)	*Média dos Resíduos (%)*
In natura	2,298	9,8	2,694	10,5
DO	2,334	10,5	3,501	6,6
DO com $CaCl_2$	2,142	7,1	3,650	6,8

Na **Tabela 31** são apresentadas as espessuras das fatias de carambolas *in natura*, após a DO e após a secagem. A espessura final foi calculada com base na redução do volume da amostra, o que está descrito no item **5.3.2.,** adiante. Computou-se a redução da espessura considerando-se que o sólido encolheu igualmente nas três dimensões.

Tabela 31: Variação da espessura das fatias de carambolas, in natura, após o processo de DO e após Secagem, e as médias utilizadas na solução analítica de Fick

		Espessura (cm)			
Carambolas	**Temperatura de Secagem**	**Inicial**	**Final DO**	**Final Secagem**	**Média**
Sem tratamento	60ºC	0,44	-	0,18	0,31
	70ºC			0,18	0,31
DO	60ºC		0,32	0,20	0,26
	70ºC		0,31	0,20	0,26
DO-$CaCl_2$	60ºC		0,30	0,20	0,25
	70ºC		0,30	0,20	0,25

A secagem convectiva de vegetais é influenciada pela desidratação osmótica prévia, geralmente modificando a taxa de secagem. Porém, a influência parece depender muito da composição e da estrutura do vegetal. Para as carambolas pré-tratadas, independentemente da presença do cálcio na solução osmótica, os coeficientes efetivos de difusão de água, determinados na mesma temperatura (60ºC ou 70ºC), foram equivalentes. Observa-se também que os valores dos coeficientes determinados a 70°C aumentaram com os pré-tratamentos osmóticos (**Tabela 30**). Em tecidos como o da maçã, isso não é observado. Karathanos, Kostrapoulos, Saravacos (1995), determinando a cinética de secagem de cilindros de maçã osmoticamente desidratados em solução de açúcar, concluíram que os coeficientes de difusão efetivos foram fortemente reduzidos pela presença do soluto. Simal *et al.* (1997) conduzem trabalho semelhante e constatam a mesma redução nos coeficientes do material tratado. Rahman e Lamb (1991) também chegaram à mesma

conclusão, secando fatias de abacaxi com ar aquecido a 60°C, *in natura* e pré-tratadas osmoticamente. A determinação dos coeficientes se baseou na solução analítica da equação de Fick, para várias faixas de umidade. Rodrigues (2003), considerando, no modelo matemático, o encolhimento e a dependência dos coeficientes de difusão com a concentração, também obteve redução nos coeficientes efetivos de difusão de água em maçãs, durante a secagem, quando fatias de maçãs foram previamente tratadas em soluções de sacarose.

Por outro lado, alguns trabalhos não têm reportado redução das taxas de secagem devido a pré-tratamentos osmóticos. Colligan, Raoult-Wack e Themelin (1992), observaram que, para maçã, banana, manga e damasco, não houve diferença significativa no período de secagem e no consumo de energia, quando a secagem (60°C, 2 m/s) das frutas frescas foi comparada com a das frutas impregnadas com sacarose. Park *et al.* (2003) obtiveram coeficientes efetivos de difusão de água maiores para cubos de pêra desidratados osmoticamente do que para cubos não tratados, quando utilizaram velocidade do ar de secagem igual a 2 m/s. A diferença entre os coeficientes aumentou com o aumento da temperatura do ar de secagem (40, 60 e 80°C). A rápida perda de água das amostras não tratadas provavelmente causou formação de áreas superficiais endurecidas, o que reduziu a eficiência da secagem. Isso não foi observado quando a velocidade do ar foi igual a 1 m/s, devido à menor taxa de perda de água nessa condição. O pré-tratamento reduziu esse efeito, através do menor teor inicial de umidade. Resultados semelhantes também foram obtidos no presente trabalho, quando a secagem das carambolas foi conduzida a 70°C. Além disso, os valores dos coeficientes efetivos de difusão de água determinados em pêras apresentam a mesma ordem de magnitude dos coeficientes determinados em carambolas ($3,18 \times 10^{-6}$ cm^2/s para pêras frescas; $4,34 \times 10^{-6}$ cm^2/s para pêras pré-tratadas – secagem a 60°C, 2 m/s).

Devido aos elevados resíduos obtidos no ajuste do modelo de difusão aos valores experimentais (**Tabela30**), foi também aplicado o modelo empírico de Page, utilizando a eq. (14), apresentada no item **4.1.**



Na **Figura 18** comparam-se as curvas teóricas com os resultados experimentais. Para tanto, utilizaram-se valores retirados das curvas da **Figura 13.**

A equação de Page (eq. 14) foi ajustada aos resultados experimentais aplicando-se regressão não linear. Na **Figura 18** pode-se observar a eficiência do ajuste.

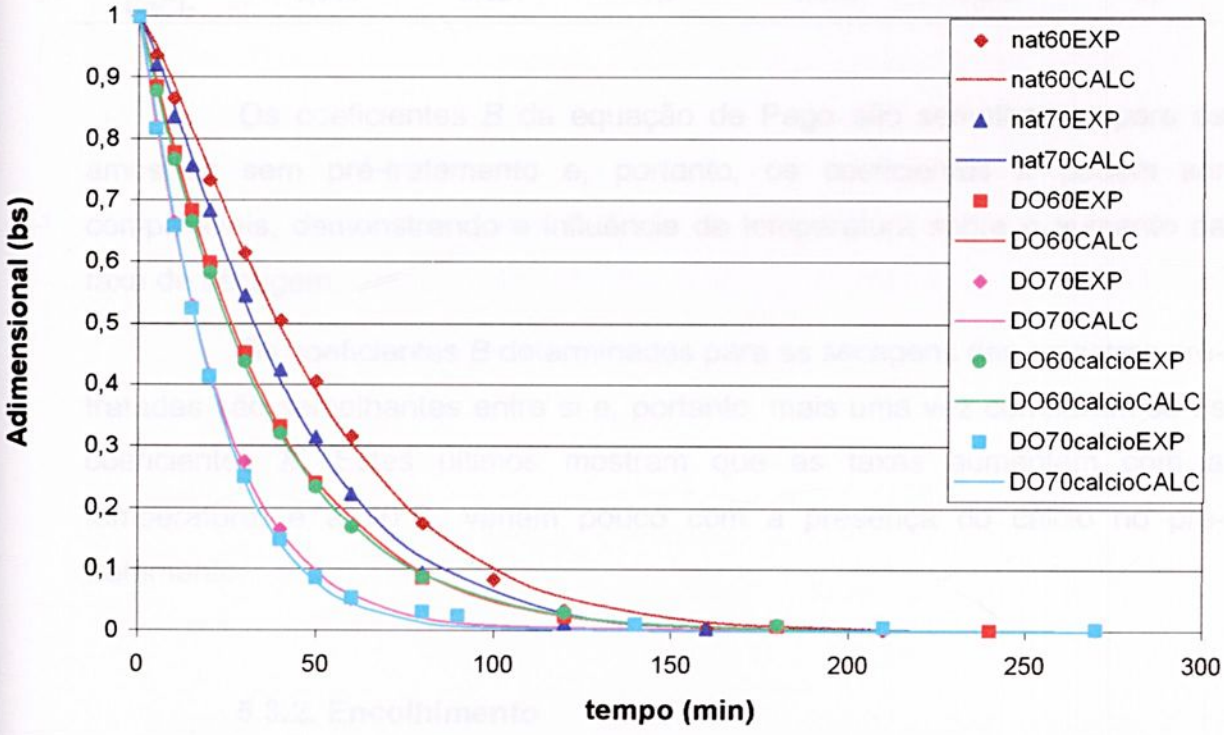


Figura 18: *Comparação entre os resultados experimentais (exp) e os calculados (cal) segundo a equação de Page (eq. 14 e 15), para as curvas de secagem (base seca) das carambolas in natura e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem $CaCl_2$, submetidas à secagem com ar aquecido a 60 °C e 70 °C.*

Na **Tabela 32** estão apresentados os coeficientes determinados pelo ajuste dos valores experimentais à equação de Page (eq. 14) e suas respectivas médias dos resíduos (eq. 16).

Tabela 32: *Coeficientes determinados segundo a equação de Page (eq. 14), médias dos resíduos (eq. 16), para as curvas de secagem das carambolas in natura e pré-tratadas osmoticamente, com ou sem cloreto de cálcio na DO, submetidas a secagem com ar aquecido a 60 °C e 70 °C.*

	60°C			70°C		
	B	$K \times 10^4$ (s^{-B})	Média dos Resíduos (%)	*B*	$K \times 10^4$ (s^{-B})	Média dos Resíduos (%)
In natura	1,260	0,391	1,4	1,244	0,559	1,3
DO	1,097	2,184	0,5	1,077	4,179	0,7
DO com $CaCl_2$	1,040	3,361	0,6	1,079	4,212	0,7

Os coeficientes *B* da equação de Page são semelhantes para as amostras sem pré-tratamento e, portanto, os coeficientes K podem ser comparáveis, demonstrando a influência da temperatura sobre o aumento da taxa de secagem.

Os coeficientes *B* determinados para as secagens das amostras pré-tratadas são semelhantes entre si e, portanto, mais uma vez comparam-se os coeficientes K. Estes últimos mostram que as taxas aumentam com a temperatura, e a 70°C, variam pouco com a presença do cálcio no pré-tratamento.

5.3.2. Encolhimento

Devido ao escasso conhecimento da estrutura da carambola, o estudo do seu encolhimento nos tratamentos citados tem um papel muito importante no contexto.

Com a variação das massas e respectivas densidades globais das amostras, calcula-se a variação de volume em relação ao volume inicial segundo a eq. (17):

$$\frac{V - V^0}{V^0} = \frac{\frac{M}{\rho} - \frac{M_0}{\rho_0}}{\frac{M_0}{\rho_0}} \qquad (17)$$

onde V representa o volume, M a massa, ρ a densidade para um determinado tempo de processo; o sub ou super índice 0 representa o instante inicial.

Os dados foram levantados através de diversos ensaios independentes.

A variação de volume das carambolas *in natura* durante a secagem a 60 e 70°C, juntamente com os dados utilizados nos respectivos cálculos (eq. 17), estão reportados na **Tabela 33**. Na **Tabela 34** é apresentada apenas a variação média de volume ocorrida durante a desidratação osmótica das amostras. Por fim, nas **Tabelas 35 e 36**, encontram-se as umidades e densidades finais, e o encolhimento total, isto é, a redução de volume durante a desidratação osmótica (**Tabela 36**) somada à redução de volume durante a secagem, ambas em relação ao volume da amostra fresca. Essa variação total de volume, a partir da carambola fresca, está representada na última coluna da **Tabela 36**.

Tabela 33*: Massa da carambola secada (m^S) em relação à massa inicial. m_0 (in natura), umidade da amostra secada, densidades in natura e secadas e encolhimentos na secagem a 60 e 70°C.*

In natura	M^S/M_o	Umidade Final (%, bu)	Densidade Inicial (g/cm^3)	Densidade da Amostra seca (g/cm^3)	Encolhimento Total $(V^S - V^0)/V^0$
60ºC	0,0922	5,60 ± 0,25	1,0165 ± 0,0066	1,4139 ± 0,0348	-0,9337
70ºC	0,0909	2,85 ± 0,62	1,0165 ± 0,0066	1,3796 ± 0,0027	-0,9330

V^S Volume das amostras secadas após desidratação osmótica; V^0 Volume inicial das carambolas.

Tabela 34: *Massa da carambola desidratada osmoticamente, com e sem a adição de cloreto de cálcio, em relação à massa inicial (in natura), umidade da amostra desidratada, densidades in natura e desidratada e encolhimentos na desidratação osmótica a 50%.*

Desidratação Osmótica	M^{DO}/M_o	Umidade Final (bu, %)	Densidade da Amostra após DO (g/cm^3)	Densidade Inicial (g/cm^3)	Encolhimento da amostra após DO $(V^{DO}-V^0)/V^0$
50%-$CaCl_2$	0,3677	66,23 ± 1,03	1,1378 ± 0,0069	1,0165 ± 0,0066	-0,6715 ± 0,0043
50%	0,4133	70,06 ±1,07	1,1021 ± 0,0065		-0,6188 ± 0,0324

V^{DO} Volume das carambolas após a desidratação osmótica, V^0 Volume inicial das carambolas

Tabela 35: *Massa da carambola secada em relação à massa inicial (desidratada osmoticamente), umidade da amostra secada, densidades das amostras desidratadas osmoticamente e secadas*

DO e secagem	M^S/Mo^{DO}	Umidade Final (%, bu)	Densidade da Amostra após DO (g/cm^3)	Densidade da Amostra seca (g/cm^3)
50% - $CaCl_2$ e posterior Secagem à 60ºC	0,3422	5,20 ± 0,22	1,1378± 0,0069	1,4056 ± 0,0067
50% - posterior Secagem à 60ºC	0,2926	4,81 ± 0,34	1,1021± 0,0065	1,4039 ± 0,0049
50% - $CaCl_2$ e posterior Secagem à 70ºC	0,3447	3,40 ± 0,30	1,1378± 0,0069	1,4203 ± 0,0045
50% - posterior Secagem à 70ºC	0,3315	4,14 ± 0,43	1,1021± 0,0065	1,3968 ± 0,0011

Tabela 36: *Etapas do encolhimento da carambola durante a DO (2 h), a secagem (5 h)e o encolhimento total (DO + secagem) nas temperaturas de 60 e 70ºC.*

DO e secagem	Encolhimento DO $(V^{DO}-V^0)/V^0$	Encolhimento Secagem $(V^S-V^{DO})/V^{DO}$	Encolhimento Total $(V^S-V^0)/V^0$
50% - $CaCl_2$ e posterior Secagem à 60ºC	-0,6685	-0,7230	-0,9082
50% - posterior Secagem à 60ºC	-0,5959	-0,7703	-0,9072
50% - $CaCl_2$ e posterior Secagem à 70ºC	-0,6745	-0,7239	-0,9101
50% - posterior Secagem à 70ºC	-0,6417	-0,7385	-0,9063

V^{DO} Volume das carambolas após a desidratação osmótica; V^S Volume das amostras secadas após desidratação osmótica; V^0 Volume inicial das carambolas.

A carambola *in natura* tem alto conteúdo de umidade e baixa porosidade. Durante a secagem da fruta, a variação de volume é bem

representada pela saída de água e pelo ganho de açúcar. Portanto, todas amostras apresentam uma compactação significativa de seus tecidos. A formação do pectato de cálcio nas estruturas da parede celular não proporcionou melhora aparente com relação ao volume final, pois constatou-se, pelos resultados reportados nas **Tabelas 33 e 36,** que fatias submetidas a DO, com ou sem $CaCl_2$ antes da secagem, não apresentaram diferença significativa em relação ao encolhimento. Por outro lado, fatias pré-tratadas, encolheram menos que aquelas sem tratamento, durante a secagem. Portanto, o menor encolhimento está associado ao volume de sacarose que a fruta ganhou durante o processo.

Nas secagens das carambolas, com e sem tratamento, a temperatura do ar de secagem não afetou o encolhimento.

A compactação das fatias de carambola fica bem evidenciada quando a densidade global das amostras *in natura* (aproximadamente 1 g/cm^3) é comparada com a densidade após a secagem (aproximadamente 1,4 g/cm^3). Comportamento diverso foi observado por Rodrigues (2003) com fatias de maçãs secadas sem pré-tratamento e após tratamento osmótico a 40, 50 e 60% de concentração de sacarose, pois houve um decréscimo na densidade das amostras em comparação com aquelas *in natura*. Porém, o tecido de maçã apresenta uma alta porosidade, a qual não é encontrada nas carambolas.

Apesar da compactação das carambolas secadas, o produto final com baixa umidade apresentou uma leve crocância. Além disso, sua aparência e sabor foram bem aceitos durante a análise sensorial, como apresentado no Capítulo III, a seguir.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

6. CONCLUSÕES

A concentração de 0,04 M de íons cálcio na solução osmótica não afetou significativamente os coeficientes efetivos de difusão calculados pela equação de Fick, *para água e sacarose, durante o processo de desidratação* osmótica por 3 h de duração. O ajuste da equação de Fick aos valores experimentais não foi muito eficiente. O modelo de Page representou bem a cinética de DO.

Nos ensaios de equilíbrio de longa duração (24-48 h), há indícios de que houve amolecimento do tecido, causando ligeiro acréscimo de volume, e de que a presença dos íons cálcio contribuiu para reduzir esse efeito.

Os coeficientes de difusão de água determinados durante a secagem a 60ºC de carambolas tratadas e não tratadas, foram equivalentes. Já a 70ºC, além da difusividade da água aumentar com a temperatura, os maiores coeficientes de difusão corresponderam às amostras tratadas. Provavelmente a rápida perda de água das amostras não tratadas, no início da secagem, provocou formação de áreas endurecidas nas camadas superficiais da fruta, reduzindo a difusividade da água. As amostras tratadas, que apresentam menor conteúdo de água foram menos sujeitas a esse efeito.

O modelo de Page se ajustou melhor às condições da secagem, do que a equação de Fick, porém, o primeiro não leva em consideração a espessura das fatias, que diferem em função dos pré-tratamentos.

CAPÍTULO III

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CARAMBOLAS EM FATIAS DESIDRATADAS

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser uma técnica simples de conservação que apresenta vantagens por aumentar o tempo de prateleira e reduzir custos decorrente do menor peso e volume e possibilidade de estocagem e transporte à temperatura ambiente, a secagem de frutas com ar aquecido pode comprometer a sua qualidade sensorial e/ou nutricional. Assim, além da avaliação da eficiência em função das condições de secagem, a qualidade sensorial do produto obtido também deve ser avaliada com relação aos seus atributos principais: aparência, sabor e textura.

Incrementos na qualidade sensorial de produtos desidratados, mediante a utilização de processos combinados, têm sido relatados na literatura. Pedaços de manga desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (45 e 55°Brix), com presença de cloreto de cálcio e de ácido ascórbico, seguida de cozimento, repouso por 24 h e secagem parcial em secador solar obtiveram resultados interpretados como positivos (BRANDÃO *et al.*, 2003). A textura resultante de mudanças ocorridas nas substâncias pécticas da parede celular do tecido vegetal, assim como a doçura devido à relação Brix/acidez, conferiu características agradáveis ao produto final. A aparência também foi beneficiada pelo brilho característico de produtos açucarados em comparação com aqueles completamente desidratados. Murari (2000) também encontrou boa aceitação quanto aos atributos sabor, textura e aparência para tomates com umidade intermediária, obtidos por desidratação osmótica em soluções de NaCl-sacarose e subsequente secagem a 60°C.

No presente capítulo, serão discutidos e comparados os resultados obtidos na avaliação sensorial de carambola em fatias secadas a 60 e 70°C, sem tratamento osmótico, com tratamento osmótico em solução de sacarose 50% e após tratamento osmótico em solução de sacarose 50% com adição de

$CaCl_2$ a 0,04 M, que foi considerada mais eficiente pelos resultados dos capítulos anteriores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Fatias de carambola (*Averrhoa carambola* L.), variedade doce híbrido, com aproximadamente 4,5 mm de espessura, sem pré-tratamento e pré-tratadas osmoticamente em solução de sacarose 50% ou em solução de sacarose 50% com adição de $CaCl_2$ a 0,04 M, foram secadas em secador com ar aquecido a 60 e 70°C, conforme capítulos I e II. Ajustou-se o sistema para que se obtivesse uma recirculação parcial do ar de secagem, abrindo-se uma das saídas de ar do secador (**Figura 19**) devido à maior quantidade de amostra, em comparação com aquela utilizada na determinação das curvas de secagem. As amostras secas foram acondicionadas a vácuo em sacos duplos de polietileno e armazenadas a temperatura ambiente protegidos da luz até o momento da avaliação sensorial (15 dias).

2.2. Avaliação sensorial

As amostras servidas em pires de porcelana codificadas com números aleatórios de 3 dígitos, foram avaliadas por uma equipe de 35 provadores não treinados, em cabines individuais, quanto aos atributos aparência, sabor e textura, utilizando uma escala de qualidade de onze pontos com notas variando de 0 a 10. A opção por nota numérica ao invés de termos descritivos (desgostei muitíssimo e gostei muitíssimo) foi por entender que os provadores não treinados teriam maior facilidade de aplicá-la. As seis amostras foram apresentadas simultaneamente e em ordem distintas para cada provador (**Figura 20**).

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18



Figura 19: Entradas de ar do secador

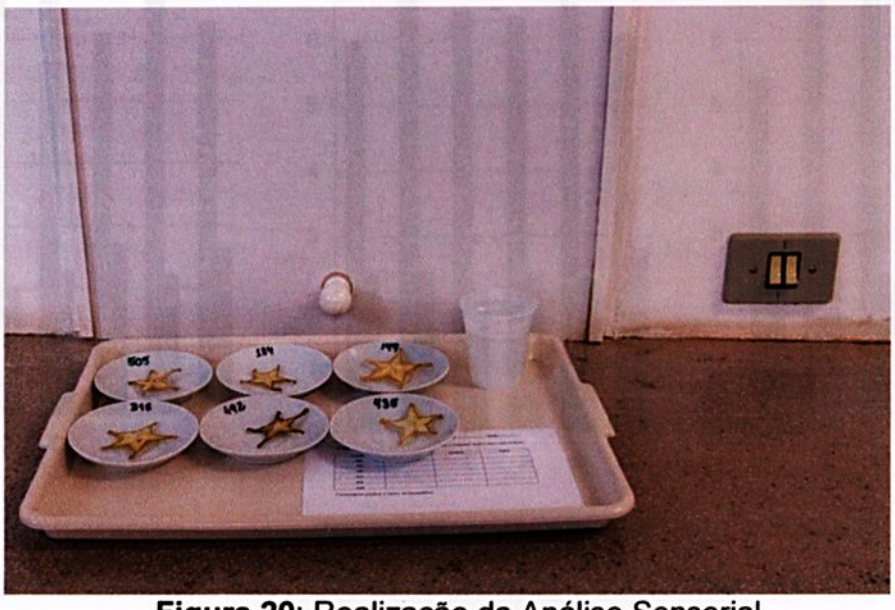


Figura 20: Realização da Análise Sensorial

2.3. Análise estatística

Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) fator duplo sem repetição e teste de Tukey utilizando programa Excel-Microsoft.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As médias das notas e desvios padrão obtidas pelas amostras com relação aos atributos aparência, textura e sabor são apresentadas na **Figura 21** e resumidas na **Tabela 37**. Todos atributos das amostras obtiveram médias acima de 5, sendo que, de um modo geral, as melhores notas foram atribuídas à aparência.

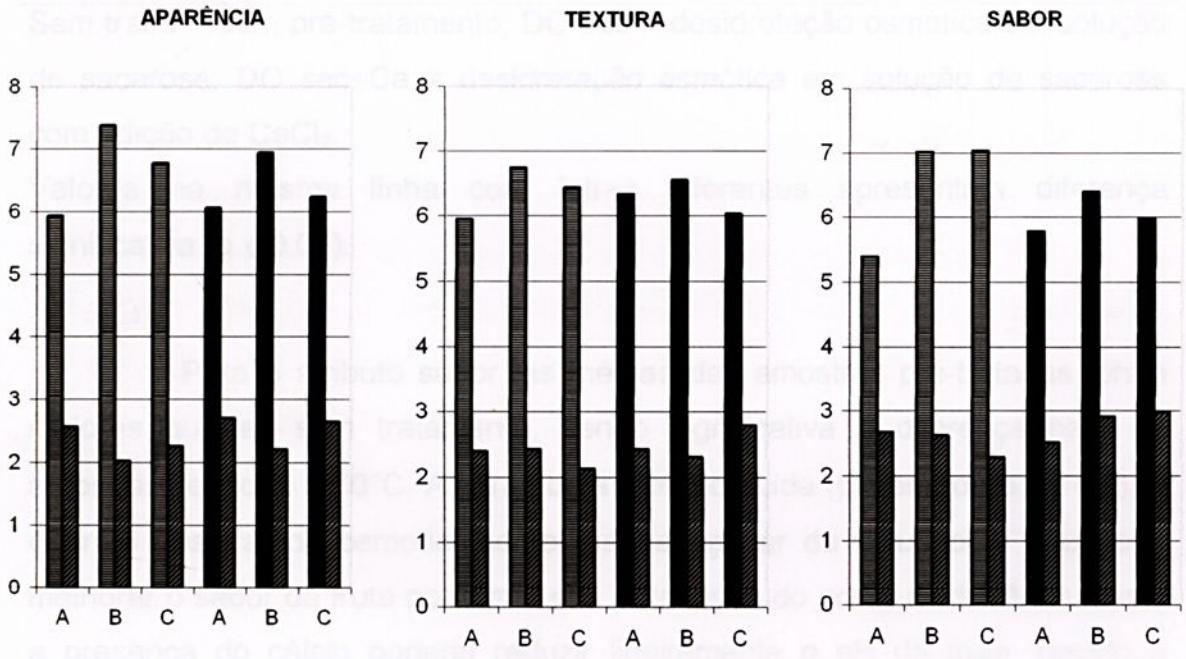


Figura 21. Gráficos das médias e desvios padrão das notas de aparência, textura e sabor de carambolas em fatias secadas a 60°C (▤), 70°C (■) e sem pré-tratamento (A) e pré-tratadas em solução de sacarose 50% (B) e em solução de sacarose 50% com adição de CaCl2 a 0,04 M (C). (▨) Variância

Para as duas temperaturas de secagem, as amostras sem pré-tratamento apresentaram qualidade inferior para aparência e sabor, quando comparadas com as amostras pré-tratadas, mostrando a preferência dos provadores pelas frutas pré-tratadas osmoticamente antes da secagem. Com relação à textura, no entanto, os pré-tratamentos não afetaram a avaliação.

Tabela 37. Médias e desvios padrão das notas de aparência, textura e sabor de carambolas em fatias secadas a 60 e 70°C

Atributo	Secagem a 60°C			Secagem a 70°C		
	Sem trat/o	DO sac	DO sac+Ca	Sem trat/o	DO sac	DO sac+Ca
Aparência	5,9a	7,4b	6,8ab	6,0ab	6,9ab	6,2ab
Textura	5,9a	6,7a	6,4a	6,3a	6,6a	6,0a
Sabor	5,4b	7,0a	7,0a	5,8b	6,4ab	6,0ab
Média global	5,7b	7,0a	6,7ab	6,0ab	6,6ab	6,1ab

Sem trat/o = sem pré-tratamento; DO sac = desidratação osmótica em solução de sacarose; DO sac+Ca = desidratação osmótica em solução de sacarose com adição de $CaCl_2$.
Valores na mesma linha com letras diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Para o atributo sabor, as médias das amostras pré-tratadas foram maiores que as sem tratamento, sendo significativa a diferença para as amostras secadas a 60°C. A carambola é muito ácida (pH em torno de 4,0), e quando desidratada osmoticamente, ganha açúcar da solução, o que pode melhorar o sabor da fruta por diminuir a percepção do gosto ácido. Além disso, a presença do cálcio poderia reduzir ligeiramente o pH da fruta, devido à formação de complexos com os ácidos orgânicos (QUINTERO-RAMOS *et al.*, 2002). No entanto, as notas atribuídas ao sabor foram muito semelhantes entre as amostras com e sem a presença do cálcio, para cada temperatura testada. Também parece não ter sido detectado o gosto amargo residual nas amostras tratadas em solução com $CaCl_2$, como observado por Heng, Guilbert, Cuq

(1990) em mamão tratado osmoticamente em solução de sacarose com adição de 0,05M de Ca.

A melhor avaliação das amostras pré-tratadas com relação à aparência, pode ter sido decorrente do ligeiro escurecimento das fatias de carambola sem tratamento em relação às tratadas. Provavelmente a solução osmótica exerce uma proteção na superfície da fruta, impedindo a ação das enzimas de escurecimento. Segundo Baldini, Draetta e Nomura (1982) a peroxidase é a causa fundamental do escurecimento da carambola na presença de oxigênio, pois catalisa a oxidação de compostos fenólicos em presença de peróxido de hidrogênio. Há indícios de que a presença do cálcio também contribui para a manutenção da cor clara da carambola desidratada, por longos períodos de armazenamento. No entanto, testes durante o armazenamento terão que ser conduzidos para comprovação do mesmo.

4. CONCLUSÕES

A desidratação osmótica em solução de sacarose 50%, com e sem cloreto de cálcio, contribuiu para a maior aceitação dos produtos desidratados com ar aquecido em comparação com aqueles não tratados. Embora as diferenças não sejam significativas, carambolas em fatias desidratadas osmoticamente em solução de sacarose 50% sem adição de $CaCl_2$, e secadas com ar aquecido a 60°C obtiveram a melhor aceitação (média 7,0). A melhoria na qualidade sensorial do fruto desidratado osmoticamente seguido de secagem sugere que estudos mais detalhados sejam conduzidos com esses pré-tratamentos.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

CONCLUSÕES GERAIS

Neste estudo propôs-se a aplicação de pré-tratamentos antes da secagem convencional com ar aquecido de frutas em fatias, para incrementar a qualidade desses produtos desidratados. Os pré-tratamentos se basearam na Desidratação Osmótica em soluções de sacarose, e buscou-se obter a melhor eficiência (maior perda de água/ganho de sacarose) durante este processo. Coberturas de pectina e amido adicionadas a fatias de kiwis e carambolas não se mostraram eficientes devido ao ganho excessivo de água e sacarose durante a DO. Utilizou-se concentração, tempo e temperaturas moderadas, para evitar que o tecido vegetal fosse injuriado. A cobertura adicionada ao kiwi, que contém menor teor de água que a carambola, não melhorou a eficiência da DO. O tecido vegetal sempre mostrou melhor desempenho quanto à restrição da entrada de solutos, em comparação com a fruta revestida com coberturas, nas condições estudadas.

Adição de cálcio na solução osmótica, em concentração igual a 0,04M, promoveu uma pequena melhora na eficiência do processo de desidratação osmótica de carambolas, enquanto que a concentração de 0,02M aumentou a eficiência da desidratação osmótica de morangos e kiwis.

Os coeficientes de difusão efetivos de água e sacarose resultaram ligeiramente maiores para fatias de carambolas desidratadas osmoticamente em solução de sacarose sem a presença dos íons cálcio.

As maiores taxas de secagem foram obtidas com carambolas pré-tratadas. Apesar disso, os coeficientes efetivos de difusão, nas secagens a 60ºC, resultaram semelhantes, tanto para produtos tratados quanto não tratados. Isso não ocorreu nas secagens a 70ºC, onde os coeficientes das amostras tratadas resultaram superiores aos das não tratadas, provavelmente devido ao aparecimento de áreas endurecidas na superfície destas últimas, conseqüência da rápida secagem.

A variação de volume da fruta, durante a secagem, sempre foi proporcional à perda de água, independente de ter sido pré-tratada ou não. Isso acarretou em grande compactação das amostras.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Porém, amostras secadas com e sem pré-tratamento osmótico, e submetidas a avaliações sensoriais, obtiveram uma boa aceitação na característica de textura, na análise sensorial (notas acima de 5). Os atributos sabor e aparência também foram bem aceitos. A aparência se deve à conservação da estrutura original da fruta, tanto em forma quanto em cor. Apenas no caso das frutas *in natura*, secadas a 60 e 70ºC, houve ligeiro escurecimento, prejudicando a avaliação da sua aparência. O sabor foi melhorado com o tratamento osmótico, devido à impregnação de sacarose, que ajudou a reduzir a acidez da fruta. A temperatura de secagem de 60ºC também provou melhorar as características desses produtos, quando comparada a 70ºC.

Apesar do caráter preliminar e de pesquisa aplicada deste trabalho, foi possível estabelecer algumas condições viáveis para realização do processo, que poderão futuramente ser estudadas com maior profundidade.

SUGESTÕES

Uma sugestão é estudar alterações estruturais nas amostras durante o início do processo de secagem, de forma a esclarecer melhor a baixa eficiência obtida com amostras não tratadas.

Propõe-se também avaliar a retenção de nutrientes, como carotenóides, que são significativos na carambola, durante a secagem de amostras submetidas a pré-tratamentos osmóticos.

Outra sugestão é estudar o efeito de revestimentos sobre a retenção de nutrientes, durante a secagem, independente da desidratação osmótica.

Por fim, estudos sobre a formação do pectato de cálcio com a pectina presente nas frutas poderiam ser conduzidos, na tentativa de detectar o grau de penetração do íon e seus efeitos sobre as diferentes estruturas vegetais.

unesp

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, S.A.C., METRI, J.C., BENÍCIO, de B.N., GUERRA, N.B. (2003). Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana L.*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. V.23, nº.2, Campinas, May/Aug.

ARAÚJO, P.S.R.de, SCARPARE FILHO, J.A., MINANI, K. (2000). Carambola: fruto com formato e sabor únicos. Piracicaba: ESALQ, DIBD (Série Produtor Rural, 12), 34 p.

ARAÚJO, P.S.R.de, SCARPARE FILHO, J.A., MINANI, K. (2001). Seleção de Caramboleiras pelas características biométricas e físico-química dos frutos. *Scientia Agrícola*, v.58, n.1, 91-99 p.

AZEREDO, H.M.C., JARDINE, J.G.(2000). Desidratação Osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos,* 20(1).

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

BALDINI, V.L.S., DRAETTA, L.DOS S., NOMURA, E.H. (1982). Avaliação Bioquímica da Carambola (*Averrhoa Carambola L.*). *Col. ITAL.* Campinas, 12, 283-291p.

BARRERA, C.; BETORET, N.; FITO, P. (2004). Ca2+ and Fe2+ influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering* 65, 9-14 p.

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

BIDWELL, R.G.S.(1979). *Plant Physiology*. Second Edition. pp. 60. New York: Macmillan Publishing Co., Inc. 726 p.

BIRD. B. R., WARREN, E. S., LIGHTFOOT, E.N. (1975). *Fenômenos de Transporte*. Versión española por Fidel Mato Vázquez. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.

BOBBIO, P.A., BOBBIO F.O. (1984) *Química do Processamento de Alimentos*, Campinas, Fundação Cargill, 232 p.

BORTOLINI, F., SANT'ANNA, E.S., TORRES, R.C. (2001). Comportamento das Fermentações Alcoólica e Acética de Sucos de Kiwi (*Actinidia Deliciosa*);Composição dos Mostos e Métodos de Fermentação Acética, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*., Campinas, (21)2: 236-243p.

BOX, G.E.P, HUNTER, W.G, HUNTER, J. S (1978); *Statistics for Experimenters- Na introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*; . New York; John Wiley,& Sons; 653p.

BRANDÃO, M.C.C., MAIA, G.A., LIMA, D.P., PARENTE, E.J. DE S., CAMPELLO, C.C., NASSU, R.T., FEITOSA, T., SOUZA, P.H.M. (2003). Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótica-solar. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v.25, nº 1 Jaboticabal.

CAMARGO FILHO, W. P., MAZZEI, A. R., CAMARGO, A. M. P., ANAPALOS, L. C. (1994). Estacionalidade dos preços e das quantidades de frutas olerícolas: melancia, melão e morango, 1987 - 91. *Hortic. Bras.*, v. 12, n. 1, (Resumo 43), 75 p.

CAMIRAND, W.,M., FORREY, R.R., POPPER, K., BOYLE, F.P. & STANLEY, W.L. (1968). Dehydration of Membrane-Coated Foods by Osmosis. *Journal of Food Science Agriculture*, 19, 472-474 p.

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

CAMPBELL, C.A.,KOCH, K.E. (1989). Sugar/acid composition and development of sweet and tart carambola fruit. *Journal of American Society for Horticultural Science*. Alexandria. V.114, n.3, 455-7p.

CARPITA, N., SABULARSE, D., MONTEZIMOS, D., DELMER, D. P. (1979). Determination of the pore size of cell walls of living plant cells. *Science*, 205, 1144-1147p.

CARRIZO, J.M. (2002). Influência de pré-tratamentos osmóticos na cinética de secagem de pimentão utilizando um coletor solar. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista. São José do Rio Preto - SP., 100 p.

CARVALHO, A V., LIMA, L.C.de O. (2002). Qualidade de kiwis minimamente processados e submetidos a tratamento com ácido ascórbico, ácido cítrico e cloreto de cálcio. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, v.37, n.5, 679-685p.

COLLIGAN, A., RAOULT-WACK, A.L., THEMELIN, A. (1992). Energy study of food processing by osmotic dehydration and air drying. *Agricultural Engineering Journal*. 1(3), 125-135 p.

CONWAY, J., CASTAIGNE, F., PICARD, G. & VOVAN, X. (1983). Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16, 25-29 p.

CRANK, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed., Claredon Press, Oxford. 414 p.

DÍAZ, G. R., MARTÍNEZ-MONZÓ, J., FITO, P., CHIRALT, A. (2003). Modelling of Dehydration-Rehydration of Orange Slices in Combined Microwave/Air Drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4, 203-209 p.

DIXON, G. M., JEN, J. J. & PAYNTER, V. P., (1976). Tastes Apple Slices Result from Combined Osmotic Dehydration and Vaccum-drying Process, Food Product Develop 10(7), 60 p.

DONHOWE, I.G., FENNEMA, O. (1994). Edible Films and Coatings: Characteristics, Formation, Definitions, and Testing Methods. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Edited by J. M. Krochta. Lancaster:U.S.A., 1-24 p.

DO AMARAL SOBRAL, P. J. (1987). Secagem de sangue bovino incorporado a proteína texturizada de soja em leito fluidizado e em leito fixo - Tese de Mestrado - UNICAMP, Campinas (SP), 171 p.

DOYMAZ, I., PALA, M. (2002). The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. *Journal of Food Engineering.* Vol.52, 413-417p.

EL-AOUAR, A.A., AZOUBEL, P.M., MURR, F.E.X. (2003). Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya L.*). *Journal of Food Engineering*, v.59, 85-91p.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. (2000). *Relatório Anual de Fruticultura de Clima Temperado*. EPAGRI. Videira.

ERTEKIN, C., YALDIZ, O. (2004) Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359 p.

FITO, P., CHIRALT A. (2000). Osmotic Dehydration an Approach to the Modeling of Solid Food-Liquid Operations. *Food Engineering 2000*. International Thomson Publishing. 231-252 p.

GIANGIACOMO, R., TORREGGIANI, D., ABBO E.(1987). Osmotic dehydration of fruit pp. Part I. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. J. *Food Proc. Pres.*, 11(9), 183-195 p.

HENG, H., GUILBERT, S., CUQ, J.L. (1990). Osmotic Dehydration of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality. *Sciences des Aliments* 10, 831-848 p.

HENRION, P.N. (1964). Diffusion in the sucrose + water system. Transaction Faraday Society, 60, 72-74 p.

HENRIQUE, C.M., CEREDA, M.P. (1999). Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria Ananassa Duch*) cv IAC Campinas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol.19, n.2, Campinas.

HOUGH, G., CHIRIFE, J., MARINI, C. (1993). A simple model for osmotic dehydration of apples. *Lebensmittel-Wissenschaft und - Technologie*, 26, 151-156 p.

HUTCHINSON, D., OTTEN, L. (1983). Thin Layer air Drying of Soyben and White Beans. *Journal of Food Technology*, 18, 507-522 p.

ISHIKAWA, M., HIDETOSHI, N. (1990). Inhibition of Solute Permeation in Osmotic Dehydration of Food by Chitosan Menbrane Coating. *Nippon Suisan Gakkaishi* , 57(4), 767 p.

JAYARAMAN, K. S., DAS GUPTA, D. K. (1992). Dehydration of Fruits and Vegetables: Recent Developments in Principles and Techniques, Drying Tecnol. 10 (1), 1- 50p.

KARATHANOS, V. T., KOSTRAPOULOS, A. E., SARAVACOS, G. D. (1995). Air-drying of Osmotically dehydrated Fruits, *Drying Technol.* 13(5-7),1503 – 1521 p.

KARIM, A. A., WAI, C.C. (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) purée. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry*. 64, 337-343 p.

KAYMAK-ERTEKIN, F., SULTANOGLU, M. (2000). Modelling of mass transferduring osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 46, 243-250 p.

LABUZA, T. P. (1980). The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*, abril, 36 – 41p.

Inst. de Biociências, Letras e Ciências Exatas - UNESP - S. J. Rio Preto
BIBLIOTECA
T 1334/05

LE MAGUER, M. (1997). Mass Transfer Modeling in Structured Foods. In P. Fito, E. Ortega-Rodriguez & G. Barbosa-Cánovas, *Food engineering 2000*. New York: Chapman & Hall, 253-269 p.

LENART, A., DABROWSKA, R. (1999). Kinetics of Osmotic Dehydration of a apples with Pectin Coatings. *Drying Technology*; 17 (78), 1359-1373 p.

LENART, A., PIOTROWSKI, D., (2001). Drying characteristics of osmotically dehydrated fruits coated with semipermeable edible films. *Drying Technology*; 19 (5), 849-877 p.

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

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

MANNHEIM, C. H., LIU, J. X., GILBERT, S. G. (1994). Control of water in foods during storage. *Journal of Food Engineering*, n. 22, 509 – 532 p.

MARQUARD, D.W. (1959). Solution of nonlinear chemical engineering models. *Chemical Engineering Progress*, 55(6), 65-70 p.

MAURO, M. A., MENEGALLI, F. C. (1995). Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of bananas (*Musa Cavendish* Lambert). *International of Food Science and Technology*, 30, 199-213 p.

MAZZA, G. (1983). Dehydration of carrots: Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *Journal of Food Technology*, 18, 113-123 p.

MORAES, M.A.C. (1993). *Métodos para avaliação sensorial dos alimentos*. 8ª edição. Editora da Unicamp. 93 p.

MURARI, R.DE C. B.D.L. (2000). Cinética da Desidratação Osmo-convectiva de tomates. Tese de Mestrado. Unesp, São José do Rio Preto(SP).

NOBEL, P.S. (1991). Physicochemical and Environmental Plant Physiology. San Diego: Academic Press, Inc. 635 p.

NSONZI, F., RAMASWAMY, S. (1998). Osmotic dehydration kinetics of blueberries. *Drying Technology*, 16(3-5), 725-741p.

NUCCI, T.A. (1996). Cultura do kiwi. *Instituto Agronômico de Campinas*. Jaboticabal:FUNEP, 28 p.

OGONEK, A., LENART A. (2002). Influence of selective edible coatings on osmotic dehydration of strawberries. *FSTA, Food Science and Technology Abstracts*, (08), J1885 p.

PARK, K. J., BIN, A. & BROD, F. P. R. (2003). Drying of Pear d'Anjou with and without Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56, 97-103 p.

PERRY, R.H., CHILTON, C. H. (1973), *Chemical Engineers' Handbook*. 5th Edition, New York, McGraw-Hill

PILNIK, W., VORAGEN, G.J. (1966). Pectic Enzymes en Fruit and VegetableJuice Manufacture. In *Enzymes in Food Processing*. Edited by T.Nagodawithana and G. Reed. 3 ed. New York: Academic Press, Inc. Chapter 14, 363-392 p.

POMERANZ, Y., MELOAN C.E. (2000). *Food Analysis: Theory and Practice*. 3ªedição. Gaithersburg, Maryland. 778 p.

PONTING, J. D. (1973). Osmotic Dehydration of Fruits – Recent Modification and Applications, *Process Biochemistry* 8, 18 – 20 p.

PRATI, P., NOGUEIRA, J.N., DIAS, C.T.S. (2002). Avaliação de carambola (Averrhoa carambola L.) dos tipos doce e ácido para o processamento de fruta em calda. Boletim do Centro de pesquisa e Processamento de Alimentos. 20(2), 221-246 p.

QUINTERO-RAMOS, A., DE LA VEJA, C., HERNANDEZ, E., ANZADUA-MORALES, A. (1993). Effect of conditions of osmotic treatment on the quality of dried apple dices. *Aiche Symp, Series*, 89, 108-103 p.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

QUINTERO-RAMOS, A., BOURNE, M., BARNARD, R., GONZÁLEZ-LAREDO, A., ANZALDÚA-MORALES,M. PENSABEN-ESQUIVEL, MÁRQUEZ-MELÉNDEZ, R. (2002). Low temperature Blanching of Frozen Carrots with Calcium Chloride solutions at different Holding Times on Texture of Frozen Carrots. *Journal of Food Processing and Preservation.* V.26, 361-374 p.

RAHMAN, S., LAMB, J. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydration pineapple. Journal of Food Process Engineering. 14,163-171 p.

RAMANA BOBRINHO, R., CORREIA, L. G., SALGADO, J. R. (1991). Olericultura no Brasil, área (ha) e produção (t) por cultura e por Estado no ano de 1990. In: *Congresso Brasileiro de Olericultura*, 31, 1991, Belo Horizonte. *Resumos*... Belo Horizonte, EMATER- MG, 174-182 p.

RODRIGUES, A. E. (2003), Desidratação Osmótica e Secagem de Maçãs – I. Comportamento do Tecido em Soluções Osmóticas – II. Modelagem Matemática da Difusão, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil. 122 p.

RODRIGUES, A.C.C., CUNHA, R.L., HUBINGER, M.D. (2003). Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*. v.59, 129-135 p.

SAUCO, V.G. (1994). Possibilities of non-citrus tropical fruit in the Mediterranean. *Acta Horticulturae*, n.365, 25-41p.

Secretaria da Agricultura de Farroupilha. (2004). Produção de kiwi cresce na Serra gaúcha. Publicação: Farroupilha. sexta-feira, 20 de fevereiro de 2004. Fonte: Agência Sebrae de Notícias no RS. Home Page http:// www.paginarural.com.br

Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do Estado da Bahia. (2003). Home Page http: //www.seagri.ba.gov.br/kiwi.htm#top.

SIMAL, S., DEYÁ, E., FRAU, M., ROSSELLÓ, C. (1997). Simple Modelling of Air Drying Curves of Fresh and Osmotically Pré-dehydrated Apple Cubes. Journal of Food Engineering. v.33, 139-150 p.

SIMAL, S.,FEMENIA, A., GARAU, M.C., ROSSELLÓ, C. (2004). Use of exponential, Page´s and diffusional models to simulate the the drying of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*. Article in Press.

Sindicato Rural de Jundiaí. (2003). Home Page http: //www.srjundiai.com.br/cultmoran.htm

SOUZA, S.J.F. (2003). Dados não publicados. Determinação realizada no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da UNESP, Campus de São José do Rio Preto, São Paulo.

TEIXEIRA, G.H. de A, DURIGAN, J.F., DONADIO, L.C., DA SILVA, J.A A., (2001). Caracterização pós-colheita de seis cultivares de carambola (*Averrhoa Carambola L.*). *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabal-SP. v.23, n.3, 546-550 p.

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

THEBUD, R., SANTARIUS, K.A. (1982). Effects of high-temperature stress on various biomembranes of leaf cells in situ and in vitro. Plant Physiology, 70, 200-205 p.

TORRINGA, H.M., ERLE, U., BARTELS, P.V., SCHUBERT, H. (1998). Microwave-vacuum drying of osmotically pre-treated fruit. In *Drying '98* - Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS '98). Halkidiki, Greece, August 19-22, vol. A, 922-929 p.

U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (2004). USDA National Nutrient - Database for Standard Reference, Release 16-1. Nutrient Data Laboratory Home Page,

unesp

http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp

VIAL, C., GUILBERT, S., CUQ., J.L. (1991). Osmotic Dehydration of kiwi Fruits: Influence of Process Variables on the Color and Ascorbic Acid Content. *Sciences des Aliments*. 11, 63-84 p.

WILLIAM, H. (1970) *Official Methods of Analysis*, 11th edition., Washington D.C: Association of Official Analytical Chemists, Inc., 532-533 p.

WONG, D. W. S., CAMIRAND, W. M., PAVLATH, A. E. (1994). Developent of Edible Coatings for Minimally Processed Fruits and Vegetables. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Edited by J. M. Krochta. Lancaster:U.S.A., 65-88 p.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18


cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18 19