



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos



**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA CONCENTRAÇÃO NA
DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE ABÓBORA (*Cucurbita
maxima*) E CENOURA (*Daucus carota L.*) UTILIZANDO
METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA**

Por

José Lucena Barbosa Júnior

Engenheiro Químico (UFRuralRJ)

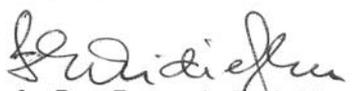
PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **José Lucena Barbosa Júnior**, aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de outubro de 2002.

Prof^a Dr^a Fernanda Elizabeth Xidieh Murr

Orientador

Campinas, 28 de outubro de 2002.


Prof. Dra. Fernanda E. X. Murr
Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos

Campinas – SP
Outubro de 2002

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP
	B234i
V	EX
TOMBO BC/	51912
PROC.	16-837-02
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	
Nº CPD	

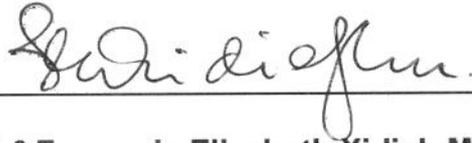
CM00176267-0

BIBID - 075747

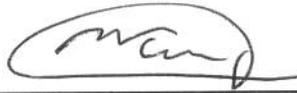
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

B234i	<p>Barbosa Júnior, José Lucena</p> <p>Influência da temperatura e da concentração na desidratação osmótica de abóbora (<i>Cucurbita maxima</i>) e cenoura (<i>Daucus carota</i> L.) utilizando metodologia de superfície de resposta / José Lucena Barbosa Júnior. – Campinas, SP: [s.n.], 2002.</p> <p>Orientador: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.</p> <p>I. Desidratação. 2. Planejamento experimental. 3. Abóbora. 4. Cenoura. I. Murr, Fernanda Elizabeth Xidieh. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.</p>
-------	--

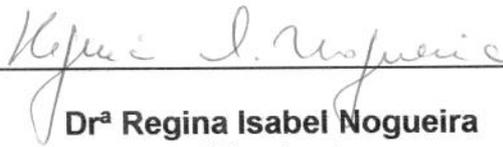
BANCA EXAMINADORA



Profª Drª Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
(Orientadora)



Prof. Dr. Satoshi Tobinaga
(Membro)



Drª Regina Isabel Nogueira
(Membro)



Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
(Membro)

20258648

Dedico

À minha "Velha", que é somente TUDO pra mim, obrigado Mãe!

Aos meus irmãos, pela amizade, compreensão, por segurarem a barra nos momentos mais difíceis e nossas vidas e por serem exatamente quem são. Valeu mesmo.

Aos sobrinhos, Débora, Pedrinho, Andréa, Gabriela, Gabriel, Dudú e Zé

À Mari, pela paz, carinho, amizade, compreensão e por fazer dos meus sonhos os nossos sonhos. Sem comentários.

"Imaginação é mais importante que conhecimento"

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Prof^a Dr^a Fernanda Elizabeth Xidieh Murr pela orientação, paciência, amizade, incentivo e por ter sabido compreender meus momentos de desânimo.

Aos Professores, Prof^o Dr^o Satoshi Tobinaga, Prof^o Dr^o Carlos Alberto Gasparetto e a Dr^a Regina Isabel Nogueira pelas correções e sugestões ao presente trabalho, as quais só vieram a enriquecê-lo.

Ao Povo Brasileiro que, através da CAPES, concedeu-me a bolsa de Mestrado.

A UNICAMP pelas bolsas do SAE e do PED concedidas.

À Prof^a Délia pela utilização do Laboratório de Carotenóides, a Cris Hess, Patinha e Elza, muito obrigado.

À Juliana, Galego, Fabiane e Ana Lúcia, por fazerem meus irmãos mais felizes.

Aos amigos, Aninha, Ângela, aos Fábios (Sorriso e Valinhos), Flávio, Kelly, "Nirso" Evilásio e em especial à Nádia, valeu Sangue.

À galera da A10-A, "Astolfo", André, Bitchonge e Super Negro.

À Dê, pelo "pontapé" inicial no laboratório, a Pati, Éder, Suzi, Ânoar, Graziella, Maristela, Robson.

À Universidade Rural, onde, além do conhecimento técnico,

adquiri valores que carregarei por toda a minha vida.

Aos Professores Sérgio Koeller e Leonardo de Gil Torres por me terem feito acreditar em "alçar vôos mais altos".

À Carlinha, aos "Flawalace" , Calex, Digoboy, Potássio, Andréia Regina, Elisa Helena e todos os amigos e colegas da Rural, que sempre acreditaram em mim.

Ao Mizarela, Duda e a "Dona" Márcia pela força e pelos "filmes".

Ao "Seu" Eduardo pelo incentivo e fé em mim depositados.

À Norma, Zé Luiz, Dona Ivone, Ana Paula, Júnior.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

"Eu e mim estão sempre em conversações incessantes. Como se poderia suportar isto se não houvesse um amigo?"

(Friedrich Nietzsche)

Índice Geral

<i>Índice de figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de tabelas</i>	<i>x</i>
<i>Nomenclatura</i>	<i>xii</i>
RESUMO	xiv
SUMMARY	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Atividade de Água em Alimentos	4
3.2 Carotenóides em alimentos	6
3.3 Produtos	8
3.3.1 Abóbora	8
3.3.2 Cenoura	9
3.4 Desidratação Osmótica	10
3.4.1 Cinética da desidratação osmótica	15
3.5 Planejamento Experimental	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Material	25
4.2 Métodos	25
4.2.1 Conteúdo de umidade	25
4.2.2 Atividade de água	26
4.2.3 Carotenóides totais	26
4.2.4 Cinzas	26
4.2.5 pH	27
4.2.6 Desidratação osmótica	27
4.2.6.1 Cinética de desidratação osmótica	27
4.2.6.2 Planejamento Experimental da desidratação osmótica	28
4.3 Ajuste dos modelos matemáticos	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31

5.1 Produtos	31
5.1.1 Abóbora	31
5.1.2 Cenoura	32
5.2 Cinética de desidratação osmótica	32
5.2.1 Modelagem da cinética de desidratação osmótica	38
5.3 Planejamento Experimental da Desidratação Osmótica	43
5.2.1 Perda de Água (PA)	43
5.2.2 Ganho de Sólidos (GS)	50
5.2.3 Razão entre ganho de sólidos e perda de água (GS/PA)	57
5.3 Qualidade do produto final	63
5.3.1 Atividade de água (a_w)	63
5.3.2 Conteúdo de carotenóides	66
6. CONCLUSÕES	69
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

Índice de figuras

Figura 3.1: Estabilidade físico-química e microbiológica de alimentos em função da atividade de água	4
Figura 3.2: Presença da α -ionona nas cadeias do β e α -caroteno	7
Figura 3.3: Transporte de massa durante a desidratação osmótica de alimentos	11
Figura 5.1 Cinética de perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de abóbora e cenoura.....	33
Figura 5.2 Perda de água em função do ganho de sólidos na desidratação osmótica de abóbora e cenoura.....	34
Figura 5.3 Cinética de perda de água e ganho de sólidos de abobora e cenoura em solução ternária	36
Figura 5.4 Perda de água em função do ganho de sólidos para abóbora e cenoura utilizando solução ternária.....	36
Figura 5.5 Comparação das taxas de perda de água em função do tempo para abóbora e cenoura	37
Figura 5.6 Linearização segundo o Modelo de Azuara para abóbora	38
Figura 5.7 Linearização segundo o Modelo de Azuara para cenoura	39
Figura 5.8: Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água de abóbora (a) e (b).....	48
Figura 5.9: Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água em cenoura (a) e (b).....	49
Figura 5.10: Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos de abóbora (a) e (b)	55
Figura 5.11: Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos de cenoura (a) e (b).....	56
Figura 5.12: Superfícies de resposta e curvas de nível para GS/PA de cenoura (a) e (b)....	62
Figura 5.13 Histograma de efeitos para atividade de água em abóbora e cenoura	66

Índice de tabelas

<i>Tabela 3.1: Atividade de água mínima para o crescimento de microrganismos</i>	5
<i>Tabela 3.2: Variação da composição centesimal da abóbora e cenoura.</i>	10
<i>Tabela 3.3 – Análise de variância</i>	24
<i>Tabela 4.1 – Níveis codificados das variáveis em um planejamento fatorial 2ⁿ</i>	28
<i>Tabela 4.2 – Planejamento experimental 2² completo com 3 repetições no ponto central e 4 pontos axiais</i>	29
<i>Tabela 5.1 – Caracterização físico-química da abóbora</i>	31
<i>Tabela 5.2 – Caracterização físico-química da cenoura</i>	32
<i>Tabela 5.3 – Resultados da cinética de desidratação osmótica a 30°C e 10 % (p/p) de NaCl</i>	33
<i>Tabela 5.4 Valores dos parâmetros e ajustes do modelo de Azuara para a perda de água.</i>	39
<i>Tabela 5.5 Valores dos parâmetros e ajustes do modelo de Azuara para o ganho de sólidos.</i>	41
<i>Tabela 5.6 Modelo de Fick para abóbora e cenoura</i>	41
<i>Tabela 5.7 Resultado dos parâmetros do Modelo de Page para abóbora e cenoura</i>	42
<i>Tabela 5.8 - Planejamento experimental completo codificado com perda de água para abóbora e cenoura</i>	43
<i>5.9 - Coeficiente de regressão, desvio padrão e limites de confiança para a perda de água em abóbora</i>	44
<i>5.10 - Coeficiente de regressão, desvio padrão e limites de confiança para a perda de água em cenoura</i>	44
<i>Tabela 5.11 – Erro relativo e erro relativo médio entre a equação e os dados experimentais para a perda de água de abóbora e cenoura</i>	46
<i>Tabela 5.12 – Análise de variância para o modelo codificado de perda de água para abóbora</i>	46
<i>Tabela 5.13 – Análise de variância para o modelo codificado para perda de água em cenoura</i>	47

<i>Tabela 5.14 - Planejamento experimental completo codificado com o ganho de sólidos para abóbora e cenoura</i>	50
<i>Tabela 5.15 - Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para o ganho de sólidos em abóbora</i>	51
<i>Tabela 5.16 – Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para o ganho de sólidos em cenoura</i>	51
<i>Tabela 5.17 – Erro relativo obtido entre a equação e os dados experimentais para o ganho de sólidos de abóbora e cenoura</i>	53
<i>Tabela 5.18 – Análise de variância para o modelo codificado do ganho de sólidos para a abóbora</i>	53
<i>Tabela 5.19 – Análise de variância para o modelo codificado do ganho de sólidos para cenoura</i>	54
<i>Tabela 5.20 - Planejamento experimental completo codificado para GS/PA para abóbora e cenoura</i>	57
<i>Tabela 5.21 – Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para GS/PA em abóbora</i>	58
<i>Tabela 5.22 - Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para GS/PA em cenoura</i>	59
<i>Tabela 5.23 – Análise de variância para o modelo codificado de GS/PA para a abóbora</i>	60
<i>Tabela 5.24 – Erro relativo entre os valores previstos pelo modelo e os dados experimentais para GS/PA da abóbora e cenoura</i>	61
<i>Tabela 5.25 – Análise de variância para o modelo codificado do ganho de sólidos para cenoura</i>	61
<i>Tabela 5.26 - Planejamento experimental completo codificado para atividade em água abóbora e cenoura</i>	64
<i>Tabela 5.27 - Efeitos, desvio padrão e limites de confiança para atividade de água em abóbora</i>	65
<i>Tabela 5.28 - Efeitos, desvio padrão e limites de confiança para atividade de água em cenoura</i>	65
<i>Tabela 5.29 - Planejamento experimental 2² de primeira ordem para o conteúdo de carotenóides para abóbora e cenoura</i>	66
<i>Tabela 5.30 – Valores médios do conteúdo de carotenóides para abóbora e cenoura in natura e submetidos às diferentes condições de processamento</i>	67

Nomenclatura

a_w	Atividade de água	
PA	Perda de água em função do tempo	(g/100g)
PA_{∞}	Perda de água no equilíbrio	(g/100g)
t	Tempo	(s)
WS	Fração de água que pode sair por difusão, mas que permanece dentro da matriz em função do tempo	(g/100g)
ma_0	Quantidade inicial de água no produto	(g)
ms_0	Quantidade inicial de sólidos no produto	(g)
m_t	Peso total do produto	(g)
ms	Quantidade de sólidos em função do tempo	(g)
k	Parâmetro do modelo de Azuara	
GS	Ganho de sólidos em função do tempo	(g/100g)
GS_{∞}	Ganho de sólidos no equilíbrio	(g/100g)
S_1 e S_2	Constantes do modelo de Azuara	s^{-1}
L	Meia espessura da placa	m
D_t	Difusividade efetiva em função do tempo	m^2/s
PA_{∞}^{mod}	Perda de água no equilíbrio predito pelo modelo	(g/100g)
PA_{∞}^{exp}	Perda de água no equilíbrio experimental	(g/100g)
D_{ef}	Difusividade média efetiva	m^2/s
n	número de dados utilizados	
X(t)	Umidade média volumétrica em função do tempo	(g/100g)
X_{eq}	Umidade de equilíbrio	(g/100g)

X_0	Umidade inicial	(g/100g)
A_{PA} e A_{GS}	Adimensional de perda de água e ganho de sólidos	
$M(t)$	perda de água ou ganho de sólidos em função do tempo	(g/100g)
M_{eq}	perda de água ou ganho de sólidos no equilíbrio	(g/100g)
M_0	perda de água ou ganho de sólidos inicial	(g/100g)
K e n	Parâmetros do modelo de Page	
R	Coeficiente de correlação	
R^2	Coeficiente de determinação	
SQr	Soma quadrática devido à regressão	
SQR	Soma quadrática devido aos resíduos	
SQT	Soma quadrática total	
GLr	Graus de liberdade da regressão	
GLR	Graus de liberdade dos resíduos	
MQr	Média quadrática da regressão	
MQR	Média quadrática dos resíduos	
E	Erro relativo médio	
E'	Erro relativo	

RESUMO

Realizou-se o estudo da cinética de desidratação osmótica visando-se estabelecer o melhor tempo de desidratação em condições intermediárias de concentração e temperatura, 10%p/p e 30°C, respectivamente, para se proceder com o estudo da influência da concentração de sal (2,95 a 17%p/p) e da temperatura (11,9 a 33,1°C) na desidratação osmótica de abóbora e cenoura, de acordo com um planejamento experimental fatorial 2^2 completo com três pontos centrais e quatro axiais, nas respostas perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e na razão GS/PA. Avaliou-se a qualidade do produto final através da análise da atividade de água e da perda de carotenóides durante o processo de desidratação osmótica proposto. Constatou-se que, de um modo geral, a temperatura teve menor influência do que a concentração de sal nas respostas analisadas e que o processo pode ser realizado nas maiores temperaturas e concentrações de sal, visto que as variáveis não alteraram o conteúdo de carotenóides totais de forma estatisticamente significativa e diminuiram a atividade de água dos produtos. Concluiu-se também que os produtos finais não puderam ser considerados estáveis, pois continham elevado valor de atividade de água.

SUMMARY

The osmotic dehydration kinetics of pumpkin and carrots was verified to obtain the best dehydration time at intermediary concentration and temperature, 10% w/w and 30°C, respectively, in order to proceed with the study of the influence of salt concentration (2,95 to 17% w/w) and temperature (11,9 to 33,1°C) in the responses water loss (WL), solids gain (SG) and SG/WL ratio through a factorial 2² design with 3 center points and 4 axial points. Evaluation of the final product quality was done by means of water activity and carotenoids content loss. It was verified that temperature had less influence in the responses and that the process could be carried out at higher temperature and salt concentrations, as these variables did not affect the total carotenoids content significantly and the water activity decreased. The final products were not considered stable, as they had higher water activity values.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a FAO (2001), cerca de 800 milhões de pessoas em todo o mundo não se alimentam adequadamente ou, simplesmente, não têm acesso aos alimentos. E no Brasil, segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001), morrem por ano cerca de 6000 pessoas vítimas da desnutrição ou de problemas à ela relacionados. Apesar deste quadro alarmante, as centrais de abastecimentos do país (CEASA's), desperdiçam grandes quantidades de alimentos. Somente na unidade de Campinas, foram desperdiçadas 1024 toneladas de alimentos no mês de janeiro de 2001 (BOLETIM MENSAL, 2001). Por isso várias centrais procuraram organizar dentro de suas unidades centros de distribuição gratuita dos alimentos que não tinham valor comercial. Por isso várias Prefeituras em todo o Brasil têm procurado criar organismos que minimizem este quadro de desperdício.

Em 1994, foi criado no município de Campinas o Instituto de Solidariedade para Programas de Alimentação (ISA), entidade filantrópica, sem fins lucrativos, de utilidade pública, que, com o auxílio da Prefeitura local e de alguns parceiros comerciais, procura eliminar o desperdício de alimentos dentro do CEASA-Campinas, recebendo os alimentos não comercializados e distribuindo-os à famílias carentes e instituições de caridade cadastradas. O ISA realiza, desta forma, um trabalho de cunho social, econômico e ecológico, uma vez que uma considerável quantidade de material orgânico tem deixado de ser despejado no aterro sanitário local, contribuindo desta maneira para a diminuição de sua saturação.

Embora o ISA tenha recebido aproximadamente 5000 toneladas de alimentos no ano de 1999, grande parte não foi efetivamente distribuída, pois os alimentos doados eram distribuídos às famílias na forma *in natura* e encontravam-se em adiantado processo de deterioração, sendo por isso muitas vezes desperdiçados.

Uma alternativa para minimizar estas perdas seria o acesso a tecnologias mais simples de industrialização de produtos agrícolas. Dentre os diferentes

processos de conservação de alimentos, a desidratação osmótica apresenta a vantagem de melhor preservar as qualidades nutricionais e, como permite a incorporação de solutos, cria um meio desfavorável às reações enzimáticas e ao crescimento microbiológico. É muito utilizada em processos combinados, como pré-tratamento em diversos outros processos de conservação de alimentos.

Constituindo objeto de pesquisas na procura de métodos que proporcionem uma forma alternativa de processamento de alimentos de origem vegetal, preservando suas características naturais e pela diminuição da umidade dos mesmos, aumenta sua vida útil, propiciando maior facilidade na distribuição e comercialização dos alimentos.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o efeito das variáveis: temperatura, concentração de cloreto de sódio e tempo de imersão, na desidratação osmótica de abóbora e cenoura, para propor uma metodologia economicamente viável, eficiente, capaz de aumentar o tempo de vida de prateleira e que preserve as qualidades nutricionais destas matérias-primas.

Os objetivos específicos foram:

- ✓ Estudar a cinética de desidratação osmótica para abóbora e cenoura, visando a escolha de um tempo comum para se proceder ao planejamento experimental,
- ✓ Utilizar modelos matemáticos encontrados na literatura para ajustar aos dados experimentais da cinética de desidratação osmótica;
- ✓ Analisar a influência da desidratação osmótica na perda de umidade, na incorporação de sólidos, na atividade de água e no conteúdo de carotenóides mediante a utilização da Metodologia de Superfície de Resposta;
- ✓ Verificar a influência do tipo de vegetal no processo de desidratação osmótica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Atividade de Água em Alimentos

Um aspecto fundamental na conservação de alimento é saber como a água está disponível dentro do mesmo, pois ela pode estar ligada ou livre na estrutura alimentícia, o fator que quantifica este grau de ligação é conhecido com atividade de água, que foi usado pela primeira vez em 1950 (MONSALVE-GONZÁLES et al., 1993).

Constitui um fator crucial no crescimento microbiano, produção de toxina e reações enzimáticas e não enzimáticas (LEUNG, 1986). A maioria das bactérias não é viável em valores de atividade de água inferiores a 0,90 (BONE, 1987). Labuza (1971) relacionou a atividade de água com alterações sofridas com o alimento, resumido na Figura 3.1.

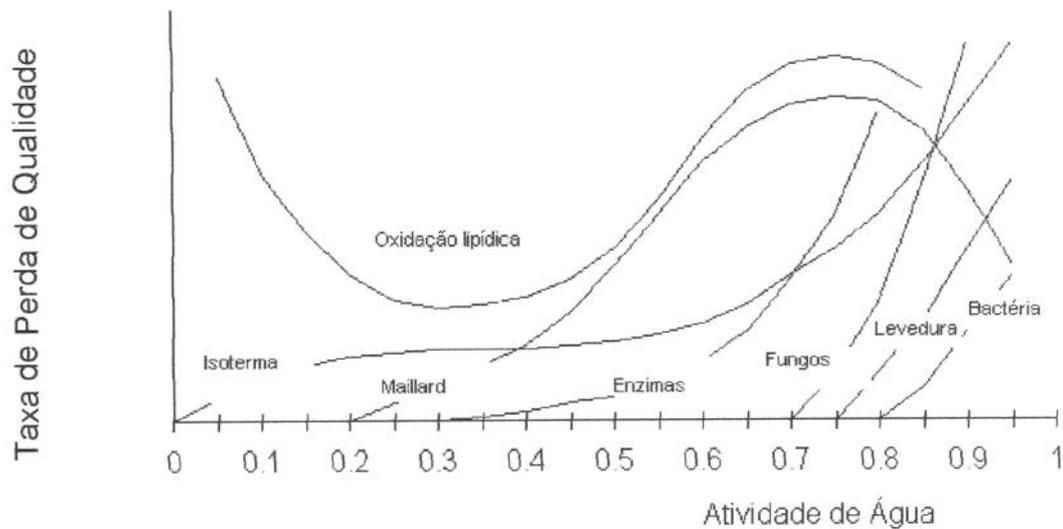


Figura 3.1: Estabilidade físico-química e microbiológica de alimentos em função da atividade de água

Esta relação deve-se à capacidade das células vivas serem sensíveis à condição de umidade de seu ambiente externo. A capacidade dos microrganismos de crescerem e produzirem toxinas está relacionada à atividade de água do meio. Beuchat (1983) e Scorza et al. (1981) indicaram valores de atividade de água mínimos para o crescimento de um número de microrganismos, que estão resumidos na Tabela 3.1.

Beuchat (1983) afirma que o valor mínimo para a produção de toxinas é sempre maior do que o de crescimento dos microrganismos.

Tabela 3.1: Atividade de água mínima para o crescimento de microrganismos

Microrganismo	Classificação	aw
Aspergillus flavus	Fungos filamentosos	0,78
Penicilium citrinum	Fungos filamentosos	0,80
Aspergillus ochraceus	Fungos filamentosos	0,83
Clostridium botulinum Tipo E.	Bactéria	0,98
Pseudomonas	Bactéria	0,98
Flavobacterium	Bactéria	0,96
Lactobacillus	Bactéria	0,93
Staphylococcus (aeróbios)	Bactéria	0,86
Rhodattorula	Levedura	0,92
Saccharomyces	Levedura	0,90
Cândida	Levedura	0,88

3.2 Carotenóides em alimentos

Os carotenóides formam um dos mais importantes e abundantes grupos de pigmentos naturais encontrados na natureza. Segundo Simpson & Chichester (1981), ocorrem em fungos, bactérias, animais, em todos os tecidos de plantas verdes e também em tecidos não fotossintéticos como frutas, flores, sementes e raízes.

Citam-se na literatura diversas funções atribuídas aos carotenóides nos vegetais, como pigmento auxiliar na fotossíntese, participação no fototropismo, foto-recepção, transporte de oxigênio e reprodução (MATHEWS-ROTH, 1985; BORENSTEIN & BUNNELL, 1966; ZSOLT et al., 1963; KRINSKY, 1971). No ser humano, a função universalmente atribuída aos carotenóides é a sua atividade pró-vitamínica A e como anti-oxidantes combatendo os radicais livres no organismo (EDGE et al., 1997).

A deficiência de vitamina A no organismo, além de outros problemas relacionados à saúde, pode ocasionar xeroftalmia que em casos mais graves leva a cegueira total, sobretudo em crianças. Estudos indicam que a suplementação de vitamina A ajuda a reduzir a taxa de mortalidade infantil em países em desenvolvimento (SOMMER et al., 1986).

Bauernfeind (1972) classificou quimicamente os carotenóides em acíclicos, monocíclicos e bicíclicos. O licopeno é considerado o modelo básico de carotenóide e as estruturas de outros carotenóides podem ser obtidas introduzindo-se alguma modificação na estrutura básico do licopeno, originando uma nova molécula de carotenóide. Contudo, só possuirá atividade provitamínica se possuir o anel β -ionona em sua cadeia (Figura 3.2). O carotenóide mais conhecido é o β -caroteno, que é considerado um licopeno bicíclico (WEEDON, 1971).

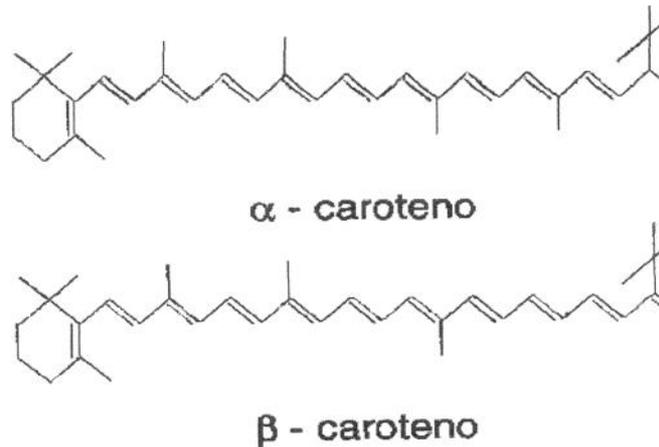


Figura 3.2: Presença da α -ionona nas cadeias do β e α -caroteno

Os carotenóides são compostos extremamente susceptíveis às reações oxidativas devido ao alto grau de insaturação das ligações. Nos vegetais “in natura”, a estrutura celular e a complexação com proteínas lhes conferem uma certa estabilidade. Durante as várias etapas do processamento, essa ultra-estrutura e os complexos podem ser quebrados, expondo os carotenóides a fatores adversos, levando-os à sua destruição. A estabilidade varia largamente no processamento e na estocagem, dependendo da temperatura, disponibilidade de oxigênio, exposição à luz, atividade de água, acidez, presença de metais e da própria estrutura (CHICHESTER & MCFEETER, 1971; GODOY & RODRIGUEZ-AMAYA, 1987; PADULA & RODRIGUEZ-AMAYA, 1987).

Em processos de desidratação, a diminuição da quantidade de água no alimento exerce uma diminuição crítica na estabilidade dos carotenóides, pois a água age como um filme protetor para os carotenóides contra o oxigênio. Assim, a remoção deste filme, aliado à elevação de temperatura que pode ocorrer durante o processo de desidratação, diminui sensivelmente a estabilidade do pigmento (GOLDBLITH et al., 1963).

3.3 Produtos

3.3.1 Abóbora

As cucurbitáceas são nativas da América Tropical e sub-tropical e possuem elevado grau de adaptação a estas regiões, havendo evidências arqueológicas de que seu cultivo já era realizado na era Pré-Colombiana. A moranga (*Cucurbita maxima*) foi primeiramente domesticada na América do Sul pelo que indicam as sementes do século XIII encontradas em escavações nesta região (RUBATZKY & YAMAGUSHI, 1999).

Há centenas de anos os camponeses europeus usam as sementes de abóboras para manter a virilidade em idade avançada e evitar as doenças da próstata. Suas sementes são excelentes vermífugos no combate à áscaris e às tênias, com a vantagem de não serem irritantes nem tóxicas. O suco natural de abóbora possui efeito diurético, diminuindo a retenção de água, sem causar efeitos colaterais. Amorim et al. (1991) afirmam que suas sementes possuem atividade anti-malarial.

A Ásia é o continente que lidera a produção mundial com 47%. A China detem 19%, sendo o principal país produtor. Nos países em desenvolvimento, a produção é cerca de quatro vezes maior do que nos Países desenvolvidos, ilustrando que a abóbora trata-se de um gênero alimentício de primeira necessidade. No Brasil são largamente cultivadas em todo território Nacional, sendo particularmente mais consumidas nos estados do Nordeste, onde constitui um hábito alimentar. No estado de São Paulo, sua produção, no ano de 2000, foi de 93.000 toneladas (RUBATZKY & YAMAGUSHI, 1999; IEA, 2001).

Devido à sua larga disponibilidade no mundo inteiro e seu potencial como fonte de vitamina A, as morangas já foram alvo de intenso estudo para a avaliação

de sua concentração de carotenóides. Em 1963, um levantamento nutricional realizado no Nordeste, constatou que nas cidades litorâneas, onde a ingestão de abóbora era elevada, os casos de hipovitaminose A eram bastante reduzidos quando comparados aos de outras regiões onde o consumo era esporádico (ICNND, 1965).

Holmes et al (1945) afirmam que as condições de solo, fertilizantes e grau de maturação das abóboras influenciam a concentração de carotenóides presentes nas amostras e que seu efeito pode ser confundido com o efeito das diferentes cultivares, sendo portanto necessária uma abordagem que leve em conta estes fatores.

3.3.2 Cenoura

Da família das Umbelíferas, a cenoura (*Daucus carota L.*) é uma das mais difundidas e importantes hortaliças em todo o mundo. Cresce muito bem em vários tipos de solos, principalmente em regiões de clima temperado. Sua produção no ano de 2000 foi de 207 mil toneladas somente no estado de São Paulo (IEA, 2001).

Sua origem é bastante discutida, mas Rubatzky & Yamaguchi (1999) afirmam que o centro de sua origem foi o Afeganistão, pois lá encontra-se a mais ampla e diversificada variedade de tipos selvagens da planta, que também podem ser encontrados no Mediterrâneo e no sudeste asiático, mas em menor variedade e quantidade. Seu cultivo remonta, provavelmente, o século X na Ásia menor. Entretanto tornou-se mais intenso no século XVI, na França e os melhoramentos das variedades foram iniciados somente após 1850.

Possui posição de destaque pelas suas características nutricionais, possui grande quantidade de compostos de interesse alimentar, principalmente fibras e sais minerais, no entanto o conteúdo de carotenóides é, sem dúvida, sua característica mais importante (QUINTEROS, 1995).

Na Tabela 3.2, mostra-se a composição média da abóbora e cenoura.

Tabela 3.2: Variação da composição centesimal da abóbora e cenoura.

	Abóbora	Cenoura
Umidade(g)	93,39	91,89
Energia(Kcal)	15	19
Proteínas(g)	1,27	1,01
Lipídeos(g)	0,20	0,20
Carboidratos totais(g)	4,66	6,09
Cinzas(g/100g)	0,48	0,81
Fibra alimentar total(g)	2,74	2,81
pH	5,0 – 5,4	4,9 - 6,0
Carotenóides Totais (µg/g amostra)	18,30	78

Fonte: Mendes et al. (1995); Silva & Penteado (1990); Almeida-Muradian et al (1997); Filisetti-Cozzi et al (1991); Marchini et al. (1993); Jay (1992); Arima (1987); Ramos (1991).

3.4 Desidratação Osmótica

O processo de desidratação osmótica consiste na imersão de um alimento fatiado ou inteiro em uma solução hipertônica de açúcar, sal, sorbitol, glicerol entre outros, havendo assim uma transferência simultânea de soluto e água através da membrana celular, gerada pela diferença de potencial criado pelo meio osmótico (RAOULT-WACK, 1994; RAOULT-WACK et al., 1994; PARJOKO et al., 1996). Este fenômeno de transferência de massa é fortemente afetado tanto pela natureza da matéria-prima (espécie, variedade, grau de maturidade, tamanho e forma, pré-tratamento, etc.) quanto pelas variáveis do processo (composição e concentração do meio osmótico, relação meio/produto, temperatura, superfície e tempo de contato do processo) (LAZARIDES et al., 1997).

Atribui-se o fenômeno de osmose ao movimento molecular de determinados componentes de uma solução através de uma membrana semi-permeável para outra solução com uma menor concentração dos mesmos (RAOULT-WACK et al., 1989; JAYARAMAN & DAS GUPTA, 1992; TORREGGIANI, 1993).

Estabelecem-se os seguintes fluxos (Figura 3.3), segundo Raoult-Wack (1994):

- Fluxo de água do produto para a solução;
- Fluxo de soluto da solução para o alimento;
- Fluxo de constituintes naturais do alimento para a solução (ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, açúcares, etc).

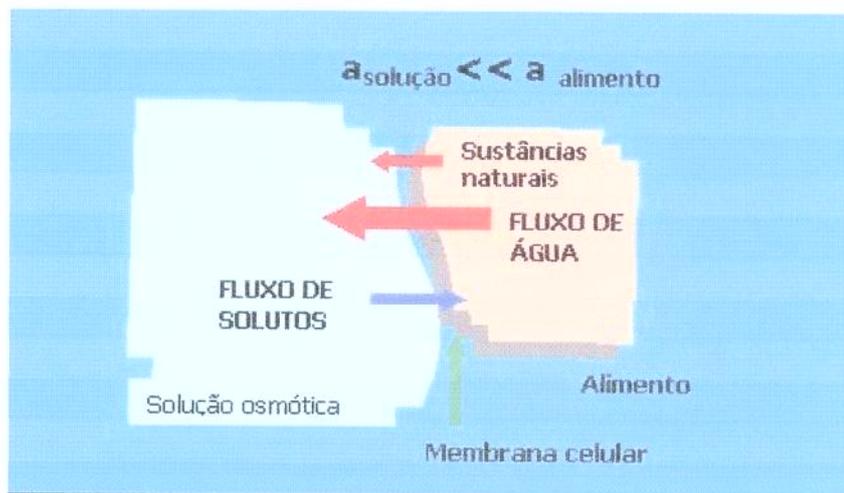


Figura 3.3: Transporte de massa durante a desidratação osmótica de alimentos

O fluxo de água é o que normalmente se deseja, pois quanto maior a remoção de umidade, menor será a atividade de água do produto, conseqüentemente maior sua estabilidade. O ganho de sólidos, em processos de desidratação, é indesejável, pois pode conferir alterações nas propriedades sensoriais do produto. No entanto há processos em que se deseja a incorporação de solutos, os chamados processos de impregnação, onde a presença do soluto confere propriedades desejáveis. O fluxo de constituintes naturais é o que possui o menor valor quantitativo, no entanto é de extrema importância qualitativa no alimento, pois estes constituintes estão presentes em pequenas quantidades e qualquer alteração em sua composição pode alterar significativamente as propriedades dos alimentos (nutricional, sensorial, etc).

Atribui-se à membrana plasmática o controle do processo osmótico através de sua seletividade, ou seja, é ela que regula a passagem das moléculas de solvente e de solutos em menor grau (PONTING, 1973)

Este processo tem ganho atenção devido a sua potencial aplicação na indústria de alimentos, embora não seja possível produzir um alimento com baixa umidade, capaz de ser considerado auto-estável, quando utilizado sozinho. Por isto a desidratação osmótica deve ser utilizada como pré-tratamento em processos que efetivamente reduzam a atividade de água (secagem à ar, à vácuo, congelamento ou pasteurização) pois melhora sensivelmente a qualidade do produto (PARJOKO et al., 1996; AZOUBEL, 1999).

A remoção de água de um produto submetido à desidratação osmótica está diretamente ligada à concentração e tipo de soluto (MOY et al., 1978), pois a atividade de água da solução, que é a força motriz que determina a transferência de massa, é fortemente modificada pelo tipo e concentração da solução osmótica, segundo afirmam Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado (1996). De acordo com Marcotte (1988) citado por Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado (1996), a escolha do soluto deve ser baseada em três fatores principais:

- ✓ Características sensoriais do produto;
- ✓ Custo;
- ✓ Peso molecular.

Quanto maior o peso molecular do soluto, maior a perda de água e menor a incorporação de sólidos, favorecendo o processo de desidratação propriamente dito (ISLAM & FLINK, 1982; LERICI et al., 1985; HENG et al., 1990; LAZARIDES et al., 1995).

Devido às características sensoriais que conferem aos produtos, os dois solutos mais freqüentemente utilizados na desidratação osmótica de frutas são a glicose e a sacarose (ADAMBOUNOU et al., 1995), enquanto que para legumes e verduras o sal (NaCl) é o mais utilizado (LENART & FLINK, 1984).

A incorporação de sólidos propicia um abaixamento da atividade de água e conseqüente estabilidade microbiológica em alimentos também por sua ação inibitória sobre determinados microrganismos (CHIRIFE & BUERA, 1995 e MAKKI & DURANCE, 1996).

Sacchetti et al. (2001) estudaram, mediante o emprego da metodologia de superfície de resposta, o efeito da concentração de açúcar (44,6 a 64,6%p/p) e de sal (0,0 a 2,0%p/p) sobre a concentração de equilíbrio de sólidos em maçãs submetidas a desidratação osmótica e constataram que havia um efeito negativo entre eles, ou seja, a concentração de sólidos no produto em equilíbrio era diminuída quando se utilizava a solução ternária.

Garcia de la Cruz (1998) utilizou solução de NaCl na desidratação osmótica de berinjela e conclui que a 35°C, a melhor concentração do sal foi de 10% p/p, pois

em concentrações e temperaturas superiores o produto obtido apresentava sabor muito salgado e amolecimento, o que impossibilitava seu manuseio durante o processo posterior de secagem por convecção.

Lazarides et al.(1997) encontraram similaridade entre o comportamento da maçã e da batata quando submetidos à desidratação osmótica com solução de sacarose e de glicose entre 25 e 50°C.

Outro fator importante que influencia o processo de desidratação osmótica é a temperatura, pois tem efeito na cinética do processo, aumentando a taxa de desidratação e o ganho de sólidos, pois modifica diversas propriedades tanto da solução, quanto do produto (FARKAS & LAZAR, 1993).

Quanto maior a temperatura, maior é a remoção de água e o ganho de sólidos e menor o tempo de processo, no entanto Ponting et al. (1966) afirmam que há um limite máximo de temperatura particular em cada produto, onde começam a ocorrer o escurecimento não enzimático, o amolecimento do vegetal e a deterioração do sabor. Neste sentido, Rastogi & Raghavarao (1995) constataram que, para rodelas de coco desidratadas com sacarose (40 a 70°Brix), o aumento de temperatura (25 a 45°C), apesar de aumentar o coeficiente de difusão efetiva da água, diminuía a aceitação sensorial do produto.

Segundo Lenart (1996), a temperatura de processo desempenha um papel fundamental, pois a 20°C o processo ocorre de forma mais intensa entre a segunda e quarta hora de processo, enquanto que trabalhando em temperaturas mais elevadas (70-90°C), o processo chegou ao equilíbrio em 15 minutos, no máximo.

Alguns componentes termo-sensíveis presentes em alguns alimentos como os carotenóides e o ácido ascórbico, precursores da vitamina A e C, respectivamente, também podem ser degradados quando se opera em altas

temperaturas (BARBOSA, 1980; ARIMA, 1987; RAMOS, 1991; HENG et al., 1990; VIAL et al., 1991).

Devido aos problemas inerentes ao processo (aumento de custo, modificações indesejadas do tecido vegetal, etc) causados ao se trabalhar em altas temperaturas, Shi & Fito (1993) indicaram a utilização da tecnologia de desidratação osmótica à vácuo, com a qual é possível se obter as mesmas taxas de desidratação em condições menos drásticas para o alimento.

Raoult-Wack et al. (1992) afirmam que a perda de água ocorre mais intensamente nas primeiras duas horas de processo e o ganho de sólidos nos primeiros trinta minutos, após este período, o processo de transferência de massa torna-se cada vez mais lento. Lenart (1996) afirma que o processo de desidratação deve ser realizado no menor espaço de tempo possível, pois neste período obtém-se um maior grau de desidratação e um relativamente pequeno ganho de sólidos.

Hawkes & Flink (1978) afirmam que o grau de agitação da solução osmótica é um parâmetro importante na taxa de transferência, pois ela diminui a resistência à transferência de massa do meio osmótico, favorecendo assim o processo. Azuara et al. (1996), utilizando batata e maçã em solução ternária de água, cloreto de sódio e sacarose, estudaram o efeito da aplicação de forças centrífugas e observaram que quanto maior a força centrífuga aplicada, maior a perda de água e menor o ganho de sólidos.

3.4.1 Cinética da desidratação osmótica

A transferência de massa durante a desidratação osmótica em alimentos tem sido normalmente avaliada pela Lei de Fick, embora a difusividade efetiva nos processos reais contenha desvios da idealidade, como por exemplo o encolhimento da matriz (LAZARIDES et al., 1997).

Hough et al (1993) apresentaram um modelo para desidratação osmótica de frutas levando em consideração a perda de água, entrada de soluto e o encolhimento da matriz durante todo o processo de desidratação osmótica. Este modelo foi validado experimentalmente através da desidratação de maçã fatiada utilizando como agente osmótico glicose (55%) a 45°C.

Azoubel & Murr (2000) estudaram a influência do agente osmótico (cloreto de sódio e a mistura cloreto de sódio-sacarose) e da concentração da solução (10 e 25% p/p) na desidratação osmótica de tomate cereja e observaram uma ligeira melhoria na diminuição de umidade utilizando o NaCl.

Utilizando uma configuração cilíndrica para a banana e baseados na segunda Lei de Fick, Rastogi et al. (1997) estudaram a transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica e constataram um alto grau de correlação entre os valores experimentais e teóricos dentre 25 –35°C e concentração de 40-70°Brix.

Azuara et al. (1992), desenvolveram um modelo matemático com dois parâmetros baseado no balanço de massa, visando prever a cinética da desidratação osmótica e o ponto de equilíbrio. Para regime transiente, considerando difusão unidirecional e geometria de placa plana, obtiveram:

$$PA = PA_{\infty} - WS \quad (1)$$

Onde PA é a perda de água (gH₂O/100g de amostra) do alimento no tempo t; PA_∞ é a perda de água (gH₂O/100g de amostra) da amostra no equilíbrio; WS é a fração de água que pode sair por difusão, mas permanece dentro da matriz no tempo t.

O valor de PA_{∞} é fixo para determinados valores de temperatura, concentração e a relação material/meio osmótico, e os valores de S_1 e WS são funções, respectivamente, da perda de água e do tempo. PA aumenta a medida que estas variáveis aumentam e pode ser calculada como:

$$PA = \frac{(ma_0) - (m_t - ms)}{(ms_0 + ma_0)} \times 100 \quad (2)$$

e para o ganho de sólidos (GS)

$$GS = \frac{ms - ms_0}{(ms_0 + ma_0)} \times 100 \quad (3)$$

onde ma_0 e ms_0 são a quantidade inicial de água e sólidos (g), respectivamente; m_t é o peso total ($ma_0 + ms_0$) (g). O valor de WS diminui a medida que a taxa de perda de água e o tempo aumentam, sugerindo uma relação entre WS e PA , representado por um parâmetro K , que é função do tempo e da taxa de perda de água ($K = K(t, PA)$):

$$WS = \frac{PA}{K} \quad (4)$$

A perda de água é uma função do tempo, temperatura e da concentração inicial da solução osmótica. Como o experimento de desidratação osmótica é realizado a uma dada concentração inicial do meio osmótico e temperatura constante, assume-se que a taxa de perda de água é exclusivamente uma função do tempo. Baseados nisto, os autores propuseram uma função para K em termos do tempo e de uma constante (S_1) relacionada com a perda de água:

$$K = S_1 t \quad (5)$$

Substituindo as equações (5) e (1) na equação (4) e rearranjando os termos, teremos uma equação que associa a perda de água com o tempo:

$$PA = \frac{S_1 t (PA_\infty)}{1 + S_1 t} \quad (6)$$

Quando $t \rightarrow \infty$ (no equilíbrio), PA dada pela equação (6) tende a PA_∞ . Para prever a fração de perda de água pela matriz num instante t (s) na equação (6) é necessário conhecer os valores de S_1 e PA_∞ . Que podem ser calculados por uma regressão linear, utilizando dados experimentais da perda de água obtidos durante um pequeno intervalo de tempo e a equação (7), surge como uma linearização da equação (6):

$$\frac{t}{PA} = \frac{1}{S_1 (PA_\infty)} + \frac{t}{PA_\infty} \quad (7)$$

onde $\frac{1}{PA_\infty}$ pode ser calculado pela inclinação da reta formada por $\frac{t}{PA}$ e t .

De forma análoga, para o ganho de sólidos (GS), tem-se:

$$GS = \frac{S_2 t (GS_\infty)}{1 + S_2 t} \quad (8)$$

E, finalmente

$$\frac{t}{GS} = \frac{1}{S_2(GS_\infty)} + \frac{t}{GS_\infty} \quad (9)$$

Baseado na segunda Lei de Fick, Crank (1975, p. 48) propôs uma equação para a difusão em placas planas em contato com uma quantidade suficientemente grande de solução, de modo que sua concentração permaneça constante, que simplificada para pequenos intervalos de tempo torna-se:

$$\frac{PA}{PA_\infty} = 2 \left(\frac{D_t t}{L^2 \pi} \right)^{0,5} \quad (10)$$

onde:

D_t = difusividade efetiva da água no produto em um determinado instante (m^2/s);

L = meia espessura do alimento (m).

Relacionando a equação (10) com a equação (6) encontra-se uma expressão simples onde D_t pode ser calculada em diferentes intervalos de tempo:

$$D_t = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{S_1 L}{1 + S_1 t} \right) \left(\frac{PA_\infty^{\text{mod}}}{PA_\infty^{\text{exp}}} \right) \right]^2 t \quad (11)$$

Onde; PA_∞^{mod} é o valor de perda de água teórico no equilíbrio obtido da equação (6) e PA_∞^{exp} é o valor de perda de água no equilíbrio obtido experimentalmente.

Quando PA_∞^{exp} é desconhecido, pode-se assumir que seja igual à PA_∞^{mod} e da equação (11) pode-se obter boas estimativas para D_t .

A difusividade média efetiva (D_{ef}) é calculada da seguinte forma:

$$D_{ef} = \frac{\sum_1^n D_t}{n} \quad (12)$$

onde n é o número de dados de D_t utilizados.

Na teoria Difusional de Fick, o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro sólido. Para placa plana infinita com espessura $2L$, considerando-a isotrópica e com a umidade inicial constante. Crank (1975) propôs, para a média volumétrica da solução analítica para a segunda Lei de Fick mostrada a seguir:

$$\frac{X(t) - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (13)$$

$X(t)$ = umidade média volumétrica (função do tempo);

X_{eq} = umidade de equilíbrio;

X_0 = umidade inicial;

D_{ef} = difusividade efetiva;

t = tempo;

L = dimensão característica (meia espessura da placa)

$$\frac{X(t) - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \text{adimensional de umidade.}$$

Park et al. (2002), para adequar a equação (13) ao cálculo da difusividade de perda de água e ganho de sólidos, no processo de desidratação osmótica, introduziram os adimensionais de perda de água (A_{PA}) e de ganho de sólidos (A_{GS}) e obtiveram resultados satisfatórios.

$$(A_{PA \text{ ou } GS}) = \frac{M(t) - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \quad (14)$$

Onde:

$M(t)$ = PA ou GS em função do tempo (g/100g);

M_{eq} = PA ou GS no equilíbrio (g/100g);

M_0 = PA ou GS inicial (g/100g).

Um dos mais utilizados modelos empíricos é o modelo de Page (1949) citado por Panchariya et al. (2002), que na verdade é uma modificação do modelo de Lewis, sendo inicialmente desenvolvido para a secagem de grãos, foi também utilizado na desidratação osmótica por Park et al. (2002), produzindo resultados satisfatórios, a equação do modelo está mostrada a seguir:

$$\frac{M(t) - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \exp(-k t^n) \quad (15)$$

Onde k e n são parâmetros ajustáveis do modelo e podem ser determinados através de uma regressão não linear.

3.5 Planejamento Experimental

As pesquisas realizadas com o objetivo de fornecer respostas sobre como um sistema responde à determinadas variáveis muitas vezes tomam vários meses de trabalho de pesquisadores e técnicos, a um custo bastante alto em termos de salários, reagentes, análises químicas e testes físicos. Desta forma os conhecimentos estatísticos podem ajudar na obtenção destas respostas de forma racional e econômica. Usando planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos, os pesquisadores podem extrair do sistema estudado o máximo de informação útil fazendo um número mínimo de experimentos (BARROS NETO et al., 1996).

A Metodologia de Superfície de Resposta, do inglês Response Surface Methodology (RSM), é uma técnica de análise de processos baseada no emprego de planejamentos fatoriais, cujo principal atrativo é a redução do número de ensaios necessários para se avaliar a influência de determinadas variáveis na resposta em estudo, além de fornecer resultados melhores dos obtidos pela análise univariável tradicional, que além de necessitar uma maior quantidade de experimentos, não fornece as interações que podem existir entre as variáveis.

A Metodologia de Superfície de Resposta propõe, considerando que uma dada resposta (Y) é influenciada pelas variáveis independentes x_1 e x_2 (2^2), a equação a seguir, válida dentro da região de estudo.

$$Y = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + A_{11}x_1^2 + A_{22}x_2^2 + A_{12}x_1x_2 \quad (16)$$

Onde; A_0 , A_1 , A_2 , A_{11} , A_{22} e A_{12} , são os coeficientes ajustáveis do modelo e são calculados através de regressão polinomial. x_1 e x_2 são as variáveis codificadas e podem ser decodificadas mediante a equação 17 que representa a linearidade entre as variáveis:

$$x_i = \frac{(X_i - X_i^*)}{\Delta X_i} \quad (17)$$

Sendo X_i qualquer valor real da variável i , X_i^* o valor real da variável i no ponto central e ΔX_i é a diferença entre as variáveis calculadas em dois pontos consecutivos (mudança de passo)

Nem sempre os coeficientes mostrados na equação (16) são estatisticamente significativos, por isto deve-se realizar uma análise estatística apropriada para assegurar a validade estatística destes coeficientes dentro de um nível de confiança estabelecido (p).

Após a análise estatística dos coeficientes, Box et al. (1978) sugerem a realização de uma nova análise estatística, a análise de variância (ANOVA), que consiste na avaliação do coeficiente de correlação (R) e do teste F . Verificando desta maneira se o modelo representa um grau de ajuste adequado aos dados experimentais.

O coeficiente de correlação é um parâmetro estatístico que indica a qualidade do modelo obtido, pois exprime a variância dos pontos experimentais em relação ao modelo proposto com a variância da própria população dos pontos experimentais, logo quanto mais próximo da unidade, maior será a fidelidade do modelo.

O Teste F consiste na comparação entre o valor de F obtido pelo modelo com um valor tabelado de acordo com uma distribuição de referência. Caso o valor calculado seja maior que o tabelado, o modelo é estatisticamente significativo e representa bem os pontos experimentais. Caso contrário, indica que as variáveis não possuem influência na resposta e as variações da mesma são decorrentes de fatores aleatórios.

Na Tabela 3.3 está descrito, de forma simplificada, o procedimento estatístico da análise de variância (ANOVA).

Tabela 3.3 – Análise de variância

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
regressão	SQr	GLr	MQr	MQr/MQR
Resíduo	SQR	GLR	MQR	
Falta de ajuste				
erro puro				
Total	SQT			

Coeficiente de correlação: $R=(SQr/SQT)^{0,5}$ e $MQ=SQ/GL$ $F_{tab(p;GLr;GLR)=Tabelado}$

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Foram utilizadas abóbora do tipo moranga e cenoura variedade Nantes obtidas diretamente no ISA/CEASA/Campinas, SP, na mesma época e selecionadas de acordo com o tamanho, grau de maturação e cor (visual). A abóbora foi descascada manualmente, suas sementes retiradas e a polpa cortada em placas com dimensões de 0,5 x 3,5 x 2,5 cm, com o auxílio de um cortador especialmente preparado. A cenoura foi cortada em rodela de 3,0cm de diâmetro e 0,5cm de espessura.

4.2 Métodos

4.2.1 Conteúdo de umidade

Para a determinação da umidade utilizou-se o método nº 22013 (A.O.A.C., 1984), que consiste na pesagem de cerca de 1g da amostra em cadinhos previamente tarados e remoção total da água em estufa, marca FANEM, com circulação forçada por 12hs e mais 24hs em estufa à vácuo (25mmHg) ambas a 70°C. As amostras foram pesadas em uma balança analítica digital marca BOSCH (SAE 200).

O resultado foi expresso em base úmida, de acordo com a seguinte equação:

$$X_{bu} = \frac{m_a - m_s}{m_a} \quad (18)$$

Onde; X_{bu} = umidade em base úmida (g água/g massa total inicial);

4.2.2 Atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada através da medida direta no instrumento Decagon Aqualab CX-2 a 25°C. As amostras eram trituradas e acondicionadas em recipiente apropriado em banho termostático, antes de se realizar a leitura. Pois o equipamento tem por princípio a medida do ponto de orvalho da amostra nestas condições.

4.2.3 Carotenóides totais

Tanto para a abóbora quanto à cenoura, o carotenóide predominante é o β -caroteno, por isto fez-se a medida de carotenóides totais com base neste carotenóide. O método baseia-se na extração dos mesmos em acetona resfriada, que apesar de ser um excelente solvente para os carotenóides, acelera a degradação dos mesmos, por isto o extrato é transferido para um balão de separação contendo água e éter de petróleo que é um bom e estável solvente para os carotenóides. Formando-se assim duas fases, uma aquosa e uma etérea rica nos carotenóides. Isto ocorre pois os carotenóides são insolúveis em água e a acetona, por possuir alta solubilidade em água, transfere-se para a fase aquosa água. O extrato é concentrado ou diluído e faz-se a leitura da absorbância máxima em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em μg carotenóides/g amostra.

4.2.4 Cinzas

As cinzas são os resíduos inorgânicos remanescentes da queima total da matéria orgânica, sem os resíduos de carbonos. A composição da cinza pode ser utilizada como um parâmetro de qualidade e, freqüentemente, é utilizado como critério de identificação de alimentos. O método (A.O.A.C, 1984) baseia-se na perda de peso que ocorre quando o alimento é incinerado à 525°C, em mufla. Desta forma

a matéria orgânica é completamente destruída e não há decomposição ou perda por volatilidade apreciáveis do material inorgânico (resíduos minerais).

4.2.5 pH

O pontencial hidrogeniônico (pH) das amostras trituradas e homogeneizadas em pequena porção de água foi determinado através da leitura direta no pHmetro digital marca Mettler Toledo (pH320).

4.2.6 Desidratação osmótica

Para o preparo das soluções desidratantes, utilizou-se cloreto de sódio comercial, que era pesado e adicionado em quantidade pré-determinada de água destilada. Em seguida, este sistema era homogeneizado com o auxílio de um agitador magnético e colocado em repouso até estabilizar, obtendo as soluções descritas na Tabela 4.1.

As amostras cortadas foram pesadas e colocadas em frascos de 250mL contendo solução osmótica suficiente para assegurar a relação de 1:10 (amostra:solução) nas concentrações e temperaturas apropriadas. Em seguida, estes frascos foram colocados em incubadora da marca TECNAL (Mod. TE-421) com controle de temperatura e agitação (80rpm).

4.2.6.1 Cinética de desidratação osmótica

Durante a cinética de desidratação osmótica, as amostras foram retiradas em intervalos de 10min até 90min de processo. Visto este tempo ser o qual a cenoura apresentou a maior perda de água.

No planejamento experimental descrito na Tabela 4.2, as amostras foram retiradas em tempo pré-estabelecido de 20min, que foi obtido através do estudo prévio da cinética de desidratação

Após serem retiradas da incubadora as amostras foram lavadas com a mesma quantidade de água destilada (50mL) para se remover o excesso de solução desidratante, sendo colocadas em papel toalha e pesadas. Em seguida, foram embaladas em plástico PVC e levadas a um dessecador até o momento das determinações analíticas estabelecidas. Os ensaios foram realizados em triplicata.

Para o cálculo de PA e GS foram utilizadas as equações 2 e 3, respectivamente.

4.2.6.2 Planejamento Experimental da desidratação osmótica

As respostas perda de água, ganho de sólidos e a razão entre elas (GS/PA) foram analisadas mediante a utilização da Metodologia de Superfície de Resposta, gerada a partir de um planejamento fatorial completo (2^2) com 3 pontos centrais e quatro pontos axiais, totalizando 11 ensaios. Os níveis estudados das variáveis, de acordo com o planejamento experimental, estão descritos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Níveis codificados das variáveis em um planejamento fatorial 2^n

Nível	$-\alpha$	-1	0	1	α
NaCl (%p/p)	2,95	5	10	15	17
T (°C)	11,9	15	22,5	30	33,1

Onde o valor de α é dado pela seguinte relação:

$$\alpha = (2)^{n/4} \quad (19)$$

n = número de variáveis independentes, n=2 (temperatura e concentração de NaCl)

O delineamento experimental, segundo o planejamento experimental proposto está mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Planejamento experimental 2^2 completo com 3 repetições no ponto central e 4 pontos axiais

Ensaio	NaCl (%p/p)	T (°C)
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	-1,41	0
9	1,41	0
10	0	-1,41
11	0	1,41

Os resultados obtidos com a utilização do programa STATISTICA 5.0 foram analisados mediante o teste p (grau de significância estatística), para cada um dos coeficientes obtidos do modelo, os que possuíam valores de p maiores do que 0,10 (90% de confiança) foram eliminados do modelo. Em seguida fez-se análise de variância do modelo (ANOVA), que consiste, segundo Box et al. (1978) e Barros Neto et al (1996) em:

- ✓ Determinação do coeficiente de correlação (R), que quanto mais próximo da unidade indica que o modelo é explicado pela regressão;
- ✓ Teste de Fischer (F) que consiste na comparação do valor obtido pelo modelo com o valor tabelado para uma distribuição de referência. Caso o valor tabelado seja próximo ao valor calculado, não haverá relação entre as variáveis e a resposta, portanto os efeitos observados podem ser frutos de

fatores aleatórios. Caso o valor de F tabelado seja maior que o tabelado, pode-se afirmar que a equação é estatisticamente significativa e os dados experimentais são representados pelo modelo proposto.

Caso os modelos tenham sido considerados estatisticamente significativos, visando-se validá-los em definitivo, calculou-se o erro relativo entre o modelo e os dados experimentais.

4.3 Ajuste dos modelos matemáticos

Os ajustes dos modelos aos dados experimentais das curvas da cinética da desidratação osmótica foram realizados através de uma regressão linear e não linear utilizando o STATISTICA 5.0. Para a escolha dos melhores ajustes foi utilizado como critérios os valores do coeficiente de determinação (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelos modelos e o módulo do erro relativo médio (E), que, segundo Lomauro et al. (1985) não deve ser superior a 10%, sendo definido da seguinte forma (BOQUET et al., 1978):

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|m_i - m_p|}{m_i} \quad (20)$$

onde m_i e m_p são os valores experimentais e preditos pelo modelo, respectivamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Produtos

A caracterização das matérias-primas na forma *in natura* foi realizada de acordo com as técnicas padronizadas descritas na seção 4.2.

5.1.1 Abóbora

Os resultados obtidos para a abóbora estão ilustrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Caracterização físico-química da abóbora

Análise	Média
Umidade(g/100g)*	93,93
a_w	0,991
Carotenóides Totais ($\mu\text{g/g}$ amostra)	29,61
Cinzas(g/100g)	0,4
pH	5,2

*base úmida

Os resultados acima mostram que os valores obtidos são muito próximos aos da literatura (Tabela 3.2), exceto o conteúdo de carotenóides, que está acima do valor de 18,30 $\mu\text{g/g}$ obtido por Arima (1987). Esta diferença encontrada deu-se em virtude da quantificação dos carotenóides ser um método de extrema dificuldade, visto que vários fatores como o tipo de solo, fertilizantes utilizados, a época e o local de plantio, dentre outros inúmeros que alteram significativamente a quantidade de carotenóides presentes em vegetais.

5.1.2 Cenoura

Tabela 5.2 – Caracterização físico-química da cenoura

Análise	Média
Umidade(g/100g)*	91,18
a_w	0,990
Carotenóides Totais ($\mu\text{g/g}$ amostra)	106,85
Cinzas(g/100g)	0,5
pH	5,2

*base úmida

Os resultados obtidos para a cenoura foram ligeiramente inferiores aos da literatura, com exceção do teor de carotenóides que foi maior que o valor de $78\mu\text{g/g}$ encontrado por Ramos (1991), trabalhando com a mesma variedade de cenoura.

As diferenças encontradas são inerentes a este tipo de medida, pois conforme o exposto para os carotenóides, as demais medidas também podem ser influenciadas por fatores de cultivo, clima, estocagem, comercialização, entre outros.

5.2 Cinética de desidratação osmótica

A cinética de desidratação osmótica com solução binária de cloreto de sódio e água na concentração de 10 %p/p e temperatura de 30°C foi realizada segundo a metodologia exposta na seção 4.2.6.1, com o intuito de se escolher um tempo ideal para se proceder ao planejamento experimental da desidratação osmótica de abóbora e cenoura. As respostas analisadas foram perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS).

Na Tabela 5.3 estão mostrados os resultados da cinética de desidratação osmótica (PA e GS) a 30°C e 10 %(p/p) de NaCl, para abóbora e cenoura.

Tabela 5.3 – Resultados da cinética de desidratação osmótica a 30°C e 10 %(p/p) de NaCl

t(s)	Abóbora		Cenoura	
	PA (g/100g)	GS (g/100g)	PA (g/100g)	GS (g/100g)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
600	13,18	2,49	10,50	4,23
1200	16,86	3,62	13,90	5,70
1800	19,25	4,56	15,80	6,25
2400	21,11	5,36	15,83	6,66
3000	21,33	5,71	16,94	7,30
3600	21,79	5,80	17,25	7,56
4800	16,43	6,50	17,57	7,86
6000	13,01	6,70	18,27	8,08

A Figura 5.1 é a apresentação gráfica dos dados expostos na Tabela 5.3, representando a cinética de perda de água e ganho de sólidos obtidos durante a desidratação osmótica de abóbora e cenoura.

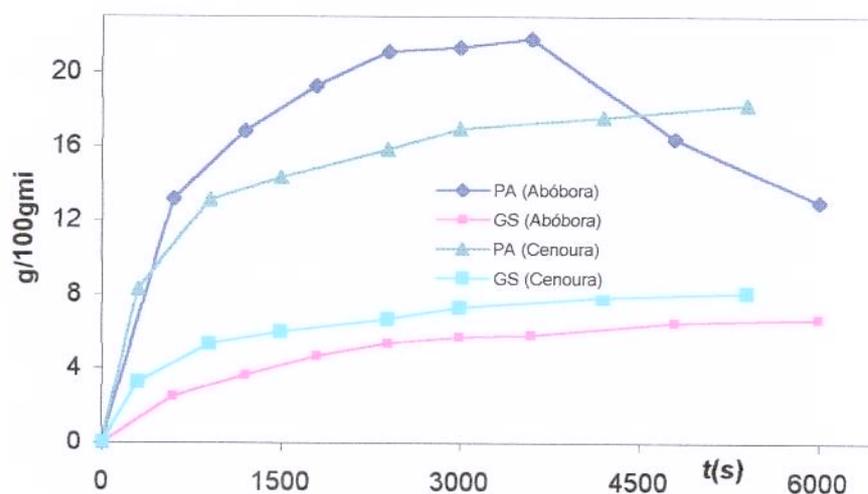


Figura 5.1 Cinética de perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de abóbora e cenoura

Ficou evidenciado que o ganho de sólidos foi ligeiramente superior para a cenoura, enquanto que a perda de água ocorreu mais intensamente com a abóbora, conforme observado também por Kowalska & Lenart (2001) trabalhando com os mesmos vegetais em solução contendo sacarose e água a 30°C.

Percebeu-se ainda que para a abóbora, a perda de água apresentou um comportamento diferente do normalmente observado, pois após atingir um máximo de perda de água (~20%), age de forma inesperada apresentando uma diminuição a partir de 60 minutos de processo.

Este comportamento também está nítido na Figura 5.2, onde a perda de água da abóbora após apresentar uma tendência crescente, juntamente com o ganho de sólidos, diminui para ganhos de sólidos acima de 5,5g/100g. Este fato não ocorreu para a cenoura, cuja perda de água se manteve crescente, porém o ganho de sólidos atingiu um estado de equilíbrio para valores de perda de água acima de 14g/100g.

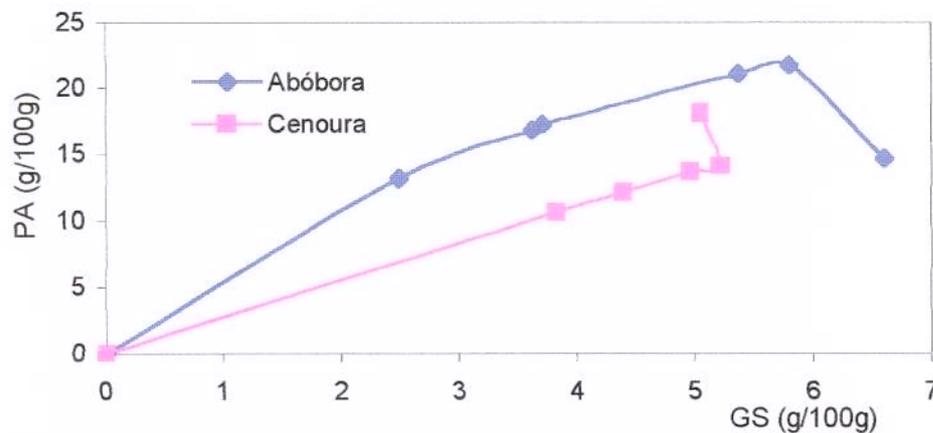


Figura 5.2 Perda de água em função do ganho de sólidos na desidratação osmótica de abóbora e cenoura

O comportamento observado para a perda de água da abóbora, nestas condições, pode ser atribuído à ação do cloreto de sódio nas membranas celulares do vegetal. Segundo Sterling (1968), em um estudo sobre a influência do tipo de sais no cozimento de vegetais, isto pode ser explicado por dois efeitos principais:

- efeito liotrópico - o aumento da dispersão das moléculas de polissacarídeos que formam a membrana celular, causado pelo enfraquecimento das pontes de hidrogênio existentes entre estas moléculas e que as mantêm interligadas;
- efeito de troca iônica - os cátions monovalentes presentes na solução migram para a estrutura celular, deslocando os cátions divalentes presentes na estrutura celular, ocasionando o enfraquecimento da matriz alimentar, pois são desfeitas as ligações tipo "cross-linking" (MONGAR & WASSERMANN, 1952; STERLING, 1957; THIELE & ANDERSON, 1955; TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

Para ilustrar o efeito dos solutos no enfraquecimento do tecido vegetal dos produtos foi realizada a desidratação osmótica na temperatura de 30°C acrescentando à solução binária, de NaCl e água, um soluto não iônico, a sacarose (46,5%), formando uma solução ternária com concentração final de 61,5%. Verificase neste caso, conforme a figura 5.3, que a cinética de perda de água apresentou-se crescente, porém com valores extremamente superiores aos obtidos com a solução binária (cerca de quatro vezes).

Analisando as figuras 5.1 e 5.3 pode-se afirmar que, independente do tipo e da concentração do soluto, nas condições estudadas, a abóbora perde ligeiramente mais água do que a cenoura. Conforme também constataram Kowalska & Lenart (2001) em seu estudo sobre o comportamento de abóbora, cenoura e maçã durante o processo de desidratação.

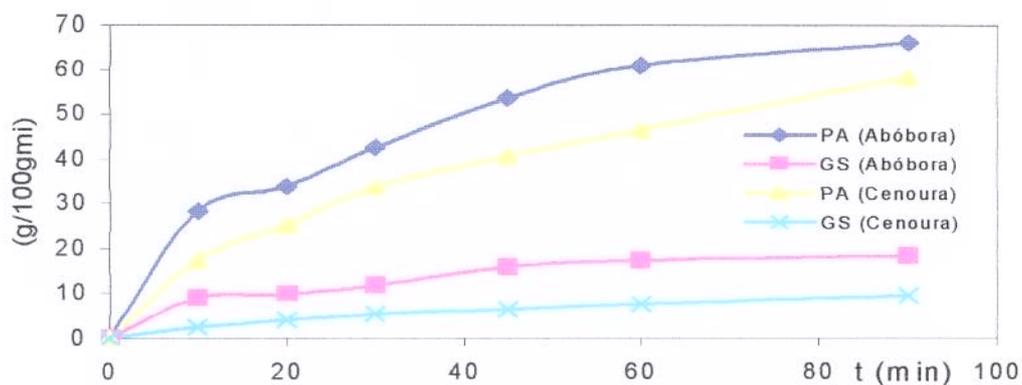


Figura 5.3 Cinética de perda de água e ganho de sólidos de abóbora e cenoura em solução ternária

Na figura 5.4 nota-se que diferentemente do resultado obtido com a solução binária, há uma linearidade entre a perda de água e o ganho de sólidos e que para a solução ternária o sistema ainda não atingiu o equilíbrio, pois nenhuma das duas respostas estabiliza-se em um valor constante. Isso demonstrou que a presença da sacarose auxiliou na prevenção do colapso celular durante a imersão em soluções salinas.

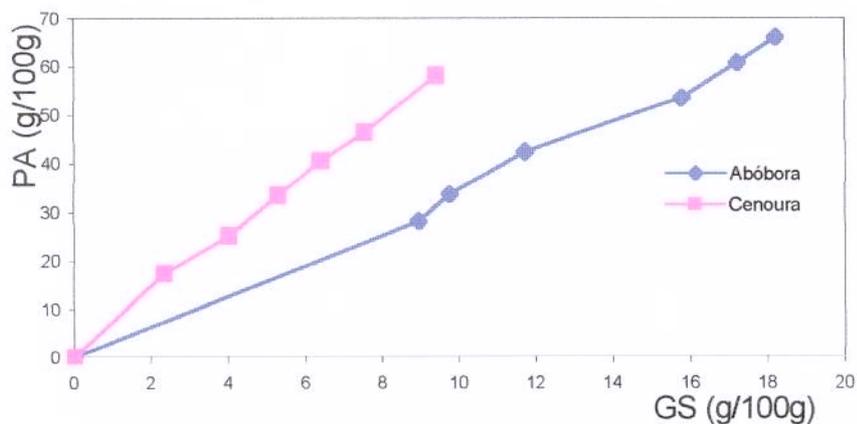


Figura 5.4 Perda de água em função do ganho de sólidos para abóbora e cenoura utilizando solução ternária

Apesar das vantagens citadas anteriormente, a adição de sacarose, além de representar um aumento no custo do processo, conferiu características sensoriais desagradáveis ao produto final com modificação do sabor tanto da abóbora quanto da cenoura, sendo, portanto, descartada a sua utilização no presente estudo.

Na Figura 5.5 mostra-se a comparação das taxas de perda de água em função do tempo para a solução binária (NaCl e água) para os dois produtos.

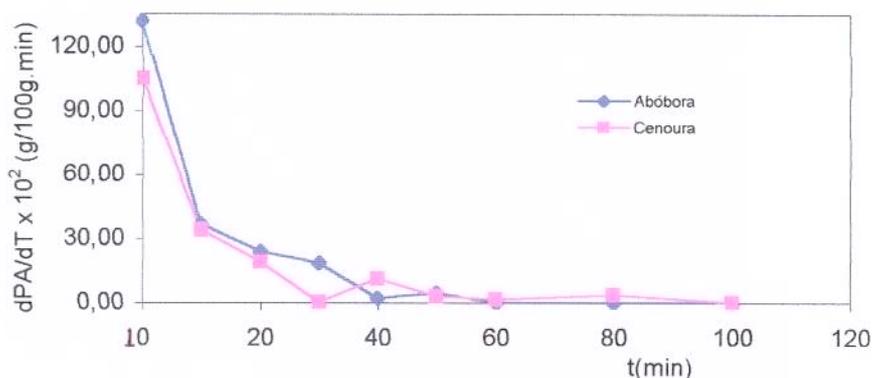


Figura 5.5 Comparação das taxas de perda de água em função do tempo para abóbora e cenoura

Observa-se que, além da similaridade entre os produtos, a taxa de água rapidamente tende a zero, ou seja, a perda de água ocorre de maneira mais intensa no início do processo, conforme afirmam diversos autores (LENART & FLINK, 1984; RAOULT-WACK, 1994; RAOULT-WACK et al., 1994; TORREGIANI & BERTOLO, 2001).

Da análise das Figuras 5.1 e 5.5 escolheu-se o tempo de vinte minutos para se proceder ao planejamento experimental, pois a abóbora apresentou neste intervalo um valor de perda de água de 17%, sendo que o máximo obtido foi de 20% com quarenta minutos de processo, não justificando portanto tempos mais elevados visto que além do aspecto econômico, há ainda o risco da ocorrência de um

comportamento celular indesejável para a abóbora e da degradação do teor dos carotenóides presentes nestes vegetais.

5.2.1 Modelagem da cinética de desidratação osmótica

Visando avaliar a transferência de massa ocorrida durante o processo de desidratação osmótica de abóbora e cenoura foi feita a modelagem matemática utilizando os modelos propostos por Azuara et al (1992), Page (1949) e a solução analítica da Lei de Fick proposta por Crank (1975), de acordo com a seção 3.4.1.

Para a perda de água, devido ao fenômeno verificado para a abóbora, as cinéticas somente foram estudadas no intervalo até 50 min, enquanto que para o ganho de sólido, todos os pontos foram considerados. No cálculo dos adimensionais foi utilizado o valor predito no equilíbrio pelo método de Azuara, visto que, na faixa estudada, o processo de desidratação osmótica não atingiu o equilíbrio.

Nas Figuras 5.6 e 5.7 estão ilustrados os resultados do ajuste do modelo de Azuara linearizado aos dados experimentais da cinética de perda de água e ganho e sólidos, utilizando as equações 7 e 9, respectivamente.

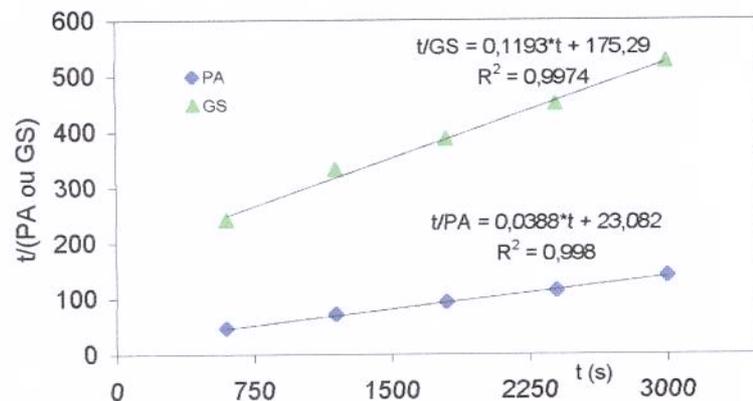


Figura 5.6 Linearização segundo o Modelo de Azuara para abóbora

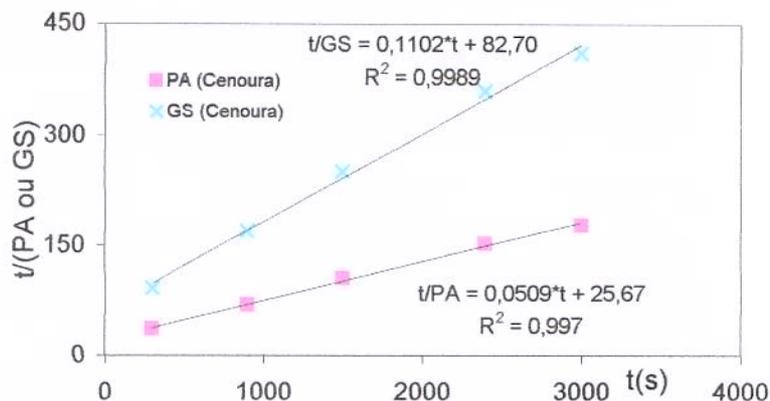


Figura 5.7 Linearização segundo o Modelo de Azuara para cenoura

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados obtidos para os parâmetros do modelo de Azuara para a perda de água, assim como os erros relativos médios encontrados entre o modelo e os dados experimentais e o erro relativo obtido no equilíbrio (E e E') e o coeficiente de determinação (R^2) para abóbora e cenoura.

Nota-se pela análise dos valores de difusividades de massa de água, que os vegetais apresentam características cinéticas bastante similares para a perda de água, este fato está de acordo com o observado na literatura, para outros diferentes produtos.

Tabela 5.4 Valores dos parâmetros e ajustes do modelo de Azuara para a perda de água.

Vegetal	$S_1 \times 10^3 (s^{-1})$	PA_{eq}	PA_{eq}^{exp**}	$E'(\%)*$	$E(\%)$	$D_{ef} \times 10^9 (m^2/s)$	R^2
Abóbora	1,68	25,77	-	-	1,52	1,48	0,998
Cenoura	1,98	19,65	18,27	7,55	1,30	1,41	0,997

*erro relativo entre a perda de água no equilíbrio experimental e previsto pelo modelo

** calculado com base no último ponto obtido

Eman-Djomeh et al (2001) trabalhando com solução de NaCl 7,6% e 25°C em ágar-gel obtiveram o valor de $1,31 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Azoubel & Murr (2000) desidratando tomate cereja usando solução de cloreto de sódio (10%) e 25°C encontraram o valor de $1,17 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Medina-Vivanco et al. (2002) obtiveram, para filés de tilápia desidratado em solução de cloreto de sódio, o valor de $0,99 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Garcia de la Cruz (1998) obteve, para berinjela, trabalhando a 35°C e 10% de NaCl, o valor de $0,466 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, a diferença de mais de 20 vezes entre este resultado e o exposto na Tabela 5.4 deve-se ao fato do autor ter efetuado um pré-tratamento (branqueamento), que danifica bastante o tecido do vegetal, modificando suas propriedades de transporte.

Percebe-se que para a abóbora não foi possível obter o valor da perda de água experimental no equilíbrio, visto que a matriz apresentou um comportamento diferenciado, conforme discutido anteriormente. No entanto o baixo valor do erro relativo médio obtido, aliado ao elevado valor do coeficiente de determinação, indica que o modelo ajustou-se bem aos dados experimentais para a abóbora, pois para alguns tipos de vegetais, em determinadas condições, nem sempre se é possível alcançar o equilíbrio experimentalmente.

No caso da cenoura o modelo mostrou-se ainda mais satisfatório, pois além do elevado valor do coeficiente de determinação (R^2) e de um erro relativo médio (E) aceitável, obteve-se um valor de erro relativo entre a perda de água experimental (considerando o último como o ponto de equilíbrio) e a do modelo no equilíbrio (E') extremamente baixo.

A Tabela 5.5 mostra os resultados obtidos dos parâmetros do modelo de Azuara para o ganho de sólidos.

Tabela 5.5 Valores dos parâmetros e ajustes do modelo de Azuara para o ganho de sólidos.

Vegetal	$S_1 \times 10^4 (s^{-1})$	GS_{eq}	GS_{eq}^{exp**}	$E'(\%)*$	$E(\%)$	$D_{ef} \times 10^{10} (m^2/s)$	R^2
Abóbora	6,81	8,38	7,54	10,02	2,09	7,10	0,997
Cenoura	13,33	9,07	8,08	10,91	1,82	11,4	0,999

** calculado com base no último ponto obtido

Comparando os resultados obtidos nas Tabela 5.4 e 5.5, percebe-se que ambos os produtos possuem difusividades de água muito próximas, entretanto para a difusividade de sólidos a cenoura apresentou um valor duas vezes maior que o da abóbora, indicando que a abóbora perde mais facilmente água do que a cenoura, que, em contrapartida, ganha sólidos mais facilmente que a abóbora.

Os valores da Tabela 5.5 estão de acordo com o observado por Garcia de la Cruz (1998) que, em seu trabalho de desidratação osmótica de berinjela, obteve o valor de difusividade efetiva de $0,218 \times 10^{-10} m^2/s$.

Na Tabela 5.6 estão os resultados obtidos pelo modelo difusional sem considerar encolhimento para abóbora e cenoura.

Tabela 5.6 Modelo de Fick para abóbora e cenoura

Vegetal	PA			GS		
	$D_{ef} \times 10^9 (m^2/s)$	$E(\%)$	R^2	$D_{ef} \times 10^{10} (m^2/s)$	$E(\%)$	R^2
Abóbora	1,63	9,77	0,988	7,35	8,70	0,990
Cenoura	1,80	20,36	0,9796	12,84	20,87	0,981

Percebe-se que o modelo de Fick fornece valores da difusividade de água e do sólido muito próximos aos obtidos pelo modelo de Azuara e embora tenha apresentado elevados coeficientes de determinação, os valores extremamente elevados dos erros relativos médios, provavelmente gerados devido às simplificações propostas na solução analítica, indicam que o modelo de Fick não se aplica com segurança para a cinética de desidratação osmótica de cenoura.

Na Tabela 5.7 estão os resultados obtidos da aplicação do modelo de Page aos dados experimentais da cinética de desidratação osmótica dos produtos analisados.

Analisando os resultados expostos nas Tabelas 5.4 a 5.7, constata-se que todos os modelos, com exceção do modelo de Fick para a cenoura, representaram bem os pontos experimentais, pois os erros relativos médios obtidos estão abaixo de 10%, que, segundo Lomauro et al. (1985), podem ser considerados satisfatórios. Nota-se ainda que as difusividades, obtidas pelos Modelos de Azuara e Fick, foram muito próximas.

O modelo mais representativo para os dados experimentais obtidos neste estudo foi o modelo de Azuara, devido aos menores valores dos erros relativos médios obtidos.

Tabela 5.7 Resultado dos parâmetros do Modelo de Page para abóbora e cenoura

Vegetal	PA				GS			
	$K \times 10^3$	n	E(%)	R	$k \times 10^3$	N	E(%)	R
Abóbora	16,50	0,589	3,37	0,999	5,192	0,668	4,11	0,998
Cenoura	18,903	0,584	6,31	1,000	18,738	0,553	4,09	0,999

5.3 Planejamento Experimental da Desidratação Osmótica

Os resultados obtidos sobre a influência das variáveis temperatura e concentração de NaCl nas respostas estudadas: perda de água, ganho de sólidos, GS/PA, atividade de água e conteúdo de carotenóides, segundo o planejamento experimental fatorial descrito na seção 4.2.6.2, estão descritos a seguir.

5.2.1 Perda de Água (PA)

Na Tabela 5.8 estão apresentados o resultado do planejamento experimental realizado para se obter a influência da temperatura e concentração e NaCl na perda de água, para abóbora e cenoura, respectivamente.

Tabela 5.8 - Planejamento experimental completo codificado com perda de água para abóbora e cenoura

Ensaio	NaCl (%p/p)	T (°C)	PA _{Abóbora} (g/100g)	PA _{Cenoura} (g/100g)
1	-1	-1	13,64	10,50
2	1	-1	16,40	15,90
3	-1	1	13,51	12,90
4	1	1	19,09	18,03
5	0	0	18,52	13,81
6	0	0	18,60	13,33
7	0	0	17,75	13,74
8	-1,41	0	9,59	8,38
9	1,41	0	19,21	18,34
10	0	-1,41	13,33	10,48
11	0	1,41	23,73	15,52

Analisando os dados da Tabela 5.8, verifica-se que não houve grandes incrementos na resposta perda de água para os dois produtos, com valores máximos de 23,73 e 18,34(g/100g) e mínimos de 9,59 e 8,38 % para abóbora e cenoura, respectivamente. Kowalska & Lenart (2001) afirmam que para a cenoura a redução de umidade é de 26%, trabalhando com sacarose 61,5 (%p/p), Conceição et al (2002) trabalhando com sacarose e cloreto de sódio na desidratação osmótica de

mandioca, obtiveram uma perda máxima de água de 10% enquanto que Soares Júnior et al (2002), também trabalhando com o mesmo tipo de solução ternária, obtiveram uma perda de água máxima de 17%.

Utilizando o programa computacional Statistica 5.0, obteve-se os coeficientes da regressão com seus desvios padrão e o valor de p (probabilidade de erro associada) para abóbora e cenoura, que são mostrados nas Tabelas 5.9 e 5.10, respectivamente.

Tabela 5.9 - Coeficiente de regressão, desvio padrão e limites de confiança para a perda de água em abóbora

	Coeficientes	Desvio Padrão	p*
Média*	18,30	0,27	0,00
(1)NaCl (L)*	2,75	0,17	0,00
NaCl (Q)*	-2,16	0,20	0,01
(2)Temp (L)*	2,16	0,17	0,01
Temp (Q)	-0,08	0,20	0,72
NaCl x Temp*	0,70	0,23	0,10

*coeficientes estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

5.10 - Coeficiente de regressão, desvio padrão e limites de confiança para a perda de água em cenoura

	Coeficientes	Desvio Padrão	p*
Média*	13,62	0,15	0,00
(1)NaCl (L)*	3,08	0,09	0,00
NaCl (Q)	0,16	0,11	0,28
(2)Temp (L)*	1,46	0,09	0,00
Temp (Q)	-0,02	0,11	0,85
NaCl x Temp	-0,07	0,13	0,65

*coeficientes estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

Pela análise da Tabela 5.9 percebeu-se que, para a abóbora, somente o coeficiente quadrático da temperatura foi estatisticamente não significativo a 90% de confiança. Enquanto que para a cenoura, além da temperatura quadrática, o coeficiente quadrático da concentração de NaCl e a interação entre o sal e a temperatura também foram estatisticamente não significativos, sendo portanto eliminados dos modelos codificados apresentados para abóbora e cenoura, equações 21 e 22 respectivamente.

$$PA_{\text{abóbora}} = 18,30 + 2,75 \times \text{NaCl} + 2,16 \times \text{Temp} - 2,16 \times \text{NaCl}^2 + 0,70 \times \text{NaCl} \times \text{Temp} \quad (21)$$

$$PA_{\text{Cenoura}} = 13,62 + 3,08 \times \text{NaCl} + 1,46 \times \text{Temp} \quad (22)$$

Verifica-se na Tabela 5.11 que na maior parte dos ensaios, os erros relativos obtidos com os modelos foram menores do que 10%, enquanto que os maiores erros obtidos foram de 13,85 e 13,48% para abóbora e cenoura, respectivamente, o que pode ser considerado bastante satisfatório. Observa-se também que apesar de possuir menos coeficientes, o modelo linear proposto para a cenoura, obteve menores valores de erro, salientando que o número de parâmetros não é, necessariamente, um bom indicador da confiabilidade de um modelo.

Na Tabela 5.12 são apresentados os resultados da ANOVA para o modelo proposto para abóbora, onde se verifica que um elevado valor do coeficiente de correlação (R) e um teste F (cerca de 2 vezes maior que o tabelado) permitindo afirmar que o modelo proposto pode ser considerado preditivo na desidratação osmótica de abóbora.

Na Tabela 5.13 é apresentada a ANOVA para o modelo proposto para a cenoura, onde nota-se, que pelos altos valores do coeficiente de correlação (R=0,97) e do valor do teste F (~20 vezes maior do que o F_{tab}), indica que o modelo é preditivo na desidratação osmótica de cenoura, na faixa estudada.

Tabela 5.11 – Erro relativo e erro relativo médio entre a equação e os dados experimentais para a perda de água de abóbora e cenoura

Ensaio	Erro _{Abóbora} (%)	Erro _{Cenoura} (%)
1	12,88	13,48
2	2,64	4,11
3	9,48	6,99
4	13,64	0,72
5	1,65	1,37
6	2,07	2,17
7	2,62	0,83
8	5,34	10,67
9	7,10	2,05
10	13,85	10,32
11	10,38	1,04
E	7,42	4,89

Tabela 5.12 – Análise de variância para o modelo codificado de perda de água para abóbora

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
Regressão	127,21	4	31,80	8,03
Resíduo	23,75	6	3,96	
Falta de ajuste	23,31	4	5,83	
Erro puro	0,44	2	0,22	
Total	150,96	10		

Coeficiente de correlação: **R=0,92****F_{tab(0,90;4;6)}=4,53**

Desta forma, utilizando os modelos apresentados nas equações (21) e (22), gerou-se as superfícies de resposta e as curvas de nível para abóbora e cenoura apresentadas nas Figuras 5.8 e 5.9, respectivamente.

Na Figura 5.8, observa-se que ao passar dos níveis inferiores para os superiores da temperatura, tem-se um aumento na resposta perda de água. Sendo este um efeito positivo, porém muito menor que o efeito da concentração de sal.

Tabela 5.13 – Análise de variância para o modelo codificado para perda de água em cenoura

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
Regressão	92,76	2	46,38	68,46
Resíduo	5,42	8	0,68	
Falta de ajuste	5,29	6	0,88	
Erro puro	0,13	2	0,07	
Total	98,18	10		

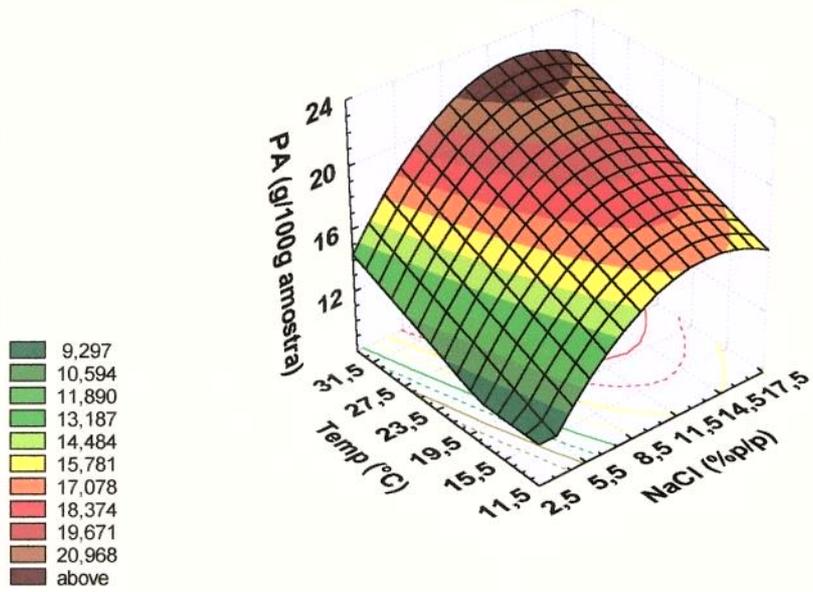
Coefficiente de correlação: **R= 0,97**

$F_{\text{tab}(0,90;2;8)} = 3,11$

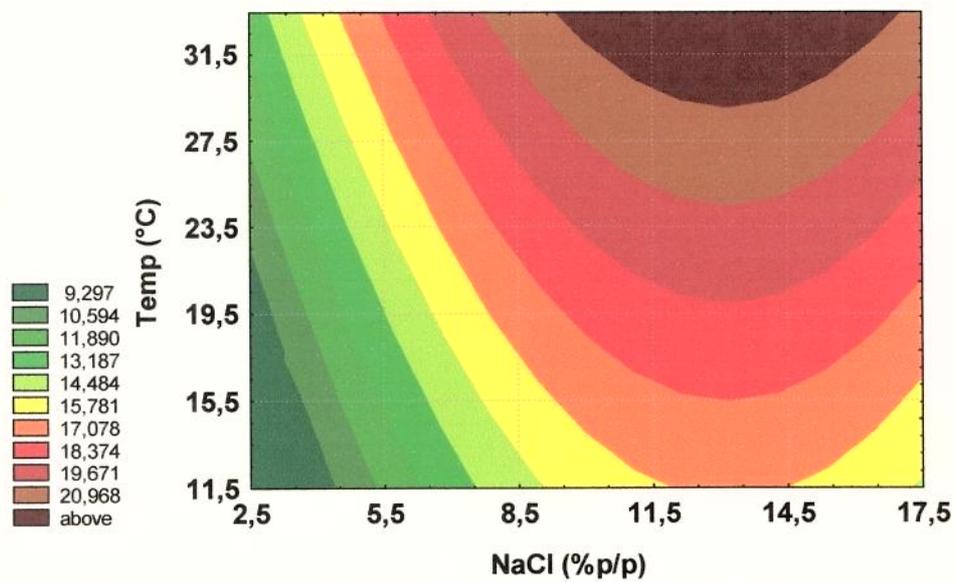
Lazarides et al. (1995), desidratando maçã em soluções de sacarose, afirmaram que na faixa de 20 a 30°C, a temperatura não influenciou significativamente o processo de desidratação osmótica.

Percebe-se também que a região onde se obtêm os maiores valores de perda de água encontra-se muito próximo dos limites superiores das variáveis, isto é, está compreendida entre 9 e 16% da concentração de sal e acima de 29°C.

Na Figura 5.9 são apresentados os resultados para a cenoura, onde verifica-se que a concentração de cloreto de sódio e a temperatura possuem efeito positivo, na faixa estudada, para a resposta perda de água. Sendo que os maiores valores podem ser obtidos na região compreendida entre 15 e 17,5% de sal e acima de 25°C, que são os limites superiores. Isto também foi observado para a cenoura e apesar de ocorrerem nos níveis superiores da faixa estudada, através de uma análise visual não foi verificada nenhuma alteração da estrutura e da cor das amostras.

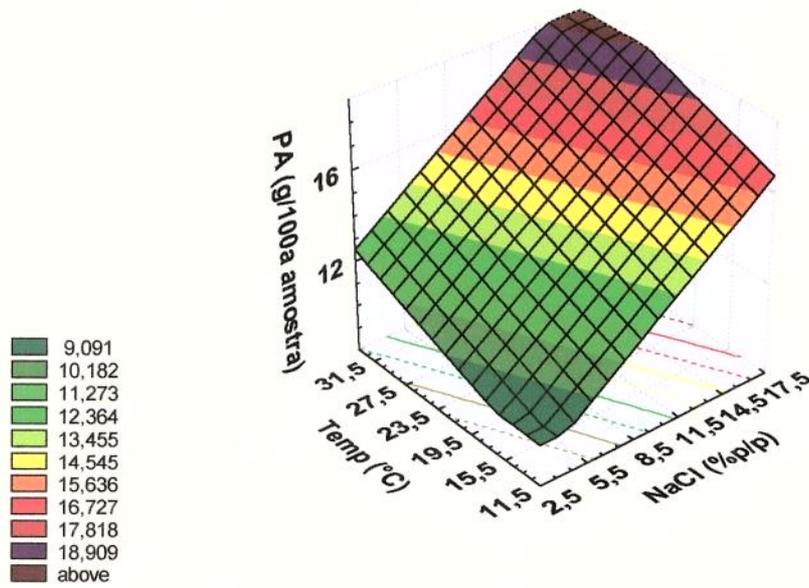


(a)

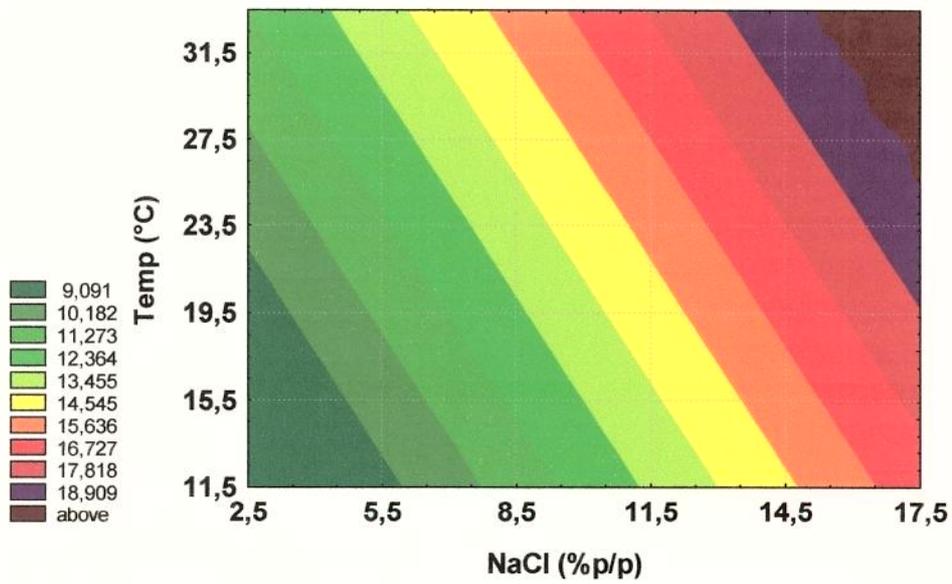


(b)

Figura 5.8: Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água de abóbora (a) e (b)



(a)



(b)

Figura 5.9: Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água em cenoura (a) e (b)

5.2.2 Ganho de Sólidos (GS)

Na Tabela 5.14 estão apresentados os resultados do planejamento experimental realizado para o ganho de sólidos em abóbora e cenoura.

Tabela 5.14 - Planejamento experimental completo codificado com o ganho de sólidos para abóbora e cenoura

Ensaio	NaCl (%p/p)	T (°C)	GS _{Abóbora} (g/100g)	GS _{Cenoura} (g/100g)
1	-1	-1	1,20	1,27
2	1	-1	4,53	4,84
3	-1	1	0,87	1,47
4	1	1	5,65	6,26
5	0	0	2,68	3,48
6	0	0	2,36	3,64
7	0	0	2,46	3,50
8	-1,41	0	0,38	0,86
9	1,41	0	6,15	5,58
10	0	-1,41	2,35	2,28
11	0	1,41	3,72	2,70

Percebe-se que não houve grandes incrementos para o ganho de sólidos tanto para a abóbora quanto para a cenoura, pois os valores máximos de 6,15 e 6,26% podem ser considerados baixos, permitindo-se afirmar que não se trata principalmente de um processo de impregnação. No ensaio 8 os valores de ganho de sólidos são menores que 1g/100g, indicando que quanto menor a concentração de sal, menor foi a impregnação de sal obtida.

A partir dos dados apresentados na Tabela 5.14 obteve-se os coeficientes da regressão com seus desvios padrão e o valor de p para abóbora e cenoura, respectivamente, mostrados na Tabela 5.15 e 5.16 a seguir:

Tabela 5.15 - Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para o ganho de sólidos em abóbora

	Coeficientes	Desvio Padrão	p*
Média*	2,50	0,09	0,00
(1)NaCl (L)*	2,06	0,06	0,00
NaCl (Q)*	0,35	0,07	0,04
(2)Temp (L)*	0,31	0,06	0,03
Temp (Q)*	0,23	0,07	0,08
NaCl x Temp*	0,42	0,08	0,04

*coeficientes estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

Tabela 5.16 – Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para o ganho de sólidos em cenoura

	Coeficientes	Desvio Padrão	p*
Média*	3,54	0,05	0,00
(1)NaCl (L)*	1,88	0,03	0,00
NaCl (Q)	-0,01	0,04	0,86
(2)Temp (L)*	0,28	0,03	0,01
Temp (Q)*	-0,37	0,04	0,01
NaCl x Temp*	0,31	0,04	0,02

*coeficientes estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

Analisando os dados expostos nas Tabelas 5.15 e 5.16 verifica-se que as médias obtidas são muito próximas da obtida por Querido (2000) em seu estudo sobre a desidratação osmótica de caju. E, para a abóbora, todos os coeficientes foram estatisticamente significativos a 90% de confiança. Para a cenoura, da Tabela 5.16, apenas o coeficiente quadrático de concentração de sal foi estatisticamente não significativo a 90% de confiança, sendo, portanto, eliminado do modelo codificado proposto para a cenoura e adicionado à sua falta de ajuste. As equações 23 e 24 apresentam os modelos que descrevem o ganho de sólidos para abóbora e cenoura, respectivamente, na faixa estudada.

$$GS_{\text{Abóbora}} = 2,50 + 2,06 \times \text{NaCl} + 0,31 \times \text{Temp} - 0,35 \times \text{NaCl}^2 + 0,23 \times \text{Temp}^2 + 0,42 \times \text{NaCl} \times \text{Temp} \quad (23)$$

$$GS_{\text{Cenoura}} = 3,54 + 1,88 \times \text{NaCl} + 0,28 \times \text{Temp} - 0,37 \times \text{Temp}^2 + 0,31 \times \text{NaCl} \times \text{Temp} \quad (24)$$

Comparando estes modelos com os dados experimentais, calculou-se o erro relativo entre as respostas observadas e as previstas para abóbora e cenoura (Tabela 5.17), respectivamente. Para a abóbora, no ensaio 8, observa-se um valor elevado do erro relativo, isto foi devido ao valor obtido para o ganho de sólidos neste ensaio ter sido muito próximo de zero, ou seja, qualquer variação relativa traz um erro proporcionalmente elevado. Nos demais ensaios o erro é menor do que 10% que aliado ao erro relativo médio de 6,81% asseguram confiabilidade ao modelo. Quanto à cenoura, apenas três pontos apresentaram valores de erro superiores a 10% e erro máximo de 18% para o ensaio 11 não compromete a validade do modelo, tanto que o erro médio relativo obtido foi satisfatório (7,15%).

Na Tabela 5.18 mostra-se os resultados da aplicação da ANOVA ao modelo proposto para o ganho de sólidos da abóbora, cuja análise demonstrou que o modelo proposto, por apresentar um elevado valor do coeficiente de correlação (R) e um teste F mais de 30 vezes maior que o tabelado, pode ser considerado preditivo na resposta ganho de sólidos na desidratação osmótica de abóbora, nas condições estudadas.

Na Tabela 5.19 apresenta-se os resultados da ANOVA para o modelo proposto para a cenoura que, devido ao elevado valor do coeficiente de correlação (R=0,98) e do teste F oito vezes maior do que o F_{tab} , indica que o modelo é preditivo para o ganho de sólidos, durante a desidratação osmótica de cenoura.

Tabela 5.17 – Erro relativo obtido entre a equação e os dados experimentais para o ganho de sólidos de abóbora e cenoura

Ensaio	Erro _{Abóbora} (%)	Erro _{Cenoura} (%)
1	6,70	2,92
2	2,58	7,74
3	4,70	14,82
4	4,01	10,05
5	6,75	1,62
6	5,82	2,75
7	1,84	1,04
8	26,05	3,30
9	0,77	10,96
10	7,24	5,46
11	8,51	18,00
E	6,81	7,15

Tabela 5.18 – Análise de variância para o modelo codificado do ganho de sólidos para a abóbora

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
regressão	36,24	5	7,25	107,86
resíduo	0,34	5	0,07	
Falta de ajuste	0,28	3	0,09	
erro puro	0,05	2	0,03	
total	36,57	10		

Coeficiente de correlação: **R=0,99****F_{tab(0,90;5;5)}=3,45**

Utilizando os modelos apresentados nas equações (23) e (24), gerou-se as superfícies de resposta, bem como as curvas de nível para o ganho de sólidos da abóbora e da cenoura, respectivamente apresentadas nas Figuras 5.10(a) e (b) e 5.11(a) e (b).

Tabela 5.19 – Análise de variância para o modelo codificado do ganho de sólidos para cenoura

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
regressão	30,13	4	7,53	36,86
resíduo	1,23	6	0,20	
Falta de ajuste	1,21	4	0,30	
erro puro	0,01	2	0,01	
total	31,36	10		

Coeficiente de correlação: **R= 0,98****F_{tab(0,90;4;6)} = 4,53**

A análise das Figuras 5.10(a) e 5.11(a) e das Tabelas 5.15 e 5.16 permite verificar que, tanto para a abóbora quanto para a cenoura, na faixa estudada, a concentração da solução osmótica apresenta efeito positivo no ganho de sólidos, e a temperatura, pouco influência teve nesta resposta.

Observa-se também (Figura 5.10 (b) e 5.11 (b)) que os menores valores do ganho de sólidos encontram-se em baixas concentrações de cloreto de sódio, abaixo de 4,5% para a abóbora e abaixo de 4,0% para a cenoura e praticamente independem da temperatura.

A Figura 5.10(a) indica também que, para a abóbora, em baixas concentrações de NaCl, tem-se uma região de mínimo para o ganho de sólidos, para temperaturas acima de 15,5°C. Já para a cenoura, Figura 5.11(a), a região de mínimo ganho de sólidos situa-se acima de 25°C e abaixo de 16°C.

A pequena influência da temperatura e o maior efeito da concentração do soluto na resposta ganho de sólidos, também foi observado por Lazarides et al (1995) trabalhando com maçã em solução de sacarose na faixa de temperatura entre 20 e 50°C e por Saurel et al. (1994) trabalhando com maçã em solução osmótica de xarope de milho e sacarose.

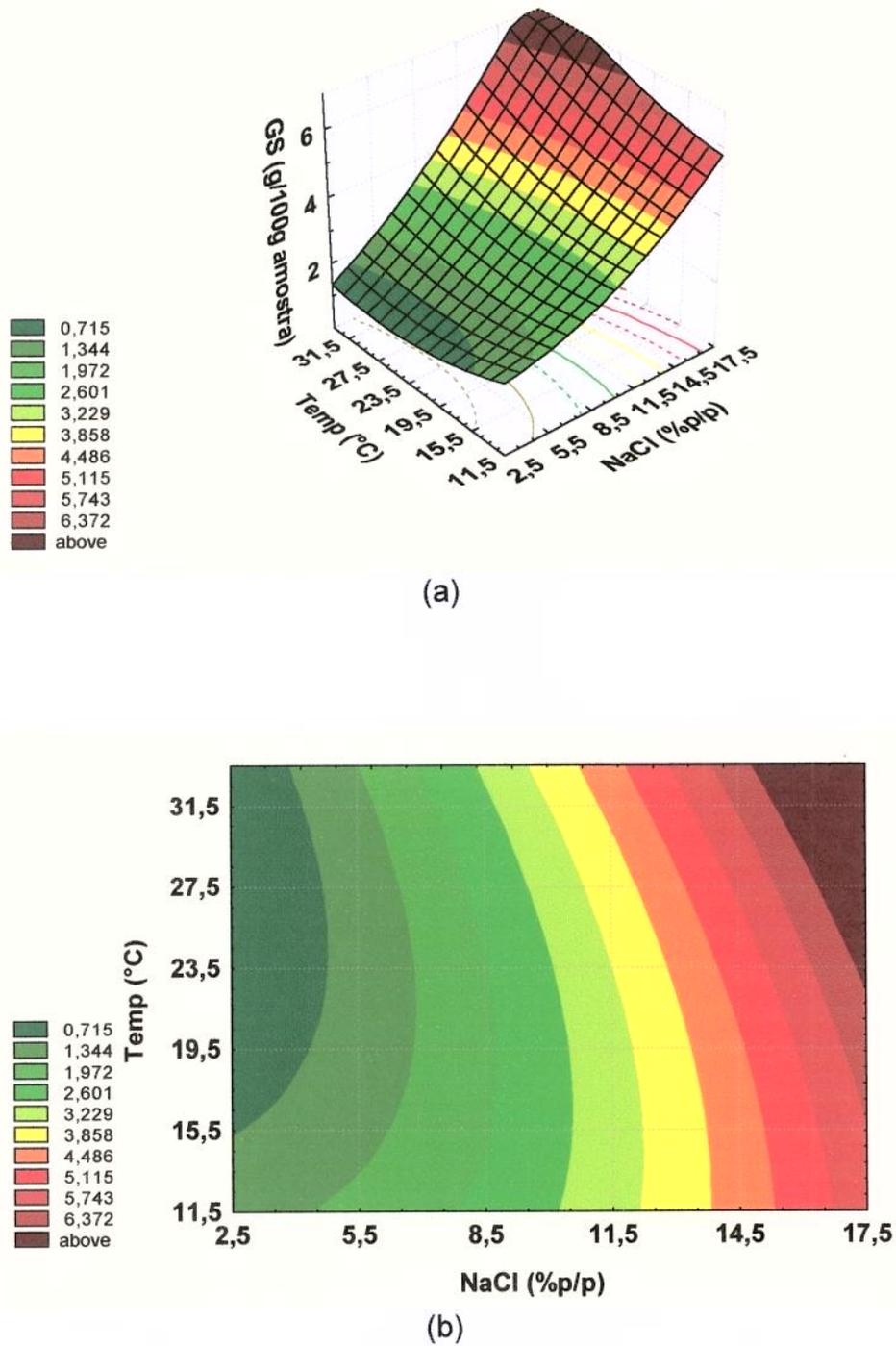
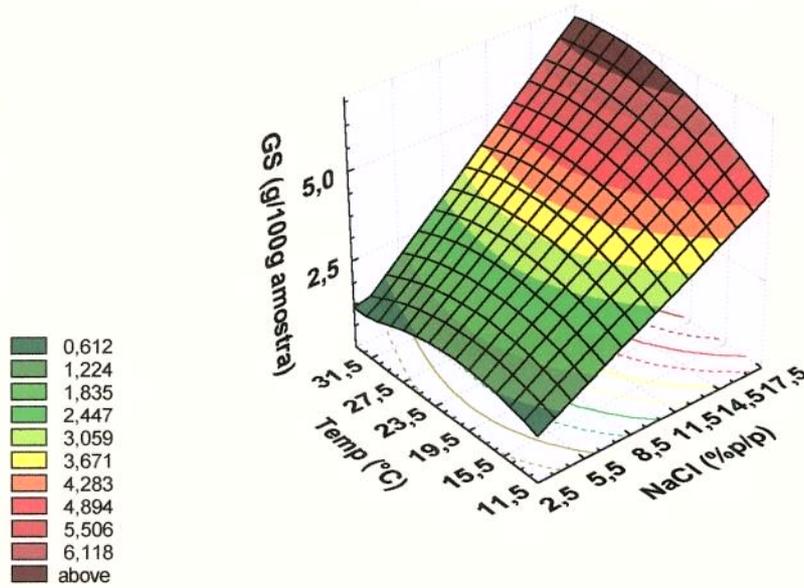
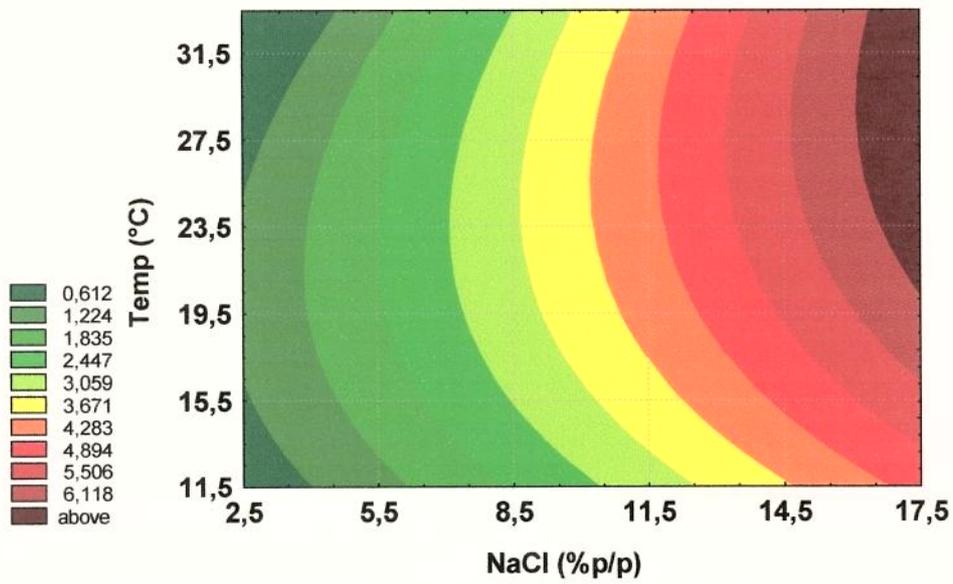


Figura 5.10: Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos de abóbora (a) e (b)



(a)



(b)

Figura 5.11: Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos de cenoura (a) e (b)

Lazarides et al. (1995) propuseram que quando se deseja obter uma mínima incorporação de sólidos aliada a uma elevada desidratação, deve-se estudar a razão entre o ganho de sólidos e a perda de água, pois isoladamente estas respostas não são capazes de fornecer uma análise satisfatória sobre os dois processos que ocorrem durante a desidratação osmótica (impregnação e desidratação), por isto procedeu-se com a análise da razão entre o ganho de sólidos e a perda de água (GS/PA).

5.2.3 Razão entre ganho de sólidos e perda de água (GS/PA)

Na Tabela 5.20 estão apresentados os resultados obtidos para a relação GS/PA para a abóbora e cenoura.

Tabela 5.20 - Planejamento experimental completo codificado para GS/PA para abóbora e cenoura

Ensaio	NaCl (%p/p)	T (°C)	GS/PA _{Abóbora}	GS/PA _{Cenoura}
1	-1	-1	0,088	0,121
2	1	-1	0,276	0,304
3	-1	1	0,048	0,114
4	1	1	0,296	0,347
5	0	0	0,145	0,252
6	0	0	0,127	0,273
7	0	0	0,152	0,255
8	-1,41	0	0,040	0,102
9	1,41	0	0,320	0,304
10	0	-1,41	0,176	0,217
11	0	1,41	0,157	0,174

Os valores obtidos estão muito próximos dos obtidos por Ravindra & Chattopadhyay (2000) para batata com 10% de NaCl.

Percebe-se nos ensaios 1, 3 e 8, onde as concentrações de NaCl foram mínimas, que as razões foram muito reduzidas, ou seja, independentemente dos valores absolutos das variáveis isoladas, nestas condições obteve-se a maior diferença relativa entre elas. Tratando-se portanto de um processo de desidratação propriamente dito, pois a diferença entre a perda de água e o ganho de sólidos apresenta um valor máximo.

Nas Tabelas 5.21 e 5.22 estão apresentados os coeficientes da regressão para a razão GS/PA com seus desvios padrão e o valor de p para abóbora e cenoura, respectivamente.

Tabela 5.21 – Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para GS/PA em abóbora

	Coeficientes	Desvio Padrão	p*
Média*	0,1413	0,0075	0,0028
(1)NaCl (L)*	0,1042	0,0046	0,0019
NaCl (Q)*	0,0203	0,0055	0,0659
(2)Temp (L)	-0,0059	0,0046	0,3259
Temp (Q)	0,0137	0,0055	0,1305
NaCl x Temp	0,0149	0,0065	0,1481

*coeficientes estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

Verifica-se que a média obtida para a cenoura foi maior do que a da abóbora, pois, de acordo com as tabelas 5.9, 5.10, 5.15 e 5.16, a abóbora apresentou maior perda de água enquanto que a cenoura maior ganho de sólidos.

Tabela 5.22 - Coeficientes de regressão, desvio padrão e limites de confiança para GS/PA em cenoura

	Coeficientes	Desvio Padrão	p*
Média*	0,2600	0,0065	0,0006
(1)NaCl (L)*	0,0879	0,0040	0,0021
NaCl (Q)*	-0,0229	0,0048	0,0408
(2)Temp (L)	-0,0032	0,0040	0,5078
Temp (Q)*	-0,0266	0,0048	0,0306
NaCl x Temp	0,0126	0,0056	0,1550

*coeficientes estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

Percebe-se ainda que para a abóbora, somente os coeficientes da concentração de NaCl (linear e quadrático) foram estatisticamente significativos a 90% de confiança. E para a cenoura, além da interação, o coeficiente linear da temperatura foi estatisticamente não significativo a 90% de confiança, portanto a temperatura demonstrou pouca influência, na faixa estudada, na razão GS/PA também para a cenoura.

As equações assim obtidas para GS/PA estão apresentadas a seguir

$$\left(\frac{GS}{PA}\right)_{\text{abóbora}} = 0,141 + 0,104 \times \text{NaCl} + 0,020 \times \text{NaCl}^2 \quad (25)$$

$$\left(\frac{GS}{PA}\right)_{\text{Cenoura}} = 0,260 + 0,088 \times \text{NaCl} - 0,023 \times \text{NaCl}^2 - 0,027 \times \text{Temp}^2 \quad (26)$$

Na Tabela 5.23 estão apresentados os resultados obtidos pela aplicação da ANOVA no modelo proposto para a razão entre o ganho de sólidos e a perda de água em abóbora, cuja análise demonstrou que o mesmo, por apresentar um elevado valor do coeficiente de correlação (R) e um teste F mais de 40 vezes maior

que o tabelado, poderia ser considerado satisfatório e preditivo na resposta GS/PA durante a desidratação osmótica de abóbora, nas condições estudadas.

Lomauro et al. (1985) consideraram que valores de erro relativo médio superiores a 10% invalidam o modelo na representação dos dados experimentais. Para a abóbora, foi observado erro relativo médio (E) de 12,15%, que aliado aos elevados erros relativos individuais obtidos entre o observado e o predito (Tabela 5.24), indicam que o modelo de GS/PA não pode ser considerado válido para a abóbora, apesar da análise estatística inicial ter sido considerada satisfatória.

Tabela 5.23 – Análise de variância para o modelo codificado de GS/PA para a abóbora

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
regressão	0,0882	2	0,04	127,31
Resíduo	0,0028	8	0,00	
Falta de ajuste	0,0024	6	0,00	
erro puro	0,0003	2	0,00	
Total	0,0910	10		

Coeficiente de correlação: **R=0,98**

F_{tab(0,90;2;8)}=3,11

Na Tabela 5.25 estão apresentados os resultados da ANOVA para o modelo proposto para a cenoura que, devido ao elevado valor do coeficiente de correlação (R=0,96) e do teste F quase 10 vezes maior do que o F_{tab}, representa um modelo preditivo para GS/PA, durante a desidratação osmótica de cenoura. Pois em apenas três ensaios obteve-se erros superiores a 10% e o máximo de 18,95% para o ensaio 11, não comprometem a validade do mesmo, tanto que o erro médio relativo obtido foi satisfatório (7,32%).

Tabela 5.24 – Erro relativo entre os valores previstos pelo modelo e os dados experimentais para GS/PA da abóbora e cenoura

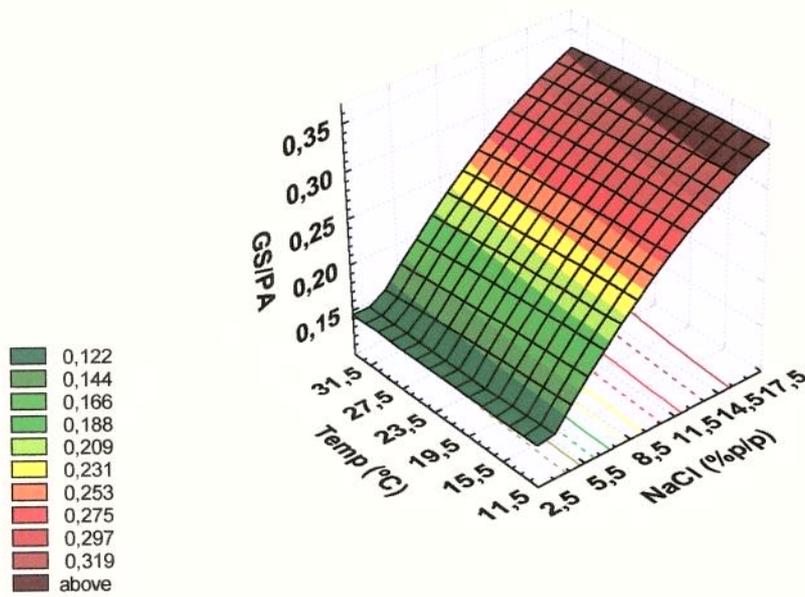
Ensaio	Erro _{Abóbora} (%)	Erro _{Cenoura} (%)
1	34,79	0,97
2	3,74	1,93
3	19,20	7,52
4	10,19	14,07
5	2,36	3,09
6	11,29	4,77
7	7,20	1,94
8	12,44	11,32
9	2,68	11,23
10	19,85	4,76
11	9,97	18,95
E	12,15	7,32

Tabela 5.25 – Análise de variância para o modelo codificado do ganho de sólidos para cenoura

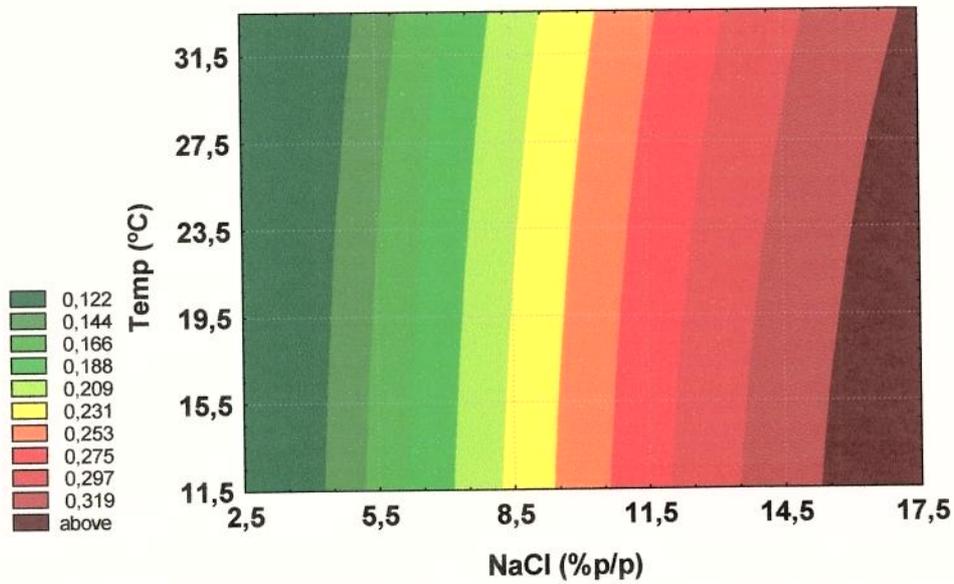
Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
regressão	0,0670	3	0,0223	29,82
resíduo	0,0052	7	0,0007	
Falta de ajuste	0,0050	5	0,0010	
Erro puro	0,0003	2	0,0001	
Total	0,0723	10		

Coeficiente de correlação: **R= 0,96****F_{tab(0,90;3;7)} = 3,07**

Portanto somente foi gerada a superfície de resposta, bem como a curva de nível (Figuras 5.12(a) e (b)), utilizando o modelo proposto para a cenoura, visto que o da abóbora não pôde ser considerado válido.



(a)



(b)

Figura 5.12: Superfícies de resposta e curvas de nível para GS/PA de cenoura (a) e (b)

Pela análise da Figura 5.12(a) verifica-se, igualmente ao observado para o ganho de sólidos em cenoura, que a concentração de solução possui o maior efeito na razão GS/PA. Lazarides et al (1995) notaram o mesmo comportamento estudando a influência da temperatura, tempo de desidratação e tipo/concentração da solução na desidratação osmótica de maçã.

Da Figura 5.12(b) conclui-se que os menores valores de GS/PA são obtidos em concentrações abaixo de 4% de cloreto de sódio e quase que independem da temperatura.

Como a perda de água e o ganho de sólidos são fluxos com direções opostas no processo de desidratação osmótica, mudanças nas condições de processo provocam alterações de forma diferente em cada uma delas. Na Figura 5.12 está indicado que dentro da faixa estudada, ao se trabalhar em baixas concentrações, obtém-se a maior diferença entre as respostas, onde o ganho de sólidos representa apenas cerca de 12% da perda de água e que ao se elevar a concentração de sal (acima de 4,5%), esta diferença diminui progressivamente até que o ganho de sólidos seja de aproximadamente 33% da perda de água.

Através da discussão anterior sobre a perda de água e o ganho de sólidos e em vista dos resultados expressos na Figura 5.12, constatou-se, para a cenoura, que a perda de água e o ganho de sólidos são influenciados de forma distinta pelo aumento da concentração de NaCl.

5.3 Qualidade do produto final

5.3.1 Atividade de água (a_w)

Na Tabela 5.26 apresentam-se os resultados obtidos para a atividade de água para a abóbora e cenoura.

Tabela 5.26 - Planejamento experimental completo codificado para atividade em água abóbora e cenoura

Ensaio	NaCl (%p/p)	T (°C)	a_w (Abóbora)	a_w (Cenoura)
1	-1	-1	0,986	0,988
2	1	-1	0,963	0,954
3	-1	1	0,983	0,984
4	1	1	0,951	0,938
5	0	0	0,969	0,971
6	0;	0	0,971	0,973
7	0	0	0,971	0,967
8	-1,41	0	0,988	0,988
9	1,41	0	0,953	0,944
10	0	-1,41	0,974	0,979
11	0	1,41	0,966	0,967

*valores em negrito indicam o limite máximo aceitável de atividade de água no presente estudo

Percebe-se que não houve variação significativa da atividade de água em ambos os produtos, por isto nenhum modelo será sugerido e apenas uma análise de efeitos foi realizada e está apresentada nas Tabelas 5.27 e 5.28, para abóbora e cenoura, respectivamente.

Os valores obtidos de atividade de água podem ser considerados razoáveis, visto que a desidratação osmótica é reconhecidamente ineficaz, quando utilizada sozinha, na obtenção de alimentos com reduzida atividade de água, como sugerem diversos autores (RAOULT-WACK, 1994; RAOULT-WACK et al., 1994; TAPIA et al., 1999).

Tapia et al. (1999) obtiveram, para mamão desidratado à vácuo em solução de sacarose a 25°C, valores muito próximos aos expostos na Tabela 5.26. Segundo Beuchat (1983) e Scorza et al. (1981) algumas bactérias não são viáveis abaixo do valor de atividade de água 0,98, porém a maioria dos fungos e grande parte das

bactérias, inclusive as de importância em alimentos, como as do gênero *Clostridium*, são viáveis na faixa de atividade de água obtida, portanto os vegetais processados nas condições do estudo não podem ser considerados estáveis.

Tabela 5.27 - Efeitos, desvio padrão e limites de confiança para atividade de água em abóbora

	Efeitos	Desvio Padrão	p*
Média*	0,971	0,001	0,000
(1)NaCl (L)*	-0,027	0,001	0,000
(2)Temp (L)*	-0,007	0,001	0,005
NaCl x Temp*	-0,004	0,001	0,020

*estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

Tabela 5.28 - Efeitos, desvio padrão e limites de confiança para atividade de água em cenoura

	Efeitos	Desvio Padrão	p*
Média*	0,968	0,001	0,000
(1)NaCl (L)*	-0,040	0,003	0,006
(2)Temp (L)*	-0,010	0,003	0,082
NaCl x Temp	-0,006	0,003	0,188

*estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,1$)

Da Tabela 5.27, percebe-se que para a abóbora a temperatura, o sal e a interação entre eles possuem efeito estatisticamente significativo. Para a cenoura (Tabela 5.28) a interação não é significativa a 90% de confiança. A análise destes efeitos está melhor visualizada na Figura 5.13, onde fica nítido que as duas variáveis possuem, dentro da faixa estudada, efeito negativo na resposta, ou seja, ao se passar as variáveis temperatura e concentração de sal de seus níveis inferiores para os superiores, obtem-se uma diminuição da atividade de água. Observa-se ainda, que o sal possui efeito maior do que a temperatura sobre a atividade de água para

ambos os vegetais. A cenoura demonstrou possuir menores valores de atividade de água do que a abóbora no presente estudo.

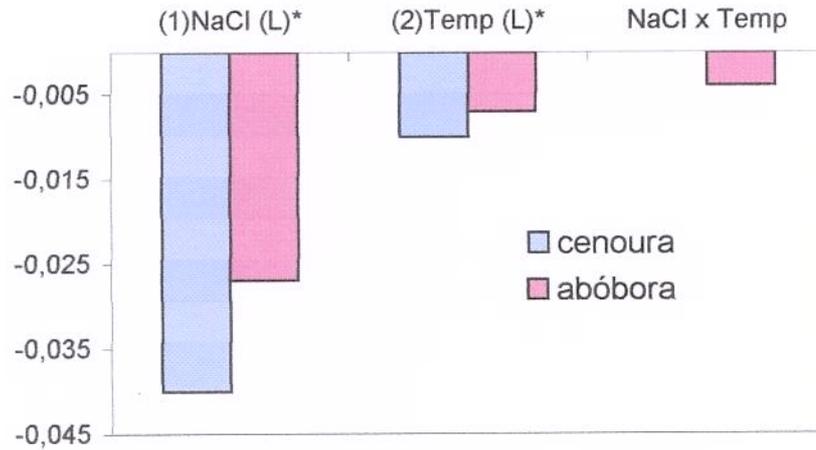


Figura 5.13 Histograma de efeitos para atividade de água em abóbora e cenoura

5.3.2 Conteúdo de carotenóides

Na Tabela 5.29 apresentam-se os resultados obtidos do conteúdo de carotenóides dos produtos submetidos às condições do planejamento experimental proposto na seção 4.2.4.2.

Tabela 5.29 - Planejamento experimental 2² de primeira ordem para o conteúdo de carotenóides para abóbora e cenoura

Ensaio	NaCl (%p/p)	T (°C)	Carotenóides Totais _(Abóbora) (µg/g amostra)	Carotenóides Totais _(Cenoura) (µg/g amostra)
1	-1	-1	25,74	122,13
2	1	-1	27,60	119,07
3	-1	1	23,37	107,46
4	1	1	27,84	128,76
5	0	0	30,15	104,37
6	0	0	29,75	106,70
7	0	0	29,95	109,03

Percebe-se que a cenoura possui o teor de carotenóides totais cerca de quatro vezes maior do que a abóbora, este fato está de acordo com o relatado por Arima (1987) e por Ramos (1991).

A comparação dos valores obtidos na Tabela 5.29 com os valores *in natura* (Tabelas 5.1 e 5.2), indica que os processamentos pouco influenciaram no conteúdo final de carotenóides. Para se validar esta afirmação, realizou-se a análise das médias obtidas acima, através do teste de Tukey a 95% de confiança, cujos resultados estão ilustrados na Tabela 5.30.

Tabela 5.30 – Valores médios do conteúdo de carotenóides para abóbora e cenoura *in natura* e submetidos às diferentes condições de processamento

Condição	NaCl (%p/p)	T (°C)	Abóbora	Cenoura
			Média ($\mu\text{g/g}$ amostra)	Média ($\mu\text{g/g}$ amostra)
1	-1	-1	25,74 a	122,14 a
2	1	-1	27,60 a	110,07 a
3	-1	1	23,37 a	107,47 a
4	1	1	27,84 a	128,76 a
0	0	0	29,95 a	106,70 a
<i>in natura</i>	-	-	29,61 a	126,00 a
Média			27,35	116,85
c.v.(%)			10,02	4,80
Valor de F			1,63*	6,22*

* Teste de F não significativo a $p < 0,05$

** Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si a Tukey 5%.

Os valores das médias obtidas indicaram que o valor médio para abóbora (27,35 $\mu\text{g/g} \pm 2,74$) foi mais alto do que o valor de 18,30 $\mu\text{g/g}$ obtido por Arima (1987) e o de 116,85 $\mu\text{g/g} \pm 5,61$ obtido para a cenoura está acima ao valor de 78 $\mu\text{g/g} \pm 5,00$ obtido por Ramos (1991) trabalhando com a mesma variedade (Nantes). As

diferenças encontradas são um indicativo de como a concentração de carotenóides sofre a influência de diferentes fatores como época e local de colheita, tipo de solo, fertilizante, etc.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem afirmar que o processo de desidratação osmótica proposto para estes vegetais não interfere no conteúdo de carotenóides totais dos produtos. Ramos (1991) estudando o efeito da secagem convectiva e da liofilização industrial no conteúdo de carotenóides de cenoura e espinafre também obteve resultados semelhantes, ou seja, não houve influência significativa destes processos na quantidade de carotenóides totais destes produtos.

6. CONCLUSÕES

1. O modelo de Azuara foi o que melhor representou os dados experimentais da cinética de perda de água e de ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica, pois apresentou os menores valores de erro relativo médio;
2. Os valores da difusividade efetiva da água apresentaram pequena variação entre os produtos e foram da ordem de $10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$. Para os sólidos, os valores obtidos para a cenoura foram cerca de duas vezes maiores do que para a abóbora e foram da ordem de 10^{-11} ;
3. A concentração de sal da solução osmótica foi a variável mais significativa, seguida da temperatura, nas respostas perda de água, ganho de sólidos e atividade de água. Sendo que ambas apresentaram um efeito positivo para a perda de água e para o ganho de sólidos e um efeito negativo para a atividade de água;
4. No processo osmótico, a abóbora apresentou maiores perdas de água que a cenoura, a qual apresentou maiores ganhos de sólidos;
5. Os modelos sugeridos pelo planejamento experimental para perda de água e ganho de sólidos, para ambos os produtos, foram considerados preditivos, pois além da significância estatística a 90% de confiança, obtiveram pequenos valores de erro quando comparados aos dados experimentais;
6. O conteúdo de carotenóides não foi influenciado durante o processo de desidratação osmótica, em todas as condições estudadas.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. A abóbora e a cenoura apresentaram inicialmente, cinéticas semelhantes durante o processo de desidratação osmótica. No entanto, após a primeira hora de processo, a abóbora apresentou um comportamento anômalo, sugerindo que houve alteração das propriedades da membrana celular da abóbora. Por isto estudos futuros a nível microscópico serão necessários para melhor entendimento do fenômeno observado;
2. A pequena diminuição da atividade de água durante o processo de desidratação osmótica, indicou que os produtos não podem ser considerados estáveis sob o ponto de vista microbiológico. Portanto outras formas de processamento ou barreiras ao crescimento microbiológico como secagem, adição de conservantes, acidificação, refrigeração, entre outros são necessários para se garantir a estabilidade microbiológica destes produtos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAMBOUNOU, T.L.; CONWAY, J. e CASTAIGNE, F. Influence de la déshydratation partielle par osmose sur la composition de tranches de pomme. **Sci. Aliments**, v.14, p.75-85, 1995.
2. ALMEIDA-MURADIAN, L.B.; POPP, V. e FARIAS, M.P. Provitamin A activity of Brazilian carrots: leaves and roots, raw and cooked and their chemical composition. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, 17 (2): 120-4, 1997.
3. AMORIM C.Z.; MARQUES, A.D. e CORDEIRO, R.S.B. Screening of the antimalarial activity of plants of the Cucurbitaceae family, **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v.86 (2), p.177-180, 1991.
4. A.O.A.C. Official Methods of Analysis, 13ed, **Association of Official Analytical Chemists**, Washington, 1984.
5. ARIMA, H.K. **Composição de carotenóides de cucurbitáceas brasileiras**. Campinas, 1987. 186p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
6. AZOUBEL, P. M. **Estudo da cinética de desidratação por imersão e secagem de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiform*)**. Campinas, 1999. 101p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
7. AZOUBEL, P.M. e MURR, F.E.X. Mathematical modelling of the osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, vol.20 (2), 2000.

8. AZUARA, E.; BERINSTAIN, C.I. e GARCIA, H.S. Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. **Journal of Food Science Technology**, v.29 (4), p.239-242, 1992.
9. AZUARA, E.; GARCIA, H.S. e BERINSTAIN, C.I. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. **Food Research International**, v.29 (2), p.195-199, 1996.
10. BARBOSA, W. C. **Estudo do melhoramento da qualidade de cenoura (*Daucus carota* L.) desidratada através do processo de tratamento com solutos**. Campinas, 1980. 81p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
11. BARBOSA-CÁNOVAS, G. e VEJA-MERCADO, H. **Dehydration of Foods**. Washington DC, Chapman & Hall, 330p., 1996.
12. BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I.S. e BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Campinas, Editora da Unicamp, 299p., 1996.
13. BAUERNFEIND, J.C. Carotenoid vitamin A precursors and analogs in food and feeds, **J. Agr. Food Chem.**, v. 20, p. 456-473, 1972.
14. BEUCHAT, L.R. Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeasts and molds. **Journal Food Protection**, v. 46 (2), p. 135-141, 1983.
15. BOLETIM MENSAL. Campinas, CEASA. vol. 1, jan., 2001.

16. BONE, D.P. Practical applications of water activity and moisture relations in foods. In: *Water activity: Theory and Applications to Food*, 1987, Nova Iorque, EUA: L. R. Rockland e L. R. Beuchat. Marcel Dekker.
17. BOQUET, R.; CHIRIFE, J. e IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods II. Evaluation of various two-parameter models. **Journal of Food Technology**, v. 13(4), p.307-318, 1978.
18. BORENSTEIN, B. e BUNNEL, R.H. Carotenoids: Properties, occurrence, and utilization in foods, **Adv. Food Res.**, v. 15, p. 195-276, 1966.
19. BOX, G.E.P.; HUNER, W.G. e HUNTER, J.S. *Statistics for experiments – An introduction to design, data analysis and model building*. Nova Iorque: Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, 1978.
20. CHICHESTER, C.O. e McFEETERS, R. Pigment degeneration during processing and storage. In: *The Biochemistry of Fruits and their Products*, 1971, Londres: A.C. Hulme, Academic Press, v.2, p.107.
21. CHIRIFE, J. e BUERA, M.P. A critical review of some non-equilibrium situations and glass transitions on water activity values of foods in the microbiological growth range. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.531-552, 1995.
22. CONCEIÇÃO, M.P.J.; SOARES JR, M.S.; CALIARI, M.; SENNE, C.; CERQUEIRA, D. e GOMES, V. Otimização da desidratação osmótica e análise sensorial de mandioca (*Manihot esculenta*). In: *Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2002, Porto Alegre.

23. CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2ed. Claredon Press Oxford, 414p, 1975.
24. EDGE, R.; McGARVEY, D.J. e TRUSCOTT, T.G. The carotenoids as anti-oxidant – a review. **J. Photochem. and Photobiol. B: Biology**, v.41, p.189-200, 1997.
25. EMAM-DJOMEH, Z.; DJELVEH, G. e GROS, J.B. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part I. Lowering of solute uptake in agar gels: Difusion considerations. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.34, p.312-318, 2001.
26. FAO. Disponível na internet: <http://www.rlc.fao.org>, Acesso em: 12/06/2001.
27. FARKAS, D.F. e LAZAR, M.E. Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. **Food Technology**, v.23, p. 688-690, 1969. Apud: **Food Research International**, v.26, p. 59-68, 1993.
28. FILISETTI-COZZI, T.M.C.C. e LAJOLO, F.M. Fibra alimentar insolúvel, solúvel e total em alimentos brasileiros. **Rev. Farm. Bioquím. Univ. São Paulo**, 27(1), 85-99, 1991.
29. GARCIA DE LA CRUZ, A **Desidratação osmótica e secagem de berinjela**. Campinas, 1998. 155p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
30. GODOY, H.T. e RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Changes in individual carotenoids on processing and storage of mango (*Magnifera indica*) slices and puree. **Int. J. Food Sci. Tech.**, v.22, p.422-451, 1987.

31. GOLDBLITH, S.A.; KAREL, M. e LUSK, G. Role of food science and technology In: Freeze Dehydration of Foods 1. **Food Technol.**, v. 17 (2), p. 139, 1963.
32. HAWKES, J. e FLINK, J. Osmotic concentration of papaya: influence of process variables on the quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p.265-284, 1978.
33. HENG, K.; GUILBERT, S. e CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya – influence of process variables on the product quality. *Sciences des aliments*, v.10 (4), p.831-848, 1990.
34. HOLMES, A. D.; SPELMAN, A.F. e JONES, C.P. Ascorbic acid, carotene, chlorophyll, riboflavin, and water content of summer squashes, **Food Res.**, v. 10, p.489-496, 1945.
35. HOUGH, G.; CHIRIFE, J. e MARINI, C.A. Simple model for osmotic dehydration of apples. **Lebensmitteln wissenschaft and technologie**, v.26 (2), p.51-156, 1993.
36. IEA, Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo. Disponível na internet: <http://www.iea.sp.gov.br/>, Acesso em: 11/06/2001.
37. ICNND, **Northeast Brazil – Nutrition Survey**, Interdepartmental Cmmittee on nutrition for National Development, Washington, DC, USA, 1965.
38. ISLAM, M.N. e FLINK, J.N. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and it effect on air drying behavior. **Journal of Food Technology**, v. 17 (3), p. 387-403, 1982.

39. JAY, J.M. **Modern Food Microbiology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 806p
40. JAYARAMAN, K.S. e DAS GUPTA, D.K. Dehydration of fruit and vegetables - recent developments in principles and techniques. **Drying Technol.**, v.10 (1), p.1-50, 1992.
41. KOWALSAKA, H. e LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.137-140, 2001.
42. KRINSKY, N.I. Function. In: Carotenoids, 1971, Basel: Isler, O., Birkhäuser Verlag, 669-716.
43. LABUZA, T.P.; Kinetics of lipid oxidation in foods, **CRC Critical Reviews in Food Technology**, p.355-405, outubro, 1971.
44. LAZARIDES, H.N.; KATSANIDIS, E. e NICKOLAIDIS, A. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.151-166, 1995.
45. LAZARIDES, H.N.; GEKAS, V. e MAVROUDIS, N. Apparent Mass Diffusivities in Fruit and Vegetable Tissues Undergoing Osmotic Processing. **Journal of Food Engineering**, v.31, p. 315-324, 1997.
46. LENART, A. e FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato I: Criteria for the end-point of de osmosis. **Journal of Food Technology**, v.19, p. 45-63, 1984.
47. LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. **Drying Technology**, v.14 (2), p. 391-413, 1996.

48. LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; ROSA, M.D. e BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit – influence of osmotic agents on drying behavior and product quality, **Journal of Food Science**, v.50 (5), p.1217&, 1985.
49. LEUNG, H.K. Water activity and other colligative properties of foods. In: *Physical and Chemical Properties of Foods*, 1986, St. Joseph, MI, EUA: M. R. Okos. American Society of Agricultural Engineers.
50. LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S. e LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetables and meat products. **Lebensmittel – Wissenschaft und Technologies**, v.18, p.111-117, 1985.
51. MAKKI, F. e DURANCE, T.D. Thermal inactivation of lysozyme as influenced by pH, sucrose, sodium chloride and inactivation and preservative effect in beer. **Food Research International**, v. 29 (7), p. 635-645, 1996.
52. MARCHINI, J.S.; VITALI, L.H.; JORDÃO, J.A.; RODRIGUES, M.M.P. e OLIVEIRA, J.E. Determinação de macronutrientes em alimentos normalmente consumidos pela população brasileira. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, 53 (1/2): 11-16, 1993.
53. MATHEWS-ROTH, M.M. Carotenoids and cancer prevention-experimental and epidemiological studies, *Pure Appl. Chem.*, v. 57, p. 717-722, 1985.
54. MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P.J.A. e HUBINGER, M.D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions, **Chemical Engineering Journal**, v.86, p.199–205, 2002.
55. MENDES, M.H.M.; DERIVI, S.C.N.; RODRIGUEZ, M.C.R. e FERNANDES, M.L. **Tabela de composição de alimentos**, EDUFF, Rio de Janeiro, 1995.

56. MONGAR, J.L. e WASSERMANN, A. Influence of ion exchange on optical properties, shape and elasticity of fully-swollen alginate fibres, **J. Chem. Soc.**, p.500-510, fev., 1952.
57. MONSALVE-GONZÁLEZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. e CAVALIERI, R.P. Mass Transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. **Journal Food Science**, v. 58 (5), p. 1118-1124, 1993.
58. MOY, J.K.; LAU, B.H. e DOLLAR, A.M. Effects of sucrose and acids on osmotic-dehydration of tropical fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2, p. 131-135, 1978.
59. PADULA, M. e RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Changes in individual carotenoids and vitamin C on processing and storage of guava juice. **Acta Aliment**, v.16 (3), p.209, 1987.
60. PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D. e SHARMA, A.L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v.52 (4), p.349-357, 2002.
61. PARJOKO; RAHMAN, M. S.; BUCKLE, K. A. e PERERA, C. O. Osmotic Dehydration Kinetics of Pineapple Wedges using Palm Sugar. **Lebensmittelwissenschaft and technologie**, v. 29, p. 452-459, 1996.
62. PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. e PARK, T.H.K.B. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v.52 (3), p.293-298, 2002.

63. PONTING, J.D.; WALTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R. e STANLEY, W.L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v. 20, p. 125-128, 1966.
64. PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruits: recent modifications and application. **Process Biochemistry**, v. 8, p. 18-20, 1973.
65. QUERIDO, A.F. **Otimização e comparação dos processos de desidratação osmótica a vácuo e a pressão ambiente de pseudofruto de caju (*Anacardium occidentale* L.)**. Campinas, 2000. 113p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
66. QUINTEROS, E.T.T. **Processamento e estabilidade de néctares de acerola e cenoura**. Campinas, 1995. 96p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
67. RAMOS, D.M.R. **Avaliação das perdas de carotenóides e valor de vitamina A durante a desidratação e a liofilização industrial de cenoura e espinafre**. Campinas, 1991. 106p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
68. RAOULT-WACK, A. L.; LAFONT, F.; RIOS, G. e GUILBERT, S. Osmotic dehydration. Study of mass transfer in terms of engineering properties. In: Drying '89, 1989, Nova Iorque: A. S. Myumbar e M. Roques. Hemisphere Publishing.

69. RAOULT-WACK, A.L.; LENART, A. e GUILBERT, S. Recent advances in the dewatering though immersion in concentrated solutions. In: *Drying of solids*, 1992, Nova Iorque: A. S. Myumbar. International Science Publishers. p.211-251.
70. RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, v.5, p. 255-260, 1994.
71. RAOULT-WACK, A.L.; RIOS, G.; SAUREL, R; GIROUX, F e GUILBERT, S. Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). **Food Research International**, v.27 (2), p.207-209, 1994.
72. RASTOGI, N.K. e RAGHAVARAO, K.S.M.S. Kinetics of osmotic dehydration of coconut. **Journal of Food Process Engineering**, v.18, p.187-197, 1995.
73. RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. e NIRANJAM, K. Massa transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration. **Journal of Food Engineering**, v.31, p.423-432, 1997.
74. RAVINDRA. M.R. e CHATTOPADHYAY, P.K. Optimisation of osmotic preconcentration and fluidised bed drying to produce dehydrated quick-cooking potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v.44, p.5-11, 2000.
75. RUBATZKY, V.E. e YAMAGUCHI, M. **World Vegetables**. Principles, Production, and Nutritive values, Gaithersburg, Maryland: Aspen Pub., 1999. 843p.
76. SACCHETTI, G; GIANOTTI, A. e DALLA ROSA , M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.163-173, 2001.

77. SAUREL, R.; RAOULT-WACK, A.L.; RIOS, G. e GUILBERT, S. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. **International Journal of Food Science and Technology**, v.29, p.531-542, 1994.
78. SCORZA, Q. C.; CHIRIFE, J.; CATTANEO, P.; VIGO, M. S.; BERTONI, M. H. e SARRAIH, P. Factores que condicionam el crecimiento microbiano en alimentos de humedad intermedia. **La alimentación Latinoamericana**, v. 127, p. 62-67, 1981.
79. SHI, X.Q. e FITO, P. Vacuum osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology**, v.11 (6), p.1429-1442, 1993.
80. SILVA, M.E.M.P. e PENTEADO, M.V.C. **Teores de vitamina C em alimentos de consumo habitual na região de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) - FCF - USP, São Paulo, 1990.
81. SIMPSON, K.L. e CHICHESTER, C.O. Metabolism and nutritional significance of carotenoids, **Ann. Rev. Nutr.**, v. 1, p. 351-374, 1981.
82. SOARES JR, M.S.; CALIARI, M.; CONCEIÇÃO, M.P.J.; FERNANDES, T.N. e GONÇALVES JR, S.G. Otimização da desidratação osmótica e análise sensorial da batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza*). In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002, Porto Alegre.
83. SOMMER, A.; DJUNAEDI, E.; LOEDEN, A.A.; TARWOTJO, I.; WEST, K.P.; TILDEN, R. e MELE, L. Impact of vitamin A supplementation on childhood mortality. **Lancet**, v.1, p.1169-1173, 1986.

84. STERLING, C. Structure of oriented gels of calcium polyuronates. **Biochim. Biophys. Acta**, v.26 (1), p.186-197, 1957.
85. STERLING, C. Effect of solutes and pH on the structure and firmness of cooked carrot. **J. Food Technol.**, v.3, p.367-371, 1968.
86. TAPIA, M.S.; LOPEZ-MALO, A.; CONSUEGRA, R.; CORTE, P. e WELTI-CHANES, J. Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD) techniques. **Food Science and Technology International**, v.5 (1), p 41-49, 1999.
87. THIELE, H.E e ANDERSON, G. Membranem und gele mit mizellarer struktur, **Z. NATURFORSCH PT B**, v.10 (12), p.677-683, 1955.
88. TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v.26, p.59-68, 1993.
89. TORREGGIANI, D. e BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001.
90. VIAL, C.; GUILBERT, S. e CUQ, J. Osmotic dehydration of kiwifruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, v.11, p.63-84, 1991.
91. WEEDON, B.C.L. Occurrence. In: Carotenoids, 1971, Basel: Isle, O., Birkhäuser Verlag, p.29-62.
92. WHO. Disponível na internet: <http://www.who.org>, Acesso em 13/06/2001.

93. ZSOLT, J.; SCHNEIDER, G. e MATKOVICS, B. Carotenoid changes in different maize varieties during ripening, **Can. J. Biochem. Physiol.**, v. 41, p. 481-486, 1963.