



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO DE TOMATES (*Lycopersicon esculentum*) EM
PEDAÇOS COM PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO**

Josilma Silva de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
– UFRN, em cumprimento às exigências para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Química.

Prof^ª. Dr^ª Margarida Maria dos Anjos Magalhães

Prof^ª Dr^ª Maria de Fátima de Medeiros Lima

Orientadoras

Natal/RN

Junho/2002

SOUZA, Josilma Silva – Estudo da desidratação de tomates em pedaços com pré-tratamento osmótico. Dissertação de mestrado, UFRN, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Área de concentração. Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Regional, Natal/RN Brasil.

Orientadoras: Prof^ª Dr^ª Margarida Maria dos Anjos Magalhães

Prof^ª Dr^ª M^a de Fátima Dantas Medeiros

RESUMO – A secagem de hortaliças ocupa uma posição muito representativa na área de desidratação de alimentos, processo esse que teve início com a secagem ao sol, tem a finalidade de preservar os excedentes das colheitas para serem consumidos nos períodos de escassez. Dentre estas hortaliças se encontra o tomate, originado da América, que após a colheita apresenta-se um fruto bastante perecível fazendo com que a sua desidratação seja um desafio, devido ao seu alto teor de água (95% b.u.). Esse trabalho teve como principal objetivo encontrar formas alternativas de conservação do tomate, através da secagem de pedaços com e sem pele, na forma *in natura* ou pré-desidratados osmoticamente. Inicialmente, foram definidas as melhores condições da pré-desidratação osmótica (temperatura, tempo de imersão, concentração da solução osmótica) baseados nos resultados de perda de umidade, ganho de sólidos e redução de peso, dos tomates pré-desidratados em diferentes condições de processamento. A solução osmótica utilizada foi composta de NaCl (5 e 10%) e sacarose (25 e 35%) em diversas combinações. Para uma condição fixa de desidratação osmótica, realizou-se os ensaios de secagem dos tomates pré-processados e *in natura* em estufa com circulação de ar e em secador convectivo de bandejas, em dois níveis de temperatura. Foi realizada a análise sensorial e o estudo de prateleira dos tomates desidratados sem pele e pré-tratados osmoticamente. Os resultados obtidos mostraram que a secagem dos tomates ocorre sob condição de controle interno do transporte de umidade, não apresentando período de taxa constante, e verificando-se dois períodos distintos da fase decrescente. O pré-tratamento osmótico reduziu substancialmente a umidade inicial dos tomates, reduzindo o tempo necessário para o produto atingir níveis de umidade intermediários. Foi identificado o caráter impermeabilizante da pele do tomate, e a influência desfavorável do pré-tratamento nos tomates sem pele, cujo ganho de sólidos provocou a diminuição da atividade de água com conseqüente redução das taxas de secagem. Apesar das inúmeras simplificações, o modelo difusional proposto ajustou-se de forma satisfatória aos dados experimentais, possibilitando a determinação de coeficientes de difusão efetivos, cujos resultados mostraram-se consistentes e compatíveis com os encontrados na literatura. Com relação as maiores taxas de evaporação e ao menor tempo de processamento, os melhores resultados foram obtidos na secagem à 60°C de tomates *in natura* sem pele e os tomates com pele pré-desidratados, ambos processados no secador convectivo. Os resultados da análise sensorial do produto pré-tratado e sem pele, não foram satisfatórios. Com relação a vida de prateleira, durante um período de 45 dias de armazenamento, não se verificou qualquer alteração físico-química ou microbiológica do produto.

PALAVRAS-CHAVES:

Tomates, conservação, desidratação osmótica, secagem, difusão.

BANCA EXAMINADORA E DATA DE DEFESA:

Presidente: Prof^ª Dr^ª Margarida Maria dos Anjos Magalhães (UFRN)

Membros: Prof^ª. Dr^ª. Maria de Fátima Dantas Medeiros (UFRN)

Prof^ª. Dr^ª. Odélsia Leonor Sanchez de Alsina (UFPB)

Prof^º. Dr^º. José Maria Correia da Costa (UFRN)

Prof^º. Dr^º. Gabriel Francisco da Silva (UFS)

ABSTRACT

Vegetables drying plays an important role in the field of food dehydration, being a very old practice that was originated from sun drying items of food in order to preserve them to be consumed during the periods of scarcity. One of these vegetables is the tomato, that was originally grown in South America. Tomatoes are easily perishable after being picked up from the tree and this makes the process of tomato dehydration a challenge due to the high amount of water (95%) contained in them. The present research work was mainly intended to develop alternative processes for tomato conservation, by drying slices of skinned and unskinned tomatoes in the *in natura* form or in the osmotically pre-dehydrated form. Firstly, the best conditions of the osmotic pre-dehydration process were defined including temperature, immersion time and concentration of the osmotic solution, based on the results of water loss, solids gain and weigh reduction of the pre-dehydration tomatoes at different processing conditions. The osmotic solution used was made up of NaCl (5 and 10%) and sucrose (25 and 35%) at different combinations. For a fixed conditions of osmotic pre-dehydration, the drying tests of the pre-processed and *in natura* tomatoes were carried out in a stove with air circulation and a convective dryer with trays, at two levels of temperature. The sensorial analysis of the osmotically pre-treated and unskinned dehydrated tomatoes was carried out as well as a study on the their shelf-live. The results obtained showed that the drying of the tomatoes took place as a result of the internal control of the water transport, and did not show a constant rate, while two distinct periods of the decreasing phase were observed. The osmotic pre treatment substantially reduced the initial amount of humidity in the tomatoes, thus reducing the necessary time for the product to attain levels of intermediate humidity. The impermeability of the tomato skin was identified as well as the unfavorable influence of the pre-treatment on the unskinned tomatoes, whose solid gain brought about a decrease in the water activity with subsequent reduction of the drying rate. Despite the various simplifications carried out during the development of this study, the proposed diffusive model adjusted to the experimental data satisfactorily, thus making it possible to determine the effective coefficients of diffusion, whose results were consistent and compatible with those found in the current literature. Concerning the higher rates of evaporation and the lowest processing time, the best results were obtained in the drying of the unskinned, *in natura* tomatoes and of the skinned, pre-dehydrated tomatoes, at 60°C, both processed in the convective drier. The results of the sensorial analysis of the unskinned and pre-treated product did not prove to be satisfactory. Regarding the shelf-live of the tomatoes, for a period of 45 days, no physicochemical or microbiological alteration of the product was noted.

Keywords:

Tomatoes, conservation, osmotic dehydration, drying, diffusion.

Contigo

A lei protege.

A lar acolhe.

A família une.

O tempo concede.

O ansejo faculta.

A criação cria.

O mestre orienta.

O livro instrui.

O trabalho habilita.

A luta destaba.

A prova define.

O hábito mecaniza.

A experiência prepara.

O título endossa.

A dor avisa.

A doença depura.

A tentação experimenta.

O obstáculo desafia.

O amigo ampara.

O adversário incentiva.

O afeto nutre.

O auxílio encoraja.

A bondade abençoa.

A fé sustenta.

A oração fortalece.

A morte examina.

O mérito, no entanto, a fim de que recolhas novo alento e passagem para planos superiores, é problema contigo.

E, em toda circunstância, depende da melhora que fizeres, buscando educar a ti mesmo, aprendendo e servindo, amando e perdoando, para a glória da vida, ante a glória de Deus.

EMMANUEL

AGRADECIMENTOS

Ofereço este trabalho e os meus agradecimentos
aos meus pais, Joel e Carminha, pelo incentivo, paciência e presença nos momentos mais difíceis,
aos meus irmãos, Joelma, Joilma, Júnior e Mary, amigos e companheiros para sempre.

As palavras de carinho e incentivo foram muito valiosas.

Aos meus sobrinhos queridos, João Pedro e Yasmin.

À minha filha, Anna Thereza, razão do meu viver e motivo das minhas realizações.

Às minhas orientadoras, Margarida e Fátima, competentes e pacientes nas correções e orientações neste
trabalho;

Ao Prof^o Edson Leandro (Eng^o Química) pela colaboração em ceder o equipamento que foi de grande
ajuda no processo de desenvolvimento prático deste trabalho;

a todos os meus amigos com que compartilhamos momentos de amizade e estudo.

Obrigado a todos.

SUMÁRIO

Resumo	ii
Abstract	iii
Agradecimentos	v
Sumário	vi
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Nomenclatura	xi
1. Introdução	14
2. Objetivos	17
2.1 Geral	17
2.2 Específicos	17
3. Aspectos Teóricos	19
3.1 Tomates	19
3.1.1 Cor	20
3.1.2 Sabor	20
3.1.3 Textura	20
3.1.4 Valor nutritivo	21
3.1.5 Composição nutricional	21
3.2 Secagem	22
3.2.1 Comportamento geral da secagem	23
3.2.2 Período de velocidade constante	24
3.2.3 Período de velocidade decrescente	27
3.2.4 Mecanismo da difusão	28
3.3 Desidratação	29
3.3.1 Desidratação osmótica	29
3.3.2 Modelagem na desidratação	34
3.3.3 Desidratação de tomates	35
3.4 Alimentos com teor de umidade intermediária (AIU)	37
3.5 Alterações provocadas pela desidratação	38
3.6 Estabilidade dos alimentos desidratados durante o armazenamento	40
4. Metodologia Experimental	43
4.1 Matéria prima	43
4.2 Preparação da solução osmótica	43

4.3 Processamento	44
4.3.1 Seleção e preparação da matéria prima	45
4.3.2 Retirada da pele	46
4.3.3 Branqueamento	47
4.3.4 Desidratação osmótica	47
4.3.5 Secagem	48
4.3.6 Acondicionamento	49
4.4 Condições de processamento	49
4.4.1 Desidratação osmótica	49
4.4.2 Variáveis estudadas	50
4.4.3 Ensaio de secagem do tomate	50
4.4.3.1 Condições operacionais	50
4.4.3.2 Modelagem	51
4.5 Métodos analíticos	52
4.5.1 Análises físico-químicas	52
4.5.2 Análise sensorial dos produtos	53
4.5.3 Análise microbiológica do produto	53
4.5.4 Estudo de vida de prateleira	53
5. Resultados e Discussões	55
5.1 Caracterização da matéria prima e do produto final	55
5.2 Desidratação osmótica	55
5.2.1 Definição da composição da solução osmótica a 30°C	55
5.2.2 Definição do tempo de imersão das fatias de tomates com e sem pele a 30°C	56
5.2.3 Definição da temperatura da solução osmótica com tempos de imersão de 90 e 180 min. para as fatias de tomates com e sem pele	59
5.3 Secagem	61
5.3.1 Condições operacionais de secagem	61
5.3.2 Modelagem da cinética de secagem	69
5.4 Análise sensorial	76
5.5 Estudo de vida de prateleira	87
6. Conclusões	89
7. Referências Bibliográficas	93
Anexo	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Curva de secagem – umidade em função do tempo	24
Figura 3.2. Curva da taxa de secagem – taxa de secagem em função da umidade	24
Figura 3.3. Esquema representando o transporte de massa durante o processo de desidratação osmótica	30
Figura 4.1. Fluxograma básico do processamento de desidratação com pré-tratamento osmótico	44
Figura 4.2. Tomates inteiros com pele	45
Figura 4.3. Tomates em pedaços com pele	45
Figura 4.4. Tomates inteiros sem pele	46
Figura 4.5. Tomates em pedaços sem pele	46
Figura 4.6. Equipamento utilizado na desidratação osmótica	47
Figura 4.7. Secador convectivo de bandejas	48
Figura 5.1. Influência do tempo de imersão na perda de umidade das fatias de tomates com e sem pele durante a desidratação osmótica a 30°C	58
Figura 5.2. Influência do tempo de imersão no ganho de sólidos das fatias de tomates com e sem pele durante a desidratação osmótica a 30°C	58
Figura 5.3. Influência do tempo de imersão na redução de peso das fatias de tomates com e sem pele durante a desidratação osmótica a 30°C	58
Figura 5.4. Influência da temperatura na perda de umidade das fatias de tomates com e sem pele com tempo de imersão de 90 minutos	60
Figura 5.5. Influência da temperatura na perda de umidade das fatias de tomates com e sem pele com tempo de imersão de 180 minutos	61
Figura 5.6. Variação da umidade das fatias de tomate com pele, <i>in natura</i> , e pré-desidratada osmoticamente, durante a secagem no secador convectivo. Influência da temperatura, da umidade inicial e do pré-tratamento osmótico.	62
Figura 5.7. Variação da umidade das fatias de tomate com pele, <i>in natura</i> , e pré-desidratada osmoticamente, durante a secagem à 50°C na estufa e no secador convectivo. Influência da vazão do ar e da umidade inicial.	63
Figura 5.8. Variação da umidade das fatias de tomate com pele, <i>in natura</i> , e pré-desidratada osmoticamente, durante a secagem à 60°C na estufa e no secador convectivo. Influência da vazão de ar e da umidade inicial.	63
Figura 5.9. Variação da umidade das fatias de tomate sem pele, <i>in natura</i> , e pré-desidratada osmoticamente, durante a secagem à 60°C no secador convectivo. Influência da pele e da umidade inicial.	64
Figura 5.10. Variação da umidade adimensional das fatias de tomate <i>in natura</i> , com e sem pele durante a secagem à 50°C e 60°C na estufa. Influência da pele e da temperatura.	65

Figura 5.11. Variação da umidade adimensional das fatias de tomate <i>in natura</i> , com e sem pele durante a secagem à 50°C e 60°C no secador convectivo. Influência da pele e da temperatura.	66
Figura 5.12. Variação da umidade adimensional das fatias de tomate pré-desidratada osmoticamente, com e sem pele durante a secagem à 50°C e 60°C na estufa. Influência da pele e da temperatura.	67
Figura 5.13. Taxa de secagem das fatias de tomate no secador convectivo de bandejas a 60°C. Influência da pele e do pré-tratamento.	67
Figura 5.14. Taxa de secagem para os tomates com pele desidratados em secador convectivo de bandejas	68
Figura 5.15. Modelagem da cinética de secagem do tomate com pele, <i>in natura</i> e pré-desidratado osmoticamente, desidratado no secador convectivo. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick.	69
Figura 5.16. Modelagem da cinética de secagem do tomate com pele, <i>in natura</i> e pré-desidratado osmoticamente, desidratado na estufa. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick.	70
Figura 5.17. Modelagem da cinética de secagem do tomate sem pele, <i>in natura</i> e pré-desidratado osmoticamente, desidratado no secador convectivo. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick.	70
Figura 5.18. Modelagem da cinética de secagem do tomate sem pele, <i>in natura</i> e pré-desidratado osmoticamente, desidratado na estufa. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick.	71
Figura 5.19. Efeitos da temperatura e do pré-tratamento osmótico das fatias de tomates com pele sobre os coeficientes de difusão efetivos calculados a partir do modelo.	74
Figura 5.20. Efeitos da temperatura e do pré-tratamento osmótico das fatias de tomates sem pele sobre os coeficientes de difusão efetivos calculados a partir do modelo.	75
Figura 5.21. Modelagem da cinética de secagem do tomate <i>in natura</i> com pele desidratado no secador convectivo a 50°C	75
Figura 5.22. Modelagem cinética de secagem do tomate pré-desidratado osmoticamente com pele desidratado na estufa a 50°C	76
Figura 5.23. Análise sensorial referente ao teste da aparência para as amostras de tomates desidratados	78
Figura 5.24. Análise sensorial referente à cor para as amostras de tomates desidratados	80
Figura 5.25. Análise sensorial referente ao odor para as amostras de tomates desidratados	82
Figura 5.26. Análise sensorial referente ao sabor para as amostras de tomates desidratados	84
Figura 5.27. Análise sensorial referente à textura para as amostras de tomates desidratados	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Principais dados de nutrientes de tomates e seus derivados (por 100g)	21
Tabela 4.1. Composições da solução osmótica	49
Tabela 4.2. Condições operacionais dos ensaios de secagem	51
Tabela 5.1. Caracterização físico-química do tomate <i>in natura</i>	55
Tabela 5.2. Resultados de PU, GS e RP para cada condição de processamento a 30°C	56
Tabela 5.3. Caracterização das fatias de tomates com e sem pele após a desidratação osmótica a 30°C	57
Tabela 5.4. Resultados dos experimentos de desidratação osmótica em pedaços de tomates com e sem pele com tempos de imersão de 90 e 180 minutos, em várias temperaturas	60
Tabela 5.5. Coeficientes de difusão calculados a partir do ajuste do Modelo Difusional de Fick. Parâmetros das retas ($\ln(U/U_0) = A \cdot t + B$) ajustadas à primeira fase da secagem com respectivos coeficientes de correlação	72
Tabela 5.6. Coeficientes de difusão calculados a partir do ajuste do Modelo Difusional de Fick. Parâmetros das retas ($\ln(U/U_0) = A \cdot t + B$) ajustadas à Segunda fase da secagem com respectivos coeficientes de correlação	73
Tabela 5.7. Notas relativas à aparência para quatro amostras de tomates desidratados	77
Tabela 5.8. Análise de variância para os dados da Tabela 5.7	77
Tabela 5.9. Resultado de índice de aceitabilidade dos tomates desidratados	78
Tabela 5.10. Notas relativas à cora para quatro amostras de tomates desidratados	79
Tabela 5.11. Análise de variância para os dados da Tabela 5.10	79
Tabela 5.12. Resultado de índice de aceitabilidade dos tomates desidratados	80
Tabela 5.13. Notas relativas ao odor para quatro amostras de tomates desidratados	81
Tabela 5.14 Análise de variância para os dados da Tabela 5.13	81
Tabela 5.15. Resultado de índice de aceitabilidade dos tomates desidratados	82
Tabela 5.16. Notas relativas ao sabor para quatro amostras de tomates desidratados	83
Tabela 5.17. Análise de variância para os dados da Tabela 5.16	83
Tabela 5.18. Resultado de índice de aceitabilidade dos tomates desidratados	84
Tabela 5.19. Notas relativas à textura para quatro amostras de tomates desidratados	85
Tabela 5.20. Análise de variância para os dados da Tabela 5.19	85
Tabela 5.21. Resultado de índice de aceitabilidade dos tomates desidratados	86
Tabela 5.22. Resultados do estudo de vida de prateleira dos tomates desidratados com e sem pele	87

NOMENCLATURA

P_S	= Pressão de vapor do líquido na temperatura T_S (atm)
P	= pressão parcial do vapor de água no ar de secagem à temperatura T_g (atm)
A	= área de contato líquido – gás (m^2)
dm/dt	= velocidade de secagem (kg/s)
k_P	= coeficiente de transferência de massa (kg/s m^2 atm)
u_S	= umidade de saturação do ar na temperatura da superfície (kg de H_2O /kg de ar seco)
u	= umidade do ar de secagem na temperatura da superfície (kg de H_2O /kg de ar seco)
k_h	= coeficiente de transferência de massa por unidade de diferença de umidade (kg/s m^2)
A_e	= área de transferência de calor (m^2)
h	= coeficiente de transferência de calor (W/m^2 °C)
λ	= calor latente de vaporização do líquido a temperatura T_S (J/kg)
du/dt	= velocidade de secagem ((kg de H_2O /kg de sólido seco)/s)
ρ_S	= densidade do material seco (kg/ m^3)
L	= espessura do leito (m)
a	= área específica de transferência de calor em m^2/m^3 do leito
ε	= porosidade do leito
D_{pm}	= diâmetro médio harmônico das partículas
D_0	= diâmetro do cilindro
D	= coeficiente de difusão do líquido (m^2/s)
u	= umidade média do sólido (kg de H_2O /kg de sólido seco)
u_e	= umidade de equilíbrio do material (kg $_{H_2O}$ /kg $_{sólido}$)
u_i	= umidade inicial do material (kg $_{H_2O}$ /kg $_{sólido}$)
l	= espessura do material (m)
t	= tempo (s)
PU	= perda de umidade
GS	= ganho de sólidos
RP	= redução de peso
M_0	= peso inicial
X_0	= umidade inicial
M_f	= peso final
X_f	= umidade final
Y_f	= sólidos solúveis final
Y_0	= sólidos solúveis inicial
cp	= com pele
sp	= sem pele

A = coeficiente angular da reta

B = coeficiente linear da reta

ICP = *in natura* com pele

DCP = desidratado com pele

ISP = *in natura* sem pele

DSP = desidratado sem pele

Capítulo 1

Introdução

1. Introdução

A agroindústria é, recentemente, um dos mais dinâmicos segmentos da economia brasileira, sendo responsável por uma parcela significativa das exportações do país. Em função disso, muitas pesquisas sobre desidratação de alimentos estão sendo realizadas despontando como excelente alternativa para a redução das perdas na agricultura. É uma técnica que está se difundindo e crescendo a cada dia, com a implantação de fábricas de médio e pequeno porte, localizadas junto as regiões produtoras de alimentos. Hoje, são necessárias técnicas modernas que reduzam custos, aumentem a produtividade, agregando valores aos produtos agrícolas e promovam o desenvolvimento da agroindústria.

A desidratação de legumes e hortaliças apresenta como principal vantagem, a grande redução de peso e volume. Estes não necessitam de refrigeração durante o transporte e armazenamento, como é o caso dos produtos frescos ou congelados e são compatíveis a outros ingredientes nas misturas desidratadas, como sopas.

O tomate é uma das hortaliças mais cultivadas no mundo, e sua produção mundial supera 70 milhões de toneladas/ano. Sua cultura é importante, não só em termos de produção, como também em valor econômico pois faz parte da dieta alimentar diários da maioria da população, sendo a hortaliça mais industrializada e que emprega grande contingente de mão-de-obra. Devido a perecibilidade do produto, com perdas de 25 a 50%, novos processos de industrialização tem sido pesquisados, objetivando a redução das elevadas perdas pós-colheita e o aumento da renda dos produtores.

O mercado de derivados de tomate concentra-se principalmente na produção de extrato de tomate, molhos prontos, catchup, purês além do muito apreciado tomate desidratado. Apreciado pelos italianos os tomates secos conquistaram também o paladar dos brasileiros. A produção e o consumo do tomate seco em conserva tem crescido nos últimos anos, sendo a cidade de São Paulo o maior centro consumidor.

Seu processamento é realizado, na maioria das vezes, de forma artesanal e a qualidade dos produtos obtidos não é determinada por nenhum parâmetro preestabelecido. Na maioria dos casos, os tomates são secos em fornos domésticos o que compromete a qualidade do produto final, pois na verdade, antes de secar, o forno assa o alimento. O processo quando conduzido dessa maneira altera o sabor do produto por meio de reações químicas indesejáveis, como caramelização de açúcares e modificações na cor que provoca o seu escurecimento.

O tomate quando seco para preparo de conserva apresenta teor de umidade intermediário e por isso ainda é susceptível ao desenvolvimento de microrganismos. Para se evitar problemas como estufamento de embalagens provocadas pelo desenvolvimento de bolores e leveduras, é preciso seguir alguns procedimentos básicos de higiene desde o recebimento da matéria prima até o envase e armazenamento do produto final.

Capítulo 2

Objetivos

2. Objetivos

2.1 Geral

- Encontrar formas alternativas de conservação de tomates desidratados em pedaços.

2.2 Específicos

- Definir as condições de processamento para obtenção de tomates em pedaços, desidratados por osmose;
- Estudar a secagem do tomate, com e sem pré-tratamento osmótico, utilizando secador convectivo (com controle de temperatura e vazão de ar) e estufa com circulação de ar;
- Obter as curvas de secagem, analisar a cinética, aplicar e testar modelos;
- Comparar diferentes tipos de acondicionamento;
- Realizar análise sensorial dos produtos obtidos;
- Estudar a vida de prateleira dos produtos obtidos.

Capítulo 3

Aspectos Teóricos e

Revisão Bibliográfica

3. Aspectos Teóricos

3.1. Tomates

Os tomates, cuja família é a *Solanácea*, são originários do Peru – Equador, onde eram cultivados e utilizados como alimentos pelos incas há séculos. Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto perecível. O tomate maduro tem uma vida média de prateleira de uma semana e com perdas pós-colheita da ordem de 25-50%. Quando parcialmente maduro seu período de vida média de prateleira é um pouco maior, de uma a duas semanas, e as perdas pós-colheita chegam a 20-40% (Sigrist, citado por Pena, 1999).

Devido as suas origens, o tomateiro prefere o clima tropical de altitude, ou subtropical fresco e seco, com boa luminosidade. Portanto, a produção nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-oeste se dá durante o ano todo, já nas regiões Norte e Sul o pico de produção acontece nos meses de março/julho e setembro/fevereiro, respectivamente. Dependendo da fertilização da terra, a colheita se processa aproximadamente de 80 a 120 dias após o início da cultura e podendo se prolongar por mais 30 dias. Tudo depende da necessidade da colheita antecipada ou não, da capacidade de amadurecimento uniforme do fruto ou não, da época do ano, da mão de obra disponível, de acordos com a indústria, etc.

O tomate é uma das culturas nacionais de maior importância econômica, pois é a hortaliça mais industrializada na forma de inúmeros subprodutos. Levando isso em conta, o tomate está em décimo segundo lugar dentre os produtos agrícolas no Brasil, de acordo com Nagai citado por Pena (1999).

A indústria de tomate no Brasil tem sofrido rápidas mudanças. Em 1975, o principal produto derivado era a pasta concentrada, porém, atualmente a demanda por molhos especializados é expressiva, devido às mudanças nas preferências do consumidor.

Embora a produção tenha aumentado nos últimos anos, ela não é suficiente para satisfazer a demanda crescente. Em 1995, 60.447 toneladas de tomates foram importadas, 80% do Chile, 6% dos Estados Unidos e 4% da Itália. No mesmo período, o Brasil exportou o equivalente a 18.679 toneladas. A capacidade de processamento no Brasil é estimada em 2 milhões de toneladas de tomates frescos.

A produção brasileira até agosto de 2000 foi de 3.014.874 toneladas de tomates, sendo que a região Sul respondeu por 11,2%, a região Nordeste por 38,5% enquanto

que a região Sudeste produziu 50,3%. Cerca de 40% da produção é industrializada (EMBRAPA, 2000).

A principal preocupação no processamento de alimentos é a manutenção das qualidades dos produtos. No caso da polpa de tomate é preciso dar a devida atenção a cor (provavelmente a característica de maior apelo ao consumidor), ao sabor, à textura e ao seu valor nutritivo.

3.1.1 Cor

Os tomates quando amadurecidos, produzem uma cor vermelha típica. Este processo é acompanhado pela produção de carotenos, principalmente licopeno e β -caroteno (Frenkel et al., 1989). Os carotenóides produzidos, além de servir como índice de amadurecimento é um importante aliado na prevenção de vários tipos de câncer. Estudo recente, apresentado no encontro da Sociedade Americana para a Pesquisa do Câncer, mostrou evidências diretas que o licopeno protegeu homens contra o câncer de próstata, encolhendo o tamanho do tumor e reduzindo sua malignidade (Folha de São Paulo, 1990).

3.1.2 Sabor

O tomate contém cerca de 5 a 6% de sólidos solúveis, na maior parte açúcares. Os ácidos orgânicos compreendem aproximadamente 1/10 dos sólidos totais. O alto conteúdo de açúcares e de ácidos tem sido indicado como o maior atributo da qualidade sensorial do tomate, além de intensificar seu sabor característico. Alto conteúdo de açúcar e baixo teor de ácido fornece gosto insípido, enquanto que a relação contrária, resulta numa fruta ácida.

3.1.3 Textura

A textura do tomate é a sua característica mais importante de qualidade em termos industriais, sendo que o amolecimento é necessário para tornar a fruta comestível e para liberar o aroma e sabor durante a mastigação.

Um fruto firme é desejável tanto pelos distribuidores comerciais como pelos consumidores. A firmeza da fruta é de importância considerável durante o manuseio, já que são menos susceptíveis a danos mecânicos e, conseqüentemente, enrugamento e apodrecimento (Frenkel et al., 1989).

3.1.4 Valor nutritivo

Os tomates são uma importante fonte de minerais e vitaminas, embora o conteúdo de carboidratos seja também nutricionalmente significativo.

Segundo Salunkhe & Desai (1984) tomando um grande grupo de 10 vitaminas e minerais, o tomate é o décimo sexto em concentração desses nutrientes, mas o primeiro em sua contribuição para a dieta. Carvalho et al. (1980), relatam que o valor nutritivo do tomate pode ser atribuído quase que totalmente à vitamina C.

É crescente o interesse dos pesquisadores e dos técnicos em alimentos na manutenção dos níveis de ácido ascórbico dos produtos durante o processamento. No processamento do suco, ketchup, e concentrado de tomate, dependendo das condições de operação, o ácido ascórbico é parcialmente destruído, principalmente por oxidação, que pode ser enzimática ou não enzimática e que são catalisadas por íons cobre. A taxa de oxidação é dependente do oxigênio dissolvido, conteúdo de enzimas, cobre dissolvido e temperaturas do suco. Pesquisas com tomates inteiros enlatados sem pele, indicam que a perda de ácido ascórbico é bem menor do que nos processamentos descritos acima (Gould, 1974).

3.1.5 Composição nutricional do tomate

A Tabela 3.1 relaciona os principais dados nutricionais encontrados nos tomates e nos produtos derivados dos tomates.

Tabela 3.1 Principais dados de nutrientes de tomates e seus derivados (por 100g)

	Tomates crus	Tomates enlatados	Pasta	Suco	Ketchup	Chutney	Molho
Energia (kcal)	17	16	68	14	98	161	200
Água (g)	93,1	94	71,9	93,8	64,8	54,0	83,9
Proteína (g)	0,7	0,1	4,5	0,8	2,1	1,2	2,0
Gordura (g)	0,3	0,1	0,2	Tr	Tr	0,4	1,2
Carboidrato(g)	3,1	3,0	3,0	12,9	24,0	40,9	6,9
Açúcares (g)	3,1	2,8	12,6	3,0	22,9	40,1	5,7
Fibra (g)	1,2	0,8	2,8	0,6	0,9	1,4	
Licopeno(mg)	3,1-9,3	3,1-6,2	6,3-16,7	6,1-10,8	11,9-17,2		5,2-18,0
β-caroteno(mg)	0,2-0,5	0,4-0,5	0,4-1,0	0,3-0,9	0,2-0,8		0,4-1,0
Vitamina C (mg)	17	12	38	8	2	6	

McCance, 1991

Tr ⇒ traços

Os carotenóides, β -caroteno e licopeno, importantes nutrientes do tomate, são objetos de investigação desde o século passado e ainda hoje atraem a atenção dos pesquisadores das mais diversas áreas, devido as funções que lhe são atribuídas. Inicialmente foi estudado em alimentos por causa de sua coloração atraente, variando desde o amarelo pálido no maracujá e abacaxi, até o vermelho forte do tomate, pimentão e camarão. Um sistema de ligações duplas conjugadas constitui o cromóforo responsável pela cor. A coloração do alimento depende do tipo e quantidade dos carotenóides presentes (Tavares & Rodriguez, 1994).

3.2.Secagem

A preservação dos alimentos pela secagem é um dos métodos mais antigos do mundo e é até hoje utilizada pelo homem. Alguns alimentos permanecem em boas condições por longos períodos, mais a maior parte contém umidade suficiente para permitir a ação de microrganismos, portanto nestes casos, a desidratação se faz necessária. Nos alimentos desidratados, devido a atividade de água (a_w) mínima, os microrganismos praticamente não se desenvolvem, (Labuza, 1972).

Entende-se por secagem a transferência de um líquido presente num sólido úmido para uma fase gasosa não saturada. A secagem ocorre sempre a pressão de vapor do líquido retido na fase sólida é maior que a pressão parcial do vapor deste líquido na fase gasosa. Conclui-se então, que em qualquer processo de secagem a temperatura e a velocidade de vaporização do líquido dependerá da concentração de vapor da atmosfera.

Na secagem ocorre dois processos de transporte simultâneos:

- (1) Transferência de calor para vaporizar o líquido;
- (2) Transferência de massa na forma de líquido ou de vapor dentro do material e na de vapor para a atmosfera, a partir da superfície.

A zona de evaporação pode portanto, estar na superfície, do sólido ou dentro deste, dependendo do tipo do material e das condições de processo. Devido ao diferente comportamento apresentado na secagem, costuma-se estudá-la separando os materiais quanto a porosidade: macroporosos ($r_p > 1000 \text{ \AA}$) e microporosos ($r_p < 1000 \text{ \AA}$).

De um modo geral a investigação sobre a forma de secagem do material úmido pode basear-se no mecanismo interno do escoamento do líquido (difusão em sólidos homogêneos, escoamento capilar em materiais granulares e porosos, escoamento provocado por

gravidade, por contração ou por gradiente de pressão), ou nas condições externas (temperatura, umidade, velocidade de secagem, etc.)

A teoria geral e os fundamentos da secagem de sólidos encontram-se descrita na literatura clássica de engenharia química, (MacCabe & Smith, 1980; Perry et al., 1980; Foust et al., 1980).

3.2.1. Comportamento geral da secagem

Quando um material seca, os dados obtidos experimentalmente relacionam o teor de umidade com o tempo. As curvas características de secagem podem ser representadas de diferentes formas e apresenta diferentes períodos de secagem, conforme ilustram as Figuras 3.1 e 3.2 (Strumillo, 1986). Nestas figuras, o segmento AB representa a fase inicial da secagem quando o sólido é aquecido desde a temperatura T_0 até a temperatura de equilíbrio T_S . Neste período a velocidade de secagem aumenta em decorrência do aumento da temperatura.

O trecho BC se caracteriza pela constância da velocidade de secagem e da temperatura do sólido molhado, que na maioria das vezes coincide com a temperatura do bulbo úmido (quando o calor é transferido por convecção). Este é o período da taxa constante que termina quando o sólido atinge o teor de umidade crítico. Além deste ponto a temperatura da superfície eleva-se e a taxa de secagem cai rapidamente.

A partir do ponto C inicia-se o período a taxa decrescente que pode ser dividida em duas zonas: 1) zona de secagem da superfície insaturada (CD); 2) zona em que o movimento interno da umidade é controlante (DE). Nos teores de umidade mais baixos que o ponto D toda a evaporação ocorre a partir do interior do material. A secagem cessa quando a pressão de vapor do líquido contido no sólido é igual a pressão parcial do vapor de água no gás secante afluente. Nestas condições a umidade do sólido atinge o valor U_e (teor de umidade no equilíbrio), umidade que permanece no sólido independente do tempo de secagem, desde que as condições de operação não se modifiquem.

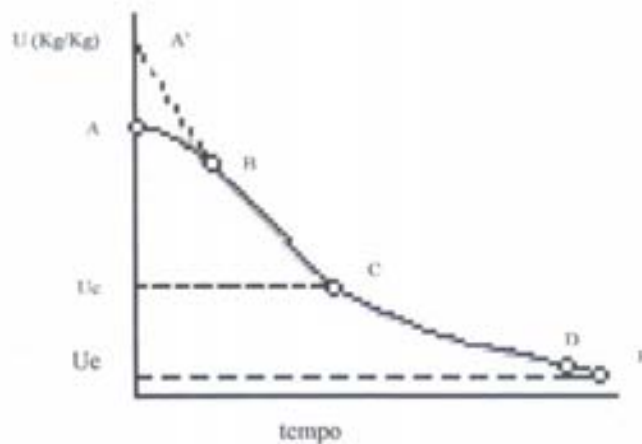


Figura 3.1. Curva de secagem. Umidade em função do tempo

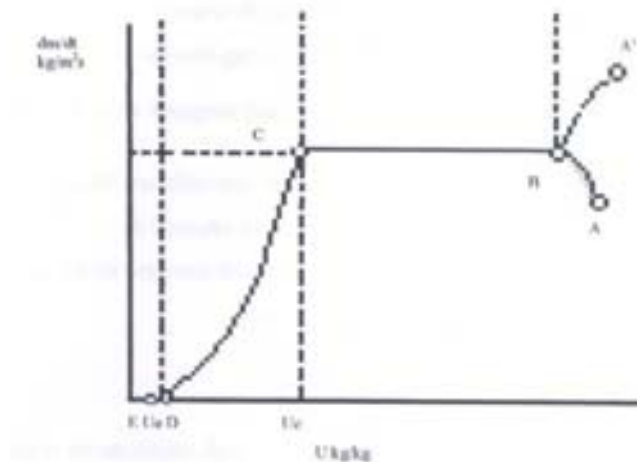


Figura 3.2. Curva de taxa de secagem - taxa de secagem em função da umidade

3.2.2. Período de velocidade constante

Durante este período a secagem ocorre pela difusão do vapor a partir da superfície saturada do material e através de uma película de ar estagnado para o ambiente. O movimento da umidade dentro do sólido é suficientemente rápido para manter a condição de saturação da superfície, e a velocidade da secagem é controlada pela velocidade de transferência de calor para a superfície evaporante. A velocidade de transferência de massa equilibra a de calor e a temperatura da superfície saturada permanece constante. Neste período o sólido está tão úmido que existe uma película contínua de líquido sobre toda a superfície de secagem, e a taxa de evaporação independe da umidade do sólido. Se o sólido é não poroso o líquido evaporado é essencialmente o que recobre sua superfície. Nos sólidos porosos a maior

parte da evaporação provém do interior do mesmo (MacCabe & Smith, 1980; Perry et al., 1980; Foust et al., 1980).

Na maioria dos processos de secagem o líquido evaporado é água e o gás de secagem é o ar atmosférico. Para se calcular a velocidade de secagem são empregadas as equações de transferência de massa e de calor:

$$\frac{dm}{dt} = k_p A (P_S - \bar{P}) \quad (1)$$

P_S = Pressão de vapor do líquido na temperatura T_S (condição de saturação) (atm)

\bar{P} = pressão parcial do vapor de água no ar de secagem à temperatura T_g (atm)

A = área de contato líquido – gás (m^2) (área de transferência de massa)

$\frac{dm}{dt}$ = velocidade de secagem (kg/s)

k_p = coeficiente de transferência de massa (kg/s m^2 atm)

A equação de transferência de massa expressa em termos de umidade do ar pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{dm}{dt} = k_h A_e (u_s - u) \quad (2)$$

u_s = umidade de saturação do ar na temperatura da superfície, T_S (kg de H_2O /kg de ar seco)

u = umidade do ar de secagem (kg de H_2O /kg de ar seco)

k_h = coeficiente de transferência de massa por unidade de diferença de umidade (kg/s m^2)

E, teores baixos de umidade,

$$k_h = k_p P \frac{M_A}{M_W} \quad (3)$$

A velocidade de transferência de calor está relacionada com a velocidade de secagem pela Equação (4)

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda \frac{dm}{dt} \quad (4)$$

E com as condições de secagem pela expressão:

$$\frac{dQ}{dt} = h A_c (T_g - T_s) \quad (5)$$

Onde:

A_C = área de transferência de calor (m^2) (pode coincidir ou não com a área de transferência de massa)

h = coeficiente de transferência de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

λ = calor latente de vaporização do líquido a temperatura T_S (J/kg)

igualando as equações (4) e (5), tem-se:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{hA_C(T_g - T_S)}{\lambda} \quad (6)$$

Para o cálculo da secagem é conveniente exprimir a Equação (6) em termos da diminuição do teor de umidade U no sólido. No caso da evaporação de uma bandeja de material úmido, com a hipótese de não haver modificação de volume durante a secagem a Equação (6) torna-se:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{h}{\rho_S L \lambda} (U_S - U) \quad (7)$$

Onde:

$\frac{dU}{dt}$ = velocidade de secagem ((kg de H_2O /kg de sólido seco)/s)

ρ_S = densidade do material seco (kg/m^3)

L = espessura do leito (m)

Uma equação análoga pode ser escrita para o caso da circulação permeante

$$\frac{dU}{dt} = \frac{ha}{\rho_S \lambda} (T_g - T_S) \quad (8)$$

Onde a = área específica de transferência de calor em m^2/m^3 do leito.

O valor de a pode ser estimado quando a porosidade do leito é conhecida.

- Para partículas esféricas: $a = \frac{6(1 - \varepsilon)}{D_{pm}}$
- Para partículas cilíndricas: $a = \frac{4(0,5D_0 + z)(1 - \varepsilon)}{D_0 z}$

ε = porosidade do leito

D_{pm} = diâmetro médio harmônico das partículas

D_0 = diâmetro do cilindro

Se $z \gg D_0$ o termo $0,5.D_0$ pode ser negligenciado.

3.2.3. Período de velocidade decrescente

O ponto em que termina o período a velocidade constante (ponto crítico), marca o instante em que a água líquida que está sobre a superfície é insuficiente para manter uma película contínua que cubra toda a área de secagem. Para sólidos não porosos aparece o ponto crítico quando se evapora a umidade superficial, enquanto que para sólidos porosos este ponto é alcançado quando a velocidade de fluxo de umidade para a superfície é insuficiente para igualar a velocidade de evaporação que requer o processo.

No trecho CD que representa a primeira zona de velocidade decrescente, parte da superfície evaporante se mantém insaturada, uma vez que a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é transferida da superfície. Ocorre então dois mecanismos de transferência de massa: a difusão de vapor a partir da superfície saturada para o gás secante e a difusão direta do vapor desde os níveis mais internos do sólido para a superfície insaturada e desta para a corrente gasosa. Este mecanismo é muito lento se comparado com a transferência convectiva que ocorre na superfície saturada e por isso há uma diminuição da velocidade de secagem para toda a superfície do sólido. Neste período a velocidade de secagem depende dos fatores que afetam a difusão da umidade para longe da superfície evaporante e de outros que alteram a velocidade do movimento interno da umidade (MacCabe & Smith, 1980; Perry et al., 1980; Foust et al., 1980).

A partir do ponto D toda a evaporação ocorre no interior do sólido, pois toda a superfície evaporante está insaturada e o plano de evaporação desloca-se para o interior deste. Inicia-se assim o segundo período de velocidade decrescente, onde a influência das variáveis externas diminui e a velocidade de secagem é controlada pela velocidade do movimento de umidade interna. Na secagem de baixos teores de umidade este período usualmente predomina na determinação do tempo de secagem global. A investigação sobre o movimento interno da umidade indica a possibilidade de vários mecanismos de controle, sendo os mais significativos os de difusão, de capilaridade e os de gradiente de pressão.

3.2.4. Mecanismo da difusão

Quando no período de taxa decrescente a difusão é controlante, a umidade movimenta-se para a superfície em virtude da difusão molecular. O processo de evaporação de água na secagem de um sólido, pode então ser descrito, aplicando-se modelos matemáticos que consideram como mecanismo principal a difusão baseada na segunda lei de Fick.

Segundo Cranck (1975), a segunda lei de Fick para um sistema unidimensional e homogêneo, pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = D \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} \quad (9)$$

D = coeficiente de difusão do líquido (m^2/s)

\bar{u} = umidade média do sólido ($\text{kg de H}_2\text{O}/\text{kg de sólido seco}$)

Esta equação pode ser aplicada ao caso particular da secagem de uma placa plana cujas faces laterais estejam isoladas, com coeficiente de difusão constante, tendo como condição inicial, umidade uniforme em toda a placa, e como condições de contorno, taxa de evaporação nula no centro da placa e umidade de equilíbrio na superfície:

Condição inicial: $u(x, 0) = u_i$

Condição de contorno $u(l/2, t) = u_e$ e $\frac{\partial u}{\partial x}(0, t) = 0$

Onde:

u_e = umidade de equilíbrio do material ($\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgsólido}$)

u_i = umidade inicial do material ($\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgsólido}$)

l = espessura do material (m)

t = tempo (s)

Se a curva de secagem apresentar o período de taxa constante, u_i será o teor de umidade crítico correspondente ao término do período a taxa constante.

A solução fornecida por Cranck (1975) para a Equação (9), sujeita às condições inicial e de contorno descritas, é dada pela Equação (10)

$$\frac{u - u_e}{u_i - u_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \cdot \exp\left(- (2n+1)^2 \frac{\pi^2 D \cdot t}{l^2}\right) \quad (10)$$

A Equação (10) para longos tempos converge rapidamente, podendo-se utilizar o primeiro termo da série como boa aproximação,

$$\frac{u - u_e}{u_i - u_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left(- \frac{\pi^2 D \cdot t}{l^2}\right) \quad (11)$$

Os valores da difusividade mássica, D , permitem um estudo quantitativo das características de secagem com relação a variáveis experimentais controladas tais como fluxo de ar e temperatura. Para baixos valores de u_e é possível desprezá-lo da equação.

O comportamento da transferência de umidade na secagem de sólidos alimentícios normalmente não satisfaz as simplificações assumidas na solução da segunda lei de Fick; o sólido tem uma estrutura celular heterogênea, a transferência não é unidimensional, a difusão pode ocorrer sobre vários mecanismos (na fase gasosa, e/ou líquida, em pontos de várias dimensões), a temperatura do alimento aumenta durante o processo e ocorre o encolhimento com evaporação da água (Lima, 2001). Para representar este afastamento das suposições iniciais, é comum, e, às vezes, suficiente, substituir a difusividade, por um coeficiente de difusão efetivo, Def , a ser determinado experimentalmente, pelo ajuste aos dados da Equação (11).

3.3.Desidratação

3.3.1 Desidratação osmótica

Em vegetais frescos, a perda de água é parcialmente induzida pela osmose através da membrana semipermeável da célula, considerando que a integridade da membrana seja preservada. O mecanismo osmótico, o qual é responsável por elevada perda de água com uma margem de ganho de soluto dá origem ao termo desidratação osmótica, também considerada como um pré-tratamento a ser introduzido em operações de processamento convencionais de frutas e vegetais (Raoult-Wack, 1992).

Outro método de desidratação que está sendo muito usado é a desidratação por adição de agentes osmóticos. Esse método tem sido geralmente aplicado para frutas e vegetais (Ponting et al., 1966) e, mais recentemente, para carne e peixe (Collignan et al., 1994), e também para géis tais como géis Agar (Raoult et al., 1991).

O princípio do processo, demonstrado pela Figura 3.3 é a imersão dos alimentos em soluções com atividade de água inferior àquele do produto que está sendo desidratado. São utilizados soluções de açúcar ou sal dando origem a dois fluxos simultâneos e em contracorrente.

- (1) Difusão de água do alimento para a solução; e
- (2) Difusão do soluto (sal ou açúcar) da solução de desidratação para o alimento (Karel (1975) citado por Silva, 1998).

Estas transferências são ilustradas na Figura 3.3.

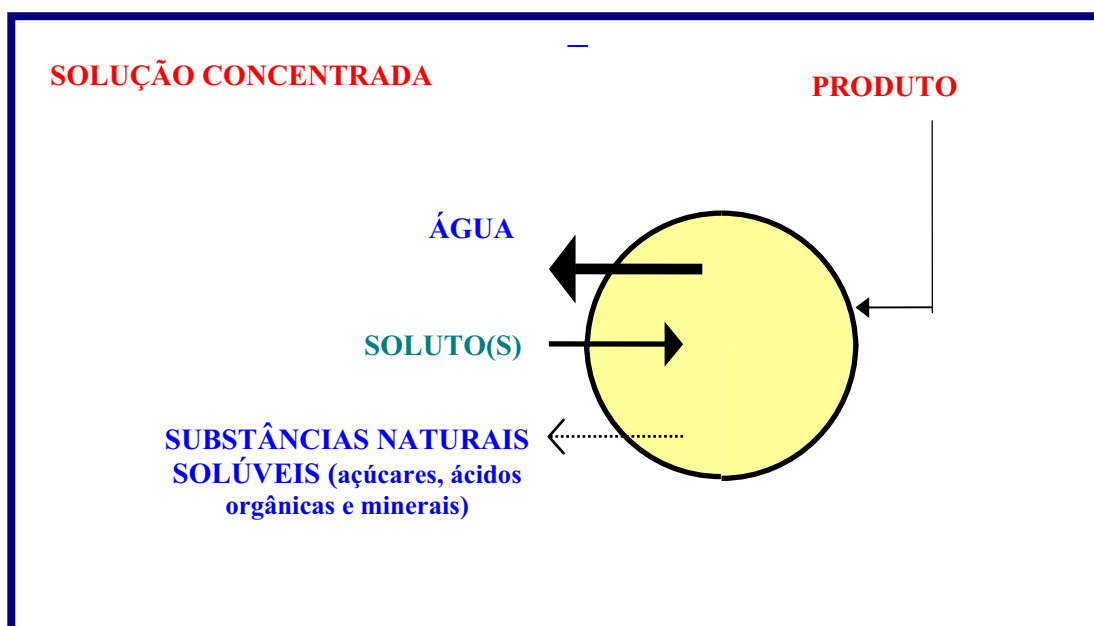


Figura 3.3. Esquema representando o transporte de massa durante o processo de desidratação osmótica

O escoamento do soluto natural (açúcares, ácidos orgânicos e minerais, etc) da fruta para a solução de desidratação é quantitativamente omitida, mas pode ser importante para a sua qualidade (Ponting, 1973; Lerici et al, 1985).

Entretanto, a desidratação osmótica realiza uma dupla transformação no alimento: a redução no teor de água e a incorporação do soluto, o qual pode resultar em uma redução de peso (Torreggiani, 1993).

Alguns xaropes osmóticos não podem migrar ativamente para dentro da célula, mas podem simplesmente penetrar dentro dos espaços intercelulares, por causa da modificação da permeabilidade e seletividade da estrutura do tecido, devido às condições de estocagem, maturidade ou ainda, pré-tratamentos químicos ou calor (Torreggiani, 1993).

Ao contrário das técnicas tradicionais de impregnação, como a salga de queijos, peixe ou carne defumada e a cristalização, que promove a impregnação do soluto e limita a perda de água, a desidratação osmótica geralmente envolve significativa remoção da mesma (40-70g de água são perdidas por 100g de produto inicial) com incorporação de soluto controlada e limitada (5-25g de soluto são ganhos por 100g de produto inicial). Isto pode ser, conseguido pelo uso de soluções bastante concentradas (50-75g de soluto por 100g de solução). De acordo com as condições de operações usadas para frutas e vegetais, tais como, pequenos pedaços de alimentos (1 ou 2 cm³), temperatura 30-50°C e pressão atmosférica, a transferência de massa ocorre, principalmente, durante as duas primeiras horas para a perda de água e durante os trinta primeiros minutos para o ganho de açúcar. A partir daí, a velocidade de transferência torna-se progressivamente lenta até estacionar a perda de água, enquanto que o ganho de soluto continua a aumentar até chegar ao equilíbrio (Raoult-Wack, 1992).

O interesse da pré-secagem do alimento, especialmente frutas e vegetais, pelo tratamento osmótico, seguido da secagem tem aumentado (Jayaraman et al, 1990; Rahman & Lamb, 1990; Torreggiani, 1993; Karathanos & Kostaropoulos, 1995; Lenart, 1996). A tendência de usar a desidratação osmótica em tratamentos preliminares não é apenas para remoção de água e diminuição de tempo de secagem, mas principalmente para melhorar a qualidade do produto. O pré-tratamento minimiza a mudança de textura quando comparado com a secagem a ar sem o pré-tratamento. A presença do soluto introduzido durante a desidratação osmótica tem um efeito protetor sobre a estrutura natural da superfície do alimento, limitando com isso o rompimento das células durante a secagem e melhorando também a sua reidratação (Raoult-Wack, 1994; Karathanos & Kostaropoulos, 1995; Lenart, 1996).

Zolulevich & Chumak (1974) descrevem a desidratação osmótica em solução salina de batata e outros vegetais. Os autores relatam que devido ao baixo peso molecular, o NaCl em solução desenvolve um alto potencial osmótico mesmo à baixas concentrações, penetrando na parede vegetal do produto por difusão. A desidratação de batata foi testada com concentrações de NaCl de 6,15% - 15,4% por 1-1,5 h, à 20^o - 50^oC. A maior taxa de desidratação foi observada em baixas concentrações de sal (8-10 %). Na temperatura de

50⁰ C o vegetal sofreu alterações no sabor. O produto final considerado ótimo foi processado nas concentrações de 2,3 - 3,8% de NaCl por 1 h à 20⁰C.

Biswal et al. (1991) estudaram a desidratação osmótica de feijão verde como uma etapa intermediária no congelamento deste vegetal. Foram utilizadas concentrações salinas de 5,10 e 17% em peso, e temperaturas de 8, 20 e 40⁰C. O feijão verde pré-tratado em solução 10% NaCl à 20⁰C por 30 minutos e liofilizado, foi o produto que apresentou melhor qualidade, tendo sido avaliado os atributos cor, textura, sabor, odor e aparência.

Baroni (1997) estudou a desidratação osmótica de pedaços de cebola em soluções salinas de 10-15%, em três níveis de temperatura (40, 50 e 60⁰C), como pré-tratamento para a secagem em ar quente e para o congelamento, visando verificar a influência da temperatura e concentração da solução na cinética de desidratação. O pré-tratamento osmótico mostrou ser eficiente na redução do tempo de secagem, no caso da cebola desidratada em solução salina de 10%, e a temperatura de 60⁰C demonstrou ser a mais adequada, pois acelerou o processo e não causou danos sensoriais ao produto obtido. Com relação a cor os produtos pré-tratados e secos se aproximaram mais da cebola *in natura* que os não tratados.

Alguns autores observaram que o ganho de sacarose durante a desidratação osmótica aumentava a estabilidade dos pigmentos das frutas durante a secagem e a estocagem, limitando ou evitando o uso de SO₂ (Ponting, 1966; Torreggiani, 1993; Welti et al., 1995).

Islam & Flink (1982) utilizaram a desidratação osmótica de batatas em soluções de sacarose - sal, como pré-tratamento para secagem solar. Foi observado que a resistência à remoção de umidade durante a secagem, foi maior no produto pré-processado do que no "*in natura*", porém a batata desidratada osmoticamente apresentou menor escurecimento enzimático, melhor textura e aroma igual ao produto sem pré-tratamento. A retenção de ácido ascórbico após o processamento foi semelhante aos produtos desidratados comercializados.

Jayaraman et al. (1990) em seu estudo com couve-flor, utilizaram no pré-tratamento solução de sacarose e sal, e, observaram que a parede celular e suas células permaneceram intactas. A espessura e a aparência da parede celular se mostraram similares a da parede fresca, além de reduzir o encolhimento do produto durante a secagem. Na couve-flor não tratada submetida à secagem, ocorreu a ruptura da parede celular e perda da integridade das células. O tratamento osmótico melhorou também o ganho de água durante a reidratação.

Welti et al. (1995) em seu estudo com mangas observaram que o aumento na concentração de sacarose ou redução na atividade de água (a_w) das fatias das frutas diminuía o transporte de umidade durante a secagem a ar. Verificando entretanto, que o tempo de

secagem necessário para as amostras tratadas osmoticamente alcançarem o mesmo teor de umidade que amostras *in natura* alcançariam durante a secagem era significativamente menor. Esses resultados foram atribuídos ao menor teor de umidade das mangas desidratadas osmoticamente antes da secagem. Os autores não observaram período de taxa constante durante a secagem das mangas.

Rahaman & Lamb, 1990; Karathanos e Kostaropoulos, 1995; Vergara et al., 1997; Islam & Flink, 1982 observaram que o aumento da quantidade de sólidos iniciais (redução da a_w inicial) provoca uma maior resistência para a eliminação da água, diminuindo assim a taxa de secagem.

Lewick et al. (1998) estudaram o efeito do pré-tratamento osmótico com uma solução de 61,5% de sacarose à 60°C por 1h, sobre a cinética de secagem de cebolas. A secagem foi realizada à 60°C com velocidade do ar de 2 m/s. O produto final apresentou cerca de 50% de umidade. O efeito do pré-tratamento osmótico sobre a taxa de secagem foi devido ao aumento da quantidade de massa seca e mudanças nas propriedades físicas da cebola.

Azoubel & Murr (2000) investigaram a cinética da perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de tomates cereja, usando como parâmetros tipos de agentes osmóticos e concentração da solução, baseando-se no modelo da segunda Lei de Fick aplicada para geometria esférica. Os resultados mostraram que a perda de umidade e o ganho de sólidos estão relacionados diretamente com a concentração da solução. Quando foi utilizada uma solução osmótica contendo a mistura de NaCl-sacarose para a desidratação osmótica, estas taxas diminuam.

Saputra (2001) estudou os efeitos de tipos de açúcar (glicose e frutose), concentração, tempo de imersão e temperatura na transferência de massa em rodela de abacaxi desidratadas osmoticamente. Concluíram que a sacarose foi o agente osmótico mais eficiente, obtendo uma maior perda de água e reduzindo o ganho de sólidos. Foi observado que a imersão de rodela de abacaxi em uma solução osmótica com 70% de sacarose à temperatura de 50°C durante 9h promove uma elevada transferência de massa.

Goulate et al. (2000) avaliaram as características físicas, químicas e sensoriais em maçãs, cv Fuji, na forma de palitos concentrados osmoticamente. A concentração osmótica foi com soluções a 50% de sacarose, maltodextrina de milho e glicose de milho. Análises físico-químicas, aceitação pelo consumidor e rendimento foram realizadas na matéria prima e no produto final. A avaliação estatística dos dados seguiu o delineamento ao acaso, com médias submetidas a comparações múltiplas através do teste de Duncan ao nível de

5% de probabilidade. Os agentes osmóticos passaram a fazer parte da composição dos produtos desidratados, alterando as características físicas e químicas em ambos os estados de maturação, maduros e super maduros. O rendimento melhorou nos três tratamentos, sendo o melhor com sacarose que, também, resultou na preferência dos consumidores independente dos estados de maturação das maçãs.

Azeredo & Jardim (2000) otimizaram o processo de desidratação osmótica de abacaxi, visando a obtenção de um produto com máxima perda de água e mínima incorporação de sólidos. O processo foi aplicado a Tecnologia de Métodos Combinados, em que a redução na atividade de água foi combinada com a redução no pH e uso de conservantes, todos aplicados em baixos níveis, a fim de se obter um produto similar a fruta fresca. O produto obtido sob condições otimizadas foi submetido a avaliação sensorial, tendo apresentado boa aceitação geral. Uma análise microbiológica do produto, feita através da contagem de bolores e leveduras, mostrou boa estabilidade do produto por pelo menos 60 dias à 30°C.

3.3.2 Modelagem na desidratação

A modelagem na desidratação osmótica é complexa pois envolve fluxos de soluções concentradas em contra-corrente. O processo envolve difusão molecular e escoamento do soluto, além de uma possível resistência externa à transferência de massa (Cussler, 1997 citado por Igarashi, 1999).

Vários autores utilizaram a modelagem da lei de Difusão de Fick para ajustar os seus dados experimentais, como no caso de Berinstain et al. (1990) em seu estudo com rodela de abacaxi utilizando a sacarose como agente osmótico. O modelo assume que a difusão permanece constante com o tempo e depende apenas da concentração inicial da solução osmótica e temperatura. O modelo obtido ajustou-se adequadamente aos dados experimentais, mais foram encontrados desvios consideráveis em algumas soluções. Isso pode ser explicado pelo fato da equação ser deduzida para um sistema agitado, e nos experimentos realizados não houve qualquer tipo de agitação, o que pode ter introduzido uma resistência adicional ao modelo.

Mauro & Menegalli (1995) citado por Igarashi (1999) avaliaram o coeficiente de difusão efetivo para a perda de água e aumento na quantidade de sacarose em fatias de banana através da lei de Fick aplicada a um corpo bidimensional. A solução da equação de difusão foi obtida pela combinação da solução analítica para um plano com espessura L e um cilindro infinito de raio r .

Em *blueberries* submetidas à desidratação osmótica com solução de sacarose modelada através da lei de Fick, foi encontrada uma difusividade efetiva para a perda de água maior do que para o ganho de sólidos. Ambos apresentaram a tendência de aumento com a temperatura e a concentração de sacarose, e, poderiam ser modeladas como uma função quadrática da temperatura e concentração (Nsonzi & Ramaswamy, 1998).

Biswal & Bozorgmehr (1992) desenvolveram um modelo para soluções contendo dois solutos aplicando-o em anéis de maçãs, e Santos (1998) utilizou o mesmo modelo para aplicar em anéis de cebola. Neste modelo foram usadas como soluções osmóticas misturas de sacarose e cloreto de sódio. Definiu-se duas variáveis dependentes para a concentração, a perda de umidade e a incorporação da mistura cloreto de sódio e sacarose. Os parâmetros necessários para o modelo foram desenvolvidos numa faixa de temperatura de 20 – 50°C e a composição da solução osmótica foi mantida em 50% de sólidos totais. Esses parâmetros são funções das concentrações dos solutos na solução osmótica e da temperatura de contato.

3.3.3 Desidratação de tomates

A secagem do tomate tem sido um desafio devido ao teor de umidade alto, próximo a 95%, e a sua característica estrutural peculiar. A secagem de tomate *in natura* deve ser realizada a temperaturas inferiores à 65°C a fim de preservar a cor e o sabor, o que torna o processo demorado exigindo um tempo superior à 10h para se atingir uma umidade final inferior a 8%, necessária para um armazenamento adequado (Pena, 1999).

Kaufman et al. (1955) desenvolveram procedimentos de secagem à vácuo para a produção de suco de tomate desidratado, partindo da pasta de alta densidade (30% de sólidos) obtida da forma direta ou utilizando a secagem split, na qual o soro e a polpa são secos separadamente e depois recombinados. Foram adicionadas pequenas quantidades de bissulfito de sódio e temperaturas de secagem variando de 65,6°C até 87,8°C com tempos de secagem de 2,5h a 1h, para atingir um conteúdo final de 3%.

Lazar et al. (1956) obtiveram pó de tomate usando uma modificação de secagem spray. O pó obtido apresentou 2% de umidade final após 2h de secagem. Metabissulfito de sódio e NaCl foram adicionados para auxiliar a secagem e evitar a tendência de agregação do produto. No entanto, o produto final reteve menor aroma e não se reconstituiu facilmente em água, o que o tornou pouco atrativo para uso em bebidas. Os pós produzidos pelo processo citado acima apresentam cor, aroma e consistência aceitável.

Devido a natureza higroscópica e termoplástica que a pasta e o pó de tomate possuem, e devido aos inconvenientes gerados pelos mesmos, Karatas & Essin (1990) instalaram um par de lâminas rotatórias para raspar o pó aderido dentro da câmara do spray dryer, e o uso do NaCl e amido possibilitou uma alimentação de menor densidade (15% de sólidos), obtendo produtos de melhor qualidade.

A secagem solar de fatias de tomates tem sido praticada em muitos países mediterrâneos, como a Itália, estendendo-se para Índia e a zona oeste da África. No entanto, cores escuras e a fracas reconstituições são problemas freqüentes, além da contaminação por microrganismos (Olorunda et al., 1990).

Bassouoni et al. (1982); Gupta & Nath (1984), Olorunda et al. (1990) e Betchlufft et al. (1996) procuraram melhorar a qualidade da secagem de tomates em fatias fazendo uso de tratamentos pré-secagem como o branqueamento em salmoura ou água fervente obtendo-se tempos de secagem menores e com melhor nível de reconstituição.

Medeiros et al. (2001) realizaram experimentos de secagem de fatias de tomates com pré-desidratação osmótica e verificaram que este pré-tratamento acelera o processo de secagem posterior em estufa com circulação de ar.

Shidu et al. (1995) trabalharam com tomates sem pele e cortados ao meio. Os tomates foram mergulhados em solução de CaCl_2 , 1%, por 20 minutos e, em seguida, tratadas com solução de sacarose 40 ou 50% a 30, 40 e 50°C por 2, 3 e 4 horas. Avaliaram a perda de umidade, o ganho de sólidos e a cor. Não observaram efeitos da temperatura e do tempo de imersão sobre a cor, porém verificaram o aumento das outras variáveis submetidas à avaliação. Os tomates osmoticamente desidratados atingiram umidade de 18%.

Shi et al. (1997) trataram a pele do tomate inteiro, a fim de aumentar a sua permeabilidade à água, e em seguida o submeteram a desidratação osmótica com uma solução de açúcar (65°Brix) na proporção amostra: solução de 1:10 a 25°C, durante 6h. Os tratamentos utilizados para a pele do tomate foram: tratamento químico, tratamento físico e pelagem em água fervente. Comparando-os, chegou-se a conclusão de que o tratamento físico, onde a pele do tomate foi perfurada por um conjunto de agulhas, foi o que apresentou melhores resultados em termos de perda de água, ganho de açúcar e cor, e, além disso, esse processo não deixava nenhum resíduo químico.

3.4. Alimentos com teor de umidade intermediária (AIU)

O controle da atividade de água em alimentos adquire cada dia maior importância, pela enorme influência que esta propriedade tem na previsão da estabilidade de um produto frente a alterações causadas por agentes químicos, enzimáticos ou microbiológicos (Guarda & Alvarez, 1991).

Kaplow (1970) citado por Benmergui et al., (1979) define um alimento de atividade de água intermediária como sendo aquele que tem umidade suficiente para ser consumido sem uma reidratação e também apresenta estabilidade sem processamento térmico ou refrigeração. A estabilidade e qualidade de um produto de atividade de água intermediária são conseguidas pelo abaixamento de atividade de água do produto através da adição de um agente antimicrobiano específico e pela adição de um agente químico específico que previne ou reduz a deterioração química durante a estocagem. Os produtos de atividade de água intermediários usualmente têm um conteúdo de umidade na faixa de 25-50% (peso seco) e atividade de água na faixa de 0,70-0,90.

Os produtos de alimentos de atividade de água intermediária em geral, e os produtos de frutas de atividade de água intermediária em particular são desenvolvidos com a intenção de preservar suas qualidades características como textura e aroma tão próximo quanto possível das frutas frescas (Levi et al., 1983).

Os produtos tropicais de atividade de água intermediária parecem ter um mercado em potencial. Levi et al. (1983) mostraram que para o mamão, os produtos de atividade de água intermediária podem ser produzidos por um método simples de processamento, com uma boa aceitação da qualidade e uma razoável estabilidade de estocagem nas condições ambientais. Quando usaram o pré-tratamento de branqueamento/secagem osmótico, o tempo e a temperatura de secagem de produto de atividade de água intermediária foram mais curtos. A secagem solar direta de pedaços de mamão também foi reduzida de vários dias para várias horas após o tratamento acima.

Tanto a secagem convencional como as secagens osmóticas foram estudadas como métodos para a preparação de produtos de frutas totalmente secos e de atividade de água intermediária. Encontrou-se que a quantidade de água removida durante a desidratação osmótica, de algumas frutas tropicais, aumentava com o aumento da concentração de sacarose no xarope, e esta desidratação foi ainda favorecida com a acidificação de um xarope concentrado (60%). Estes pesquisadores presumiram que a combinação de ácido e sacarose aumentava a remoção de umidade e a penetração de açúcar no mamão, pela inibição da gelatinização das pectinas (Moy et al. (1978) citado por Levi et al. (1983). Levi et al. (1980)

encontraram que um pequeno aquecimento e um tratamento com SO₂ causava um aumento na velocidade de remoção de água (velocidade de secagem) durante a secagem de banana em estufa.

Durante a desidratação de alimento sólido ocorrem dois efeitos, a transferência de calor e a transferência de massa, portanto a rapidez de qualquer processo de secagem dependerá de tais transferências. Saltos & Robalino (1991), estudaram a pré-concentração osmótica de pedaços de abacaxi e mamão variando a temperatura (40°-60°C) do agente osmótico e a concentração (50-70°Brix) do xarope, com o propósito de determinar a influência destes fatores sobre os coeficientes de transferência de calor e massa. Para o abacaxi a transferência de calor foi influenciada pela concentração do xarope, o aumento da mesma aumentou a coeficiente transferência de calor, já o mamão não apresentou efeito significativo do coeficiente de transferência de calor com a variação da concentração do xarope e da temperatura. Com relação a transferência de massa tanto para o abacaxi quanto para o mamão apenas a temperatura apresentou um efeito significativo, a diminuição da temperatura aumentou a transferência de massa.

Abugoch & Guarda (1991) estudaram a perda do ácido ascórbico total em rodela de kiwi durante a desidratação osmótica, à 20°, 30° e 40°C e encontraram que a maior perda se dava à 40°C, por isso sugeriram usar no processamento temperaturas mais baixas.

3.5. Alterações provocadas pela desidratação

Das alterações mais importantes podemos mencionar as relacionadas com o valor nutritivo e propriedades sensoriais (cor, sabor, aroma, etc.).

O alimento seco perde um certo teor de umidade, contribuindo para um aumento na concentração dos nutrientes por unidade de peso, comparado com o produto fresco. Quando reconstituído ou reidratado, assemelha-se bastante ao produto natural, mas nunca chegando a igualar-se por causa das perdas de certos constituintes, principalmente, as *vitaminas*. Espera-se que as vitaminas solúveis em água sejam parcialmente oxidadas. A destruição das vitaminas dependerá, entre outros, do cuidado na preparação do produto para secagem, do processo de secagem selecionado, do cuidado na sua execução e das condições de armazenamento do produto seco segundo Gava (1984).

As frutas podem ser secas ao sol, artificialmente, ou com a combinação dos dois métodos. A secagem ao sol afeta bastante o teor de caroteno e o teor de vitamina C. A retenção de vitaminas nos alimentos desidratados artificialmente é, geralmente, superior à dos alimentos secos ao sol (Gava, 1984).

Quanto às proteínas, as perdas do valor biológico dependem dos métodos de secagem utilizada. As exposições prolongadas a altas temperaturas podem afetar as proteínas, enquanto que os tratamentos a baixas temperaturas podem aumentar a digestibilidade das mesmas.

Outro aspecto importante é a influência da desidratação sobre os microrganismos e enzimas. Neste caso a retirada da água é um método de controle do crescimento microbiano, já que estes necessitam de água disponível para desenvolver suas atividades metabólicas. Muitos tipos de microrganismos podem ser isolados dos alimentos desidratados, principalmente, quando a matéria prima utilizada é de baixa qualidade ou quando não são seguidas boas práticas de produção durante as diferentes etapas de processamento. O comportamento dos microrganismos frente à atividade de água (a_w) é extremamente variável, de modo geral, as bactérias são mais exigentes, quanto à disponibilidade de água livre, do que os bolores e leveduras, sendo que a maioria das espécies deterioradoras não cresce em meios com a_w inferior a 0,91 segundo Jay, (1970); Scott, (1975); Frazier & Westhoff (1978) citados por Silva (1998).

Para atividades de água abaixo de 0,60 não há menção de crescimento de qualquer tipo de microrganismo, sendo o alimento microbiologicamente estável. Desta forma, existem valores mínimos de a_w , na qual há desenvolvimento de diferentes espécies ou grupos de bactérias, bolores e leveduras, tanto deterioradoras como patogênicas. No entanto, além da importância como deteriorantes muitas espécies de bolores são produtoras de micotoxinas, razão pela qual é crítico o controle destes microrganismos em alimentos com baixa a_w (Scott, 1975, citado por Silva, 1998).

A atividade de água (a_w) limitante para o crescimento das diferentes espécies de microrganismos poderá variar em função da natureza do soluto empregado para a sua redução, bem como a temperatura, pH, potencial de óxido-redução e nutrientes disponíveis. De um modo geral, quando os fatores intrínsecos e extrínsecos afastam-se das condições ótimas para o crescimento de uma determinada espécie, a sua resistência a ambientes com baixa a_w decresce, ou seja, a a_w mínima sofre um sensível aumento dificultando ainda mais seu crescimento.

3.6. Estabilidade dos alimentos desidratados durante o armazenamento

Entre as considerações a serem feitas na prevenção da deterioração fúngica de alimentos desidratados, uma das mais importantes é, sem dúvida, a umidade relativa do ambiente de armazenamento. Se a embalagem não for adequada e a umidade relativa for elevada, o produto absorverá umidade da atmosfera até que o equilíbrio seja estabelecido. Portanto, a deterioração da superfície será inevitável com o crescimento característico de bolores, devido a suas necessidades de oxigênio. Os alimentos desidratados podem sofrer alterações de natureza química, ainda que não ocorra o crescimento fúngico, durante o armazenamento. Nos alimentos desidratados com alto teor de lipídios, a rancificação oxidativa é a forma mais comum de deterioração química; nos alimentos com açúcares redutores ocorre o escurecimento não enzimático ou reação de Maillard, visível devido à alteração na cor. Em algumas frutas e vegetais mais sensíveis a essa deterioração também se verifica o desenvolvimento de sabor amargo (Franco et al., 1996).

Outro fator importante com relação a atividade de água é a influência da temperatura; a energia de ativação das reações de escurecimento não enzimático aumenta a medida que a a_w diminui, o que contribui para retardar as reações à baixas atividades.

Como na oxidação de lipídios, o fator limitante da conservação dos alimentos desidratados é, freqüentemente, o escurecimento não enzimático, em particular nos alimentos de conteúdo intermediário em água. Esta reação de deterioração também se origina durante as operações de desidratação, o que obriga a ultrapassar a zona crítica o mais rapidamente possível a uma temperatura mínima (Cheftel & Cheftel, 1976).

O estudo do escurecimento não enzimático que ocorre em alimentos desidratados, durante a secagem e estocagem, é de grande importância devido a perda do valor nutritivo das proteínas envolvida na reação com açúcares redutores. No entanto, deve-se levar em conta que o processo de desidratação é responsável pela maior parte dessas perdas, quando comparadas com aquelas relativas à estocagem. Isto se deve às próprias condições de processo, onde o calor fornecido é responsável pela degradação parcial das proteínas, além de dar início à reação destas com os açúcares redutores. Durante a estocagem, essas reações também ocorrem, porém guiadas por outros fatores, como a a_w e a temperatura de estocagem (Labuza, 1972).

Segundo Karel (1975) citado por Silva (1998), a água afeta a oxidação de lipídios e de outras reações em que radicais livres se fazem presentes. O aumento da concentração de água no sistema diminui a taxa de reação até a faixa dos alimentos com teor intermediário de umidade.

A oxidação dos lipídios inclui reações muito rápidas, e assim a adição de antioxidantes ou uma elevação do teor em água pode modificar os resultados e fazer com que a estabilidade dependa de outras reações de deterioração, em particular do escurecimento não enzimático como é o caso de alimentos que contenham açúcares redutores (Cheftel & Cheftel, 1976).

À medida que a concentração de água aumenta, cresce a mobilidade dos reagentes e aumenta a possibilidade de difusão de metais catalisadores de oxidação. Como consequência, cresce a taxa de oxidação.

Nesse sentido, a composição da matéria graxa vem a ser o principal fator que rege a oxidação de lipídios; a presença de ácidos graxos insaturados é de primária importância no desenvolvimento da rancidez, porque são muito sensíveis ao ataque pelo oxigênio (Labuza, 1970).

O desenvolvimento microbiano em alimentos é muito mais estudado do que a atividade enzimática, visto ser diretamente relacionado com a sua preservação. Sabe-se, que, para evitar deteriorações de origem microbiana nos produtos alimentícios desidratados, é necessário a redução da atividade enzimática.

Capítulo 4

Metodología

4. Metodologia Experimental

4.1 Matéria prima

A matéria prima usada neste estudo foi o tomate, variedade Longa Vida da espécie industrial *Lycopersicum esculentum*, selecionado pelo grau de maturação (estabelecido visualmente), correspondente a um teor de sólidos solúveis entre 4 e 6 °Brix, para garantir uma melhor uniformidade da matéria prima.

Os tomates foram adquiridos no mercado *Mãe Terra*, provenientes de Parasinho, interior do Rio Grande do Norte.

4.2 Preparação da solução osmótica

A solução osmótica foi preparada utilizando-se água destilada, sacarose comercial e cloreto de sódio, adquiridos no mercado local, em proporções pré definidas e o pH da solução foi ajustado na faixa de 4 e 5 pela adição de ácido cítrico. Foi necessário também, a adição de metabissulfito de sódio e cloreto de cálcio nas concentrações de 200 ppm.

4.3 Processamento

Fluxograma básico do processamento do tomate desidratado com pré-tratamento osmótico é mostrado na Figura 4.1.

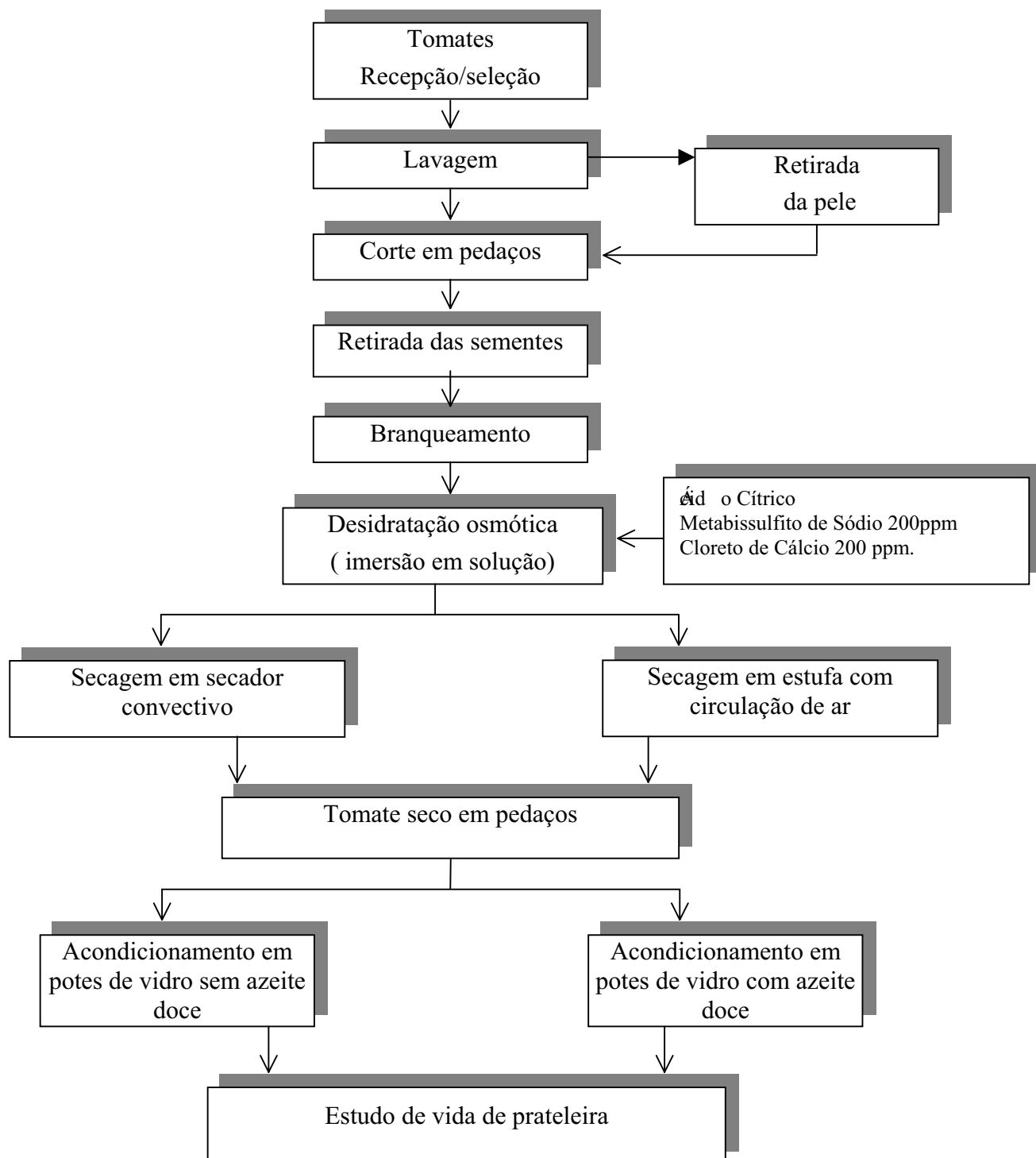


Figura 4.1: Fluxograma básico do processamento de desidratação com pré-tratamento osmótico

4.3.1 Seleção e preparação da matéria prima

Selecionou-se os tomates que não apresentavam doenças ou apodrecimentos. Em seguida, foram lavados em água corrente e cortados manualmente nas direções axial e/ou radial, isto é, em oito partes com formas e tamanhos semelhantes e retiradas as sementes.

Os tomates apresentavam cor vermelha intensa, sinal de amadurecimento completo, textura firme, boa qualidade e aparência.

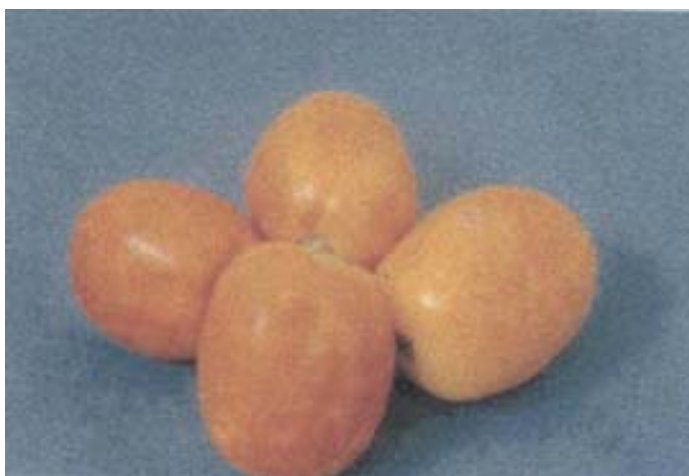


Figura 4.2: Tomates inteiros com pele



Figura 4.3: Tomates em pedaços com pele

4.3.2 Retirada da pele

Durante a pesquisa trabalhou-se com tomates com pele e sem pele. Para retirada da pele dos tomates, após a seleção e lavagem os mesmos foram mergulhados em solução de NaOH (3%), em ebulição por um minuto, até rachar as peles, e em seguida foram lavados em água corrente à temperatura ambiente.



Figura 4.4: Tomates inteiros sem pele



Figura 4.5: Tomates em pedaços sem pele

4.3.3 Branqueamento

Os tomates, preparados de acordo com o item 4.3.1, foram branqueados em vapor de água, por aproximadamente, 5 minutos, seguido de resfriamento em água corrente à temperatura ambiente.

4.3.4 Desidratação osmótica

Após o branqueamento, cerca de 1.000g dos tomates em pedaços foram colocados em um cesto perfurado imersos em 4.000 mL de solução osmótica com concentração, temperatura e tempo de imersão definidos. A circulação da solução foi realizada através de agitação mecânica e a temperatura foi controlada por uma chapa de aquecimento como mostrado na Figura 4.6. A proporção solução osmótica/tomate foi 4:1.

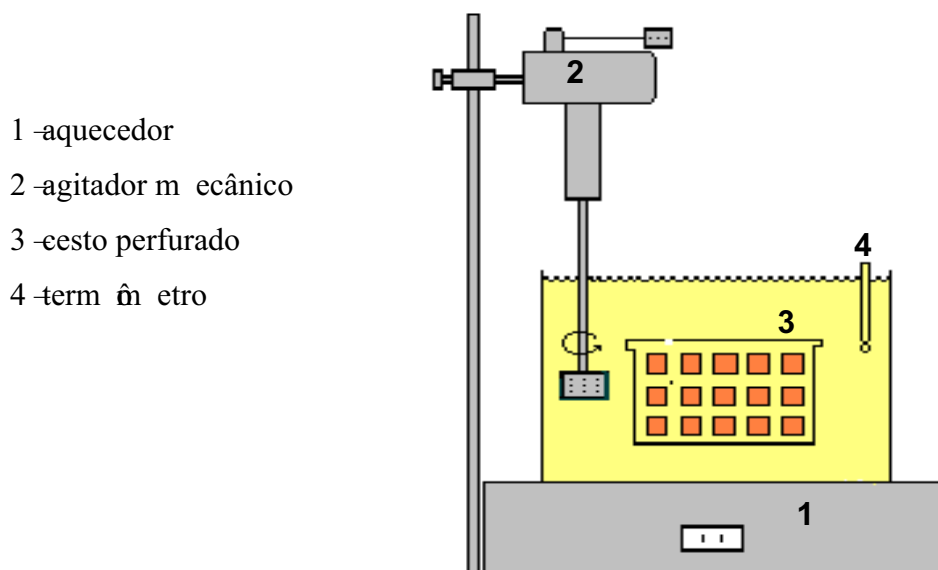


Figura 4.6: Equipamento utilizado na desidratação osmótica

4.3.5 Secagem

Após a desidratação osmótica, os tomates em pedaços foram colocados em bandejas perfuradas e levados a um secador convectivo e/ou estufa com circulação de ar, para o processamento de secagem final. Os experimentos foram realizados às temperaturas de 50 e 60°C e vazão de ar constante, correspondente a uma velocidade média de 0,087 m/s, tanto no secador convectivo como na estufa.

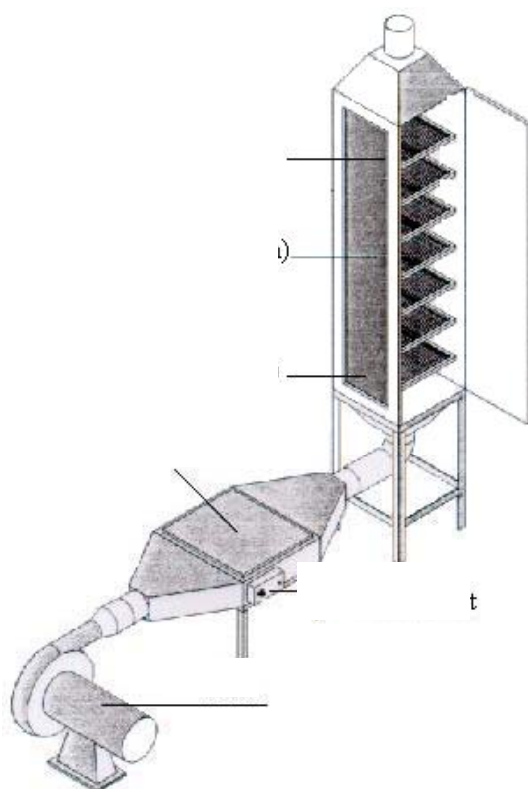


Figura 4.7 Secador convectivo de bandejas

O secador utilizado, conforme pode ser visto na Figura 4.7, é composto de uma caixa retangular construída de madeira e revestida de alumínio, com abertura nas extremidades inferior e superior onde era acoplado uma tubulação de PVC para direcionar a entrada e saída, respectivamente, do ar quente. O ar é fornecida ao sistema através de um soprador de 4 cv, é aquecido previamente ao passar pelo trocador de calor, que consta de um grupo de três resistências (1000, 500 e 250W), que podem ser ligadas em conjunto ou separadamente, aquecendo o ar, na temperatura previamente selecionada e controlada por um controlador de temperatura. O controlador encontra-se interligado ao sistema de aquecimento

por meio de um sensor. A temperatura do ar na entrada do secador é medida com termopar digital, enquanto as medidas de velocidade são efetuadas na saída do secador com anemômetro digital. Medidas de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar na saída do secador, são efetuadas através de um termohigrômetro digital.

A estufa empregada nos ensaios de secagem, possui circulação ascendente de ar, com velocidade superficial média estimada em 0,01 m/s.

4.3.6 Acondicionamento

Os tomates após a secagem foram acondicionados em potes de vidros de 500 mL, sem e com azeite de oliva e fechados hermeticamente.

4.4 Condições de processamento

4.4.1 Desidratação osmótica

No processamento foram estudadas as seguintes condições:

Tabela 4.1. Composições da solução osmótica

NaCl (%)	Sacarose (%)
5	25
5	35
10	25
10	35

- Tempos de imersão: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 e 360 minutos
- Temperatura da solução osmótica: 30, 40, 50 e 60°C

4.4.2 Variáveis estudadas

Para cada condição de processamento da desidratação osmótica foram determinadas: tempo de osmose (t), perda de umidade (PU), ganho de sólidos solúveis (GS) e redução de peso (RP). Esses parâmetros serão calculados usando as equações abaixo, segundo LEVI *et al.* (1983) baseados nos resultados obtidos apresentados no item 4.5.1.

$$PU. = \frac{M_0 \cdot X_0 - M_f \cdot X_f}{M_0} \quad (12)$$

$$G.S. = \frac{M_f \cdot Y_f - M_0 \cdot Y_0}{M_0} \quad (13)$$

$$R.P. = \frac{M_0 - M_f}{M_0} \cdot 100 \quad (14)$$

M_0 = Peso inicial

M_f = Peso final

X_0 = Umidade inicial

X_f = Umidade final

Y_0 = Sólidos solúveis inicial

Y_f = Sólidos solúveis final

4.4.3 Ensaios de secagem do tomate

4.4.3.1 Condições operacionais

Nos ensaios realizados utilizando-se o secador descrito no item 4.3.5, Oliveira et al. (2001) e Honorato et al. (2001) verificaram que as temperaturas entre 50 e 65°C favoreciam a secagem dos alimentos. Para a elaboração da cinética de secagem foram medidas as variações das temperaturas de entrada e saída e a umidade relativa, em intervalos de 2 minutos durante a primeira meia hora de secagem, após esta o intervalo foi aumentado para 30 minutos. A perda de umidade das amostras foi acompanhada pela variação do peso da bandeja,

a cada intervalo de 30 minutos, em balança semi analítica com precisão de 0,01g. Os valores obtidos foram utilizados para a construção da curva de secagem.

As condições operacionais mantidas nos ensaios de secagem, são mostradas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Condições operacionais dos ensaios de secagem

Pré-tratamento	M_{inicial} (g)	U_{inicial} (%)	U_{relativa} (%)	T (°C)
Estufa com circulação de ar				
In natura sp	381,67	94,2	20,0	50,0
In natura cp	71,70	93,9	28,3	60,3
In natura cp	49,15	94,2	30,3	49,7
Desidratado sp	784,54	75,9	14,9	62,5
Desidratado sp	961,41	75,9	34,9	51,3
Desidratado cp	202,76	72,5	28,3	60,4
Desidratado cp	42,56	64,9	30,3	49,8
Secador convectivo de bandejas				
In natura sp	247,0	94,2	23,1	49,8
In natura cp	567,84	94,2	24,6	67,1
In natura cp	193,84	92,5	29,2	53,7
Desidratado sp	927,59	75,9	20,2	59,2
Desidratado cp	182,14	68,9	19,2	66,0
Desidratado cp	168,59	76,9	20,0	53,8

4.4.3.2 Modelagem

A metodologia de cálculo empregada para o modelo difusional baseada na Segunda Lei de Fick, consistiu em linearizar a Equação (11), apresentada no item 3.2.4, na forma da Equação (15) descrita abaixo

$$\ln\left(\frac{U - U_e}{U_i - U_e}\right) = A + B \cdot t \quad (15)$$

$$B = \ln \frac{8}{\pi^2} \quad (16)$$

$$A = \frac{\pi^2 \cdot D_{ef}}{l^2} \quad e \quad B = \ln B_0$$

onde:

U = umidade do sólido no tempo t

A = coeficiente de ajuste da reta

B = coeficiente linear da reta

$$B_0 = \frac{8}{\pi^2}$$

t = tempo (s)

D_{ef} = coeficiente de difusividade efetiva (m^2/s)

l = espessura (m)

Construíram-se os gráficos do $\ln(U/U_i)$ em função do tempo, supondo-se que a unidade de equilíbrio seria zero, uma aproximação bastante razoável e muito empregada em diversos trabalhos experimentais citados na literatura, Igarashi (1999) e Romero (1999).

A partir da equação da reta ajustada aos dados experimentais, determinou-se o coeficiente de difusão através do coeficiente angular A .

Para o modelo em questão,

$$B_0 = e^B = 8/\pi^2 = 0,81$$

4.5 Métodos analíticos

4.5.1 Análises físico-químicas

Foi efetuada a caracterização físico-química dos tomates a cada etapa do processamento, ou seja, *in natura*, após a desidratação osmótica e após a secagem final, nas quais foram determinados, segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz(1985):

- pH – medido diretamente no potenciômetro DIGIMED –DMPH –2
- Acidez total titulável –expressa em ácido cítrico
- Sólidos solúveis (°Brix) – medidos em refratômetro RL-2 NR-2720
- Teor de água –determinado em estufa com circulação de ar, até peso constante
- Perda de peso –obtido diretamente usando balança semi analítica modelo BEL MARK 35545

4.5.2 Análise sensorial dos produtos

Foram analisados os atributos cor, textura, aparência, sabor e odor dos tomates desidratados, pelo método da escala Hedônica, atribuindo-se notas de um a nove. A análise estatística dos dados foi feita através da Análise de Variância. O índice de aceitabilidade (I.A.) foi calculado considerando a nota máxima como 100% e a pontuação média, em %, como sendo o Índice de Aceitabilidade. O produto é considerado aceito quando o I.A. for maior que 70% (Teixeira et al., 1987).

Utilizou-se um painel composto de 20 provadores, não treinados.

4.5.3 Análise microbiológica do produto

Foi realizada a contagem de bolores e leveduras no produto final, segundo método da A.P.H.A (Speck, 1976).

4.5.4 Estudo de vida de prateleira

O estudo de vida de prateleira do produto final foi realizado através das análises físico-químicas (4.5.1) e microbiológicas (4.5.3) a cada 15 dias, durante 45 dias.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

5. Resultados e Discussões

5.1. Caracterização da matéria prima e do produto final

A caracterização físico-química da matéria prima foi realizada em tomates *in natura* com e sem pele e os resultados são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Caracterização físico-química do tomate “*in natura*”

Parâmetros	Resultados	
	Tomates com pele	Tomates sem pele
PH	4,19	4,40
Acidez total titulável (mg Ac. Citríco/100mg)	0,37	0,23
Teor de água (%)	93,5	94,8
Sólidos solúveis (° Brix)	5,1	4,1

Os resultados apresentados na Tabela 5.1 mostraram-se coerentes com os encontrados na literatura pesquisada (Gould, 1974; Igarashi, 1999; Romero, 1999). No entanto, os tomates sem pele apresentaram valores de pH mais altos e de acidez e sólidos solúveis mais baixos, este teor de acidez maior, provavelmente, devido ao descascamento químico com NaOH.

5.2. Desidratação osmótica

5.2.1 Definição da composição da solução osmótica à 30°C

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados de Perda de Umidade (PU), Ganho de Sólidos (GS) e Redução de Peso (RP) para cada condição da desidratação osmótica, em diferentes tempos de imersão, à temperatura de 30°C.

Resultados

Tabela 5.2. Resultados de PU, GS e RP para cada condição de processamento à 30°C

Condições	T (min)	PU (%)	GS (%)	RP (%)
1 5%NaCl 25% sacarose	30	8,0	2,4	5,9
	60	12,3	3,0	9,4
	90	13,6	3,8	10,5
	120	14,0	3,6	9,4
2 5%NaCl 35% sacarose	30	10,1	7,3	3,5
	60	15,9	6,8	9,4
	90	18,3	8,3	11,8
	120	23,7	6,0	16,5
3 10%NaCl 25% sacarose	30	11,5	7,0	3,2
	60	16,3	8,9	5,8
	90	18,0	9,5	9,5
	120	20,5	9,0	8,6
4 10%NaCl 35% sacarose	30	18,2	16,4	5,8
	60	17,0	14,2	4,7
	90	20,6	12,3	9,9
	120	22,4	13,6	10,9

RP ⇒ Redução de Peso; GS ⇒ Ganho de Sólidos; PU ⇒ Perda de Umidade

Analisando-se a tabela acima se pode verificar que nos tempos de imersão de 90 e 120 minutos ocorre as maiores perdas de umidade, observando-se entretanto que estes resultados não variaram muito comparando-se as condições 2, 3 e 4. Como a condição 2 se mostrou mais adequada do ponto de vista sensorial, foi a escolhida para se estudar a influência da temperatura e do tempo de imersão.

5.2.2 Definição do tempo de imersão das fatias de tomates com e sem pele à 30°C

A Tabela 5.3 mostra os resultados referentes à caracterização das fatias de tomates com e sem pele à 30°C, em função do tempo de imersão na condição 5% NaCl e 35% sacarose.

Resultados

Tabela 5.3. Caracterização das fatias de tomates com e sem pele após a desidratação osmótica à 30°C

Tempo de Imersão (min)	PH		Sólidos solúveis (° Brix)		Teor de água (%)		Acidez (g Ac. Cítrico/100 g)	
	cp	Sp	cp	sp	cp	sp	Cp	sp
In natura	4,19	4,40	5,1	4,1	93,5	94,8	0,37	0,23
Após a desidratação osmótica								
30 min	4,19	4,40	12,9	11,0	86,5	93,7	0,37	0,23
60 min	4,15	4,32	13,1	15,2	85,6	84,3	0,34	0,26
90 min	4,16	4,24	15,4	17,3	85,3	81,4	0,40	0,31
120 min	4,16	4,09	13,4	17,2	83,6	81,1	0,39	0,26
150 min	4,06	4,09	15,2	18,4	83,1	79,5	0,45	0,27
180 min	4,05	4,21	17,3	17,4	82,8	76,9	0,47	0,25
240 min	4,21	4,45	13,3	20,4	85,4	75,5	0,42	0,15
300 min	4,21	4,44	14,8	23,1	82,9	74,4	0,46	0,11
360 min	4,27	4,37	15,0	24,1	82,5	74,1	0,41	0,12

Como pode ser observado pela Tabela 5.3 para os tomates sem pele os valores de pH e sólidos solúveis são superiores aos com pele e a medida que se aumenta o tempo de imersão estes valores, sólidos solúveis, se tornam mais elevados. Com relação a acidez e teor de água, de uma maneira geral, os resultados obtidos foram maiores para os tomates com pele.

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 mostram a variação da perda de umidade (PU), ganho de sólidos (GS) e redução de peso (RP) nos pedaços de tomates com e sem pele em diferentes tempos de imersão à 30°C.

Resultados

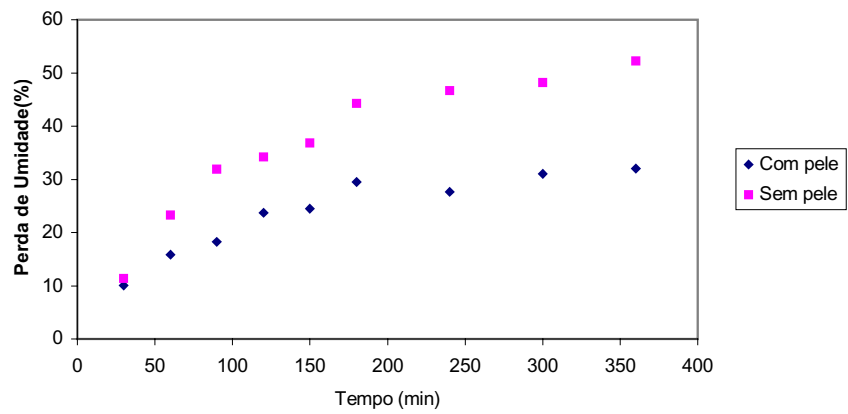


Figura 5.1 Influência do tempo de imersão na perda de umidade das fatias de tomates com e sem pele durante a desidratação osmótica a 30°C

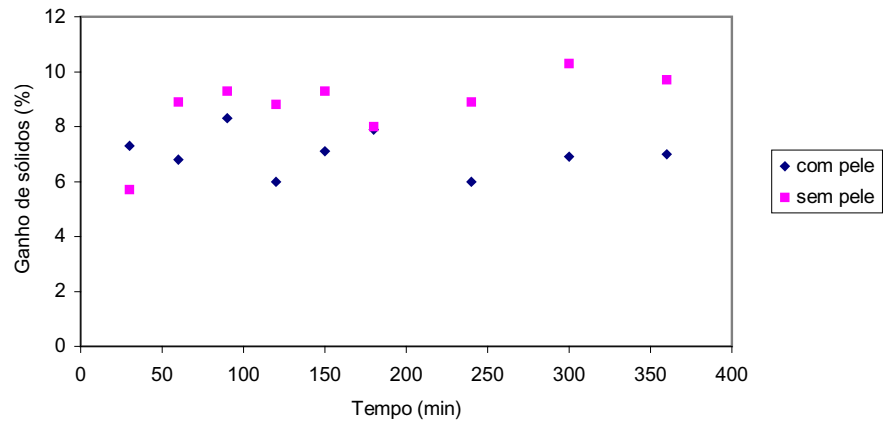


Figura 5.2 Influência do tempo de imersão no ganho de sólidos das fatias de tomates com e sem pele durante a desidratação osmótica a 30°C

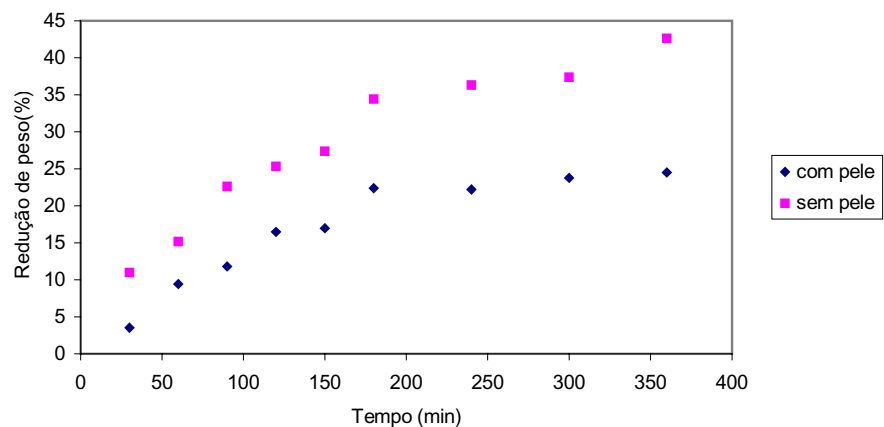


Figura 5.3 Influência do tempo de imersão na redução de peso das fatias de tomates com e sem pele durante a desidratação osmótica a 30°C

Resultados

Na Figura 5.1 observa-se que para o tomate com pele a perda de umidade é baixa, aproximadamente 32%, mesmo após 360 minutos de imersão na solução osmótica, no entanto, para o tomate sem pele esta perda é de 52,2%, valor recomendado pela literatura para a desidratação osmótica. Apesar do bom resultado obtido para o tomate sem pele houve a desintegração das amostras, devido ao longo tempo de imersão, tendo ocorrido o mesmo com o tomate com pele. Por esse motivo, foi necessário se estudar temperaturas mais altas com tempos de imersão mais curtos.

As Figuras 5.1 e 5.3 mostram que há um aumento da perda de umidade e redução de peso à medida que o tempo de imersão aumenta, estando de acordo com a literatura estudada (Romero, 1999).

Na Figura 5.2, para o caso do tomate com pele apesar dos valores oscilarem, observa-se que o ganho de sólidos tende a estabilizar em um curto intervalo de tempo. No tomate sem pele após 60 minutos se verifica também uma estabilização no ganho de sólidos. Isto pode ser explicado pelo fato que a saída de água é mais rápida que a entrada de sólidos.

5.2.3 Definição da temperatura da solução osmótica com tempos de imersão de 90 e 180 minutos para as fatias de tomates com e sem pele

A Tabela 5.4 e as Figuras 5.4 e 5.5 mostram os resultados da perda de umidade, ganho de sólidos e redução de peso em tempos de imersão de 90 e 180 minutos, durante a desidratação osmótica, na condição 5% NaCl e 35% sacarose e nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60° C.

Resultados

Tabela 5.4. Resultados dos experimentos de desidratação osmótica em pedaços de tomates com e sem pele com tempos de imersão de 90 e 180 minutos, em várias temperaturas.

Tempo de imersão (min)	T (°C)	Tomates					
		com pele			sem pele		
		PU (%)	GS (%)	RP (%)	PU (%)	GS (%)	RP (%)
90 min	30	13,6	4,4	6,6	30,8	9,4	22,6
	40	24,1	7,4	17,3	31,6	10,0	21,2
	50	31,3	7,4	23,8	37,3	10,6	25,4
	60	34,2	7,8	26,9	42,2	11,0	30,5
180 min	30	29,5	8,8	22,4	40,6	8,0	30,8
	40	31,4	7,9	24,3	45,1	12,2	32,4
	50	38,4	5,6	34,3	48,3	14,0	35,2
	60	44,4	8,3	36,8	51,8	13,1	39,3

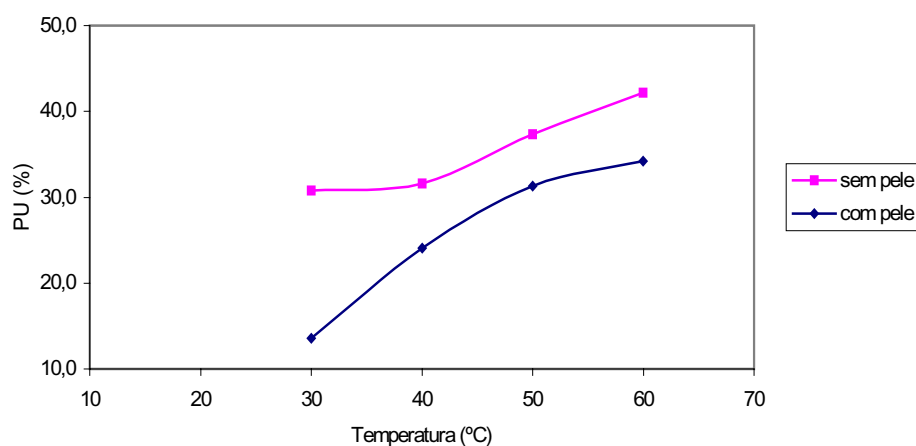


Figura 5.4 Influência da temperatura na perda de umidade das fatias de tomates com e sem pele com tempo de imersão de 90 minutos

Resultados

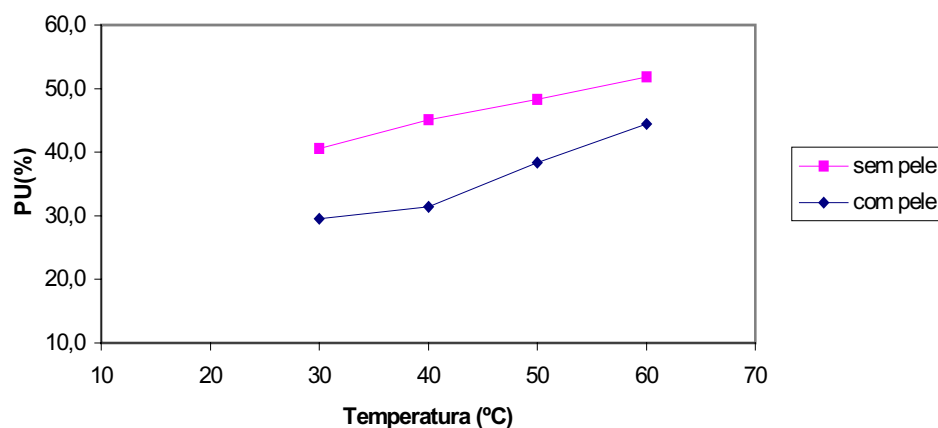


Figura 5.5 Influência da temperatura na perda de umidade das fatias de tomates com e sem pele com tempo de imersão de 180 minutos

Como na literatura, nas Figuras 5.4 e 5.5 pode se observar que o comportamento obtido para os tomates com e sem pele é o mesmo para os tempos de imersão de 90 e 180 minutos, isto é, a medida que se aumenta a temperatura há um aumento da perda de umidade e da redução de peso. No caso do ganho de sólidos os valores oscilaram, o que pode ser explicado pela variação da matéria prima, ou seja, foram usados lotes diferentes de tomate.

Como as amostras de tomate com e sem pele para um tempo de imersão de 180 minutos à 60°, apresentaram valores de perda de umidade de 44,4% e 51,8%, respectivamente, e também um bom aspecto visual, foi esta a condição escolhida para os testes de secagem.

5.3. Secagem

5.3.1 Condições operacionais de secagem

Na etapa de pré-tratamento osmótico dos tomates submetidos à secagem foi utilizada a solução osmótica constituída de 5% de sal e 35% de sacarose, devido aos bons resultados obtidos na escolha prévia das condições de desidratação osmótica. Foram realizados ensaios de secagem dos pedaços de tomates *in natura* e pré-desidratadas osmoticamente, com e sem pele, usando o secador convectivo de bandejas e estufa com circulação de ar, para temperaturas ajustadas na faixa de 50°C e 60°C.

Resultados

As Figuras 5.6 a 5.12 ilustram a influência da umidade (bs) inicial dos tomates com e sem pele, *in natura* e submetidos ao tratamento osmótico na secagem em secador convectivo de bandejas e em estufa, nos dois níveis de temperatura.

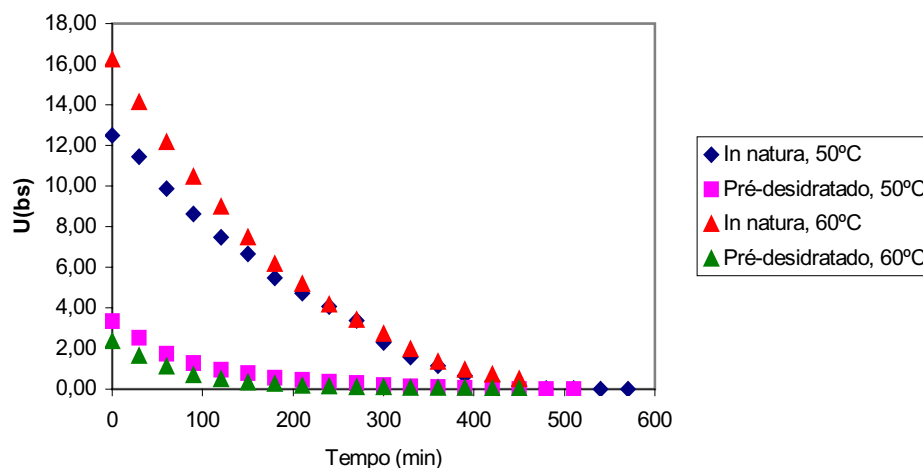


Figura 5.6. Variação da umidade das fatias de tomate com pele, *in natura* e pré desidratada osmoticamente, durante a secagem no secador convectivo. Influência da temperatura e da umidade inicial.

De acordo com o comportamento ilustrado na Figura 5.6, para os tomates com pele a umidade inicial exerce importante influência na secagem. O pré-tratamento osmótico, com conseqüente diminuição da umidade inicial do tomate reduz, comparativamente à secagem do *in natura*, o tempo de processamento necessário para atingir umidade em base úmida na faixa de 20%, que o caracterizaria como um produto de umidade intermediária. Conforme os resultados obtidos, para os tomates *in natura* o tempo de secagem para atingir teores de umidade da ordem de 0,25 em base seca (equivalente a 20% em base úmida), foi superior a 420 min, enquanto para os tomates pré-desidratados este tempo se reduziu de forma significativa, ficando nas faixas de 180 a 210 min. e entre 270 a 300 min. quando processados a 60° e 50°C, respectivamente. Em relação ao efeito da temperatura, verifica-se pelo comportamento das curvas que a perda inicial de umidade é mais acentuada em temperaturas mais elevadas, principalmente para os tomates *in natura*.

O mesmo comportamento com respeito aos efeitos do pré-tratamento, umidade inicial e temperatura observados na Figura 5.6 se repetiu na secagem em estufa dos tomates com pele, pré-tratados e *in natura*.

Resultados

Nas Figuras 5.7 e 5.8, pode-se observar o efeito da vazão do ar sobre a cinética de secagem do tomate, uma vez que os ensaios na estufa foram conduzidos a uma velocidade média superficial estimada em 0,1m/s, enquanto no secador a velocidade do ar foi mantida em 0,87m/s.

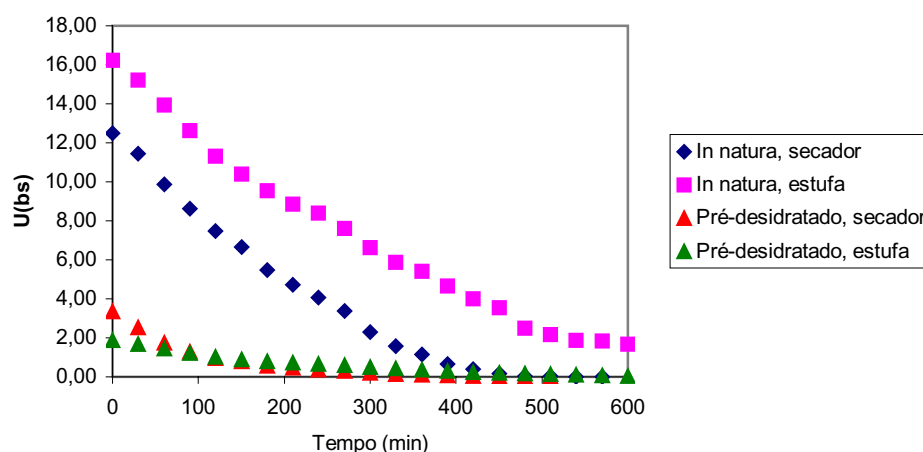


Figura 5.7 Variação da umidade das fatias de tomate com pele, *in natura* e pré-desidratada osmoticamente, durante a secagem à 50°C na estufa e no secador convectivo. Influência da vazão do ar e da umidade inicial.

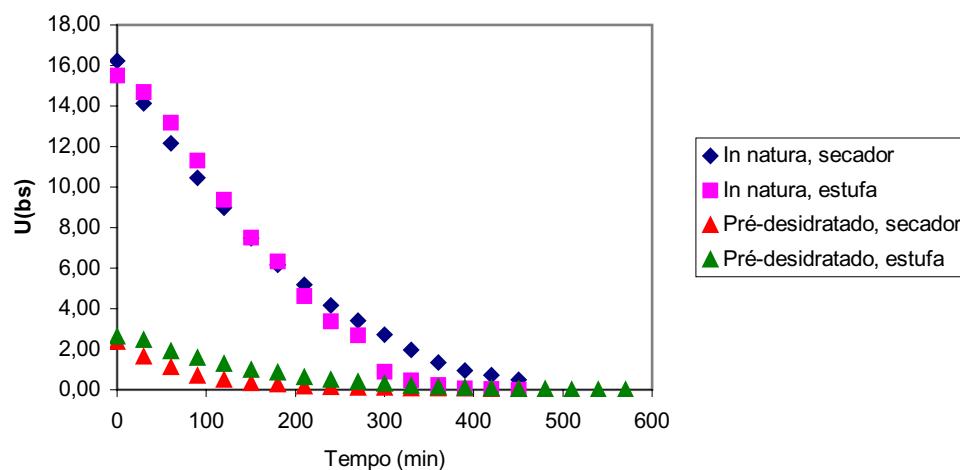


Figura 5.8 Variação da umidade das fatias de tomate com pele, *in natura* e pré-desidratada osmoticamente, durante a secagem à 60°C na estufa e no secador convectivo. Influência da vazão do ar e da umidade inicial.

Conforme se observou em ambas as figuras, não há efeito importante da vazão do ar sobre a secagem do tomate com pele, *in natura* ou pré-desidratado osmoticamente.

Resultados

Nas mesmas condições de temperatura de secagem, as curvas no secador e na estufa são quase paralelas, como se pode observar em todas as curvas ilustradas nas Figuras 5.7 e 5.8. Deve-se levar em consideração, a importância deste resultado em relação ao comportamento da secagem, uma vez que o mesmo indica que a resistência ao transporte de umidade da superfície do tomate para o ar, é desprezível e que a difusão no sólido controla a velocidade global da secagem.

Os efeitos da umidade inicial, temperatura e vazão de ar nos ensaios de secagem na estufa e no secador, dos tomates sem pele foram os mesmos apresentados e discutidos nos parágrafos anteriores, em relação aos tomates com pele.

A Figura 5.9 mostra o efeito da pele sobre a perda da umidade, para os ensaios de secagem dos tomates com e sem pré-tratamento, realizados no secador convectivo na faixa de temperatura de 60°C.

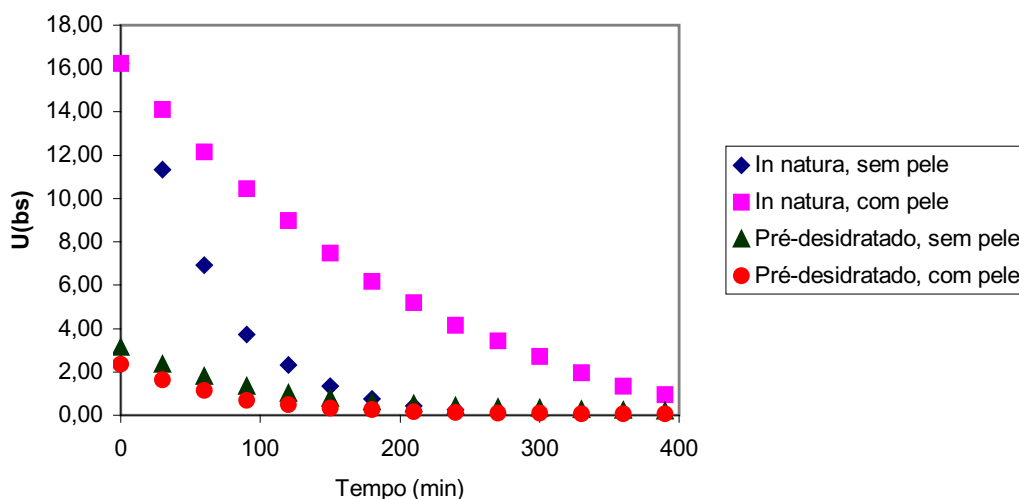


Figura 5.9 Variação da umidade das fatias de tomate sem pele, *in natura* e pré-desidratada osmoticamente, durante a secagem à 60°C no secador convectivo. Influência da pele e da umidade inicial.

Conforme se pode observar nas curvas ilustradas na Figura 5.9, para os tomates *in natura*, a ausência da pele exerce importante efeito na secagem. A perda de umidade ocorre com maior intensidade, diminuindo consequentemente o tempo de processamento. Enquanto o tomate *in natura* sem pele atinge uma umidade intermediária de 20% (0,25 bs) aos 240 minutos (4 horas) o tomate com pele aos 390 minutos (6 horas e meia) apresenta uma umidade na faixa de 50% (1,0 bs). Este resultado pode ser justificado pelo alto poder

Resultados

impermeabilizante da pele do tomate. Segundo Igarashi (1999), devido a esse poder impermeabilizante, os pedaços de tomate com pele necessitam de um tempo de secagem maior para atingir a mesma umidade.

Para os tomates pré-desidratados osmoticamente a ausência da pele não diminui o tempo de secagem, e os resultados obtidos mostram que o comportamento se inverte; para os tomates com pele o tempo de secagem para atingir 20% de umidade ficou compreendido entre 180 e 210 min, sem a pele este tempo aumentou, ficando numa faixa de 330 a 360 min.

As Figuras 5.10 a 5.12 apresentam o adimensional U/U_0 em função do tempo de secagem. A parametrização das curvas em relação a umidade inicial correspondente, possibilita uma avaliação mais consistente dos efeitos das demais variáveis sobre o processo de secagem. Nas Figuras 5.10 e 5.11, constata-se a importância do caráter impermeabilizante da pele no tomate *in natura*, que dificulta a perda de umidade do material. As mesmas figuras ilustram o efeito da temperatura na secagem do tomate com pele, no sentido de promover maiores perdas de umidade em tempos mais curtos.

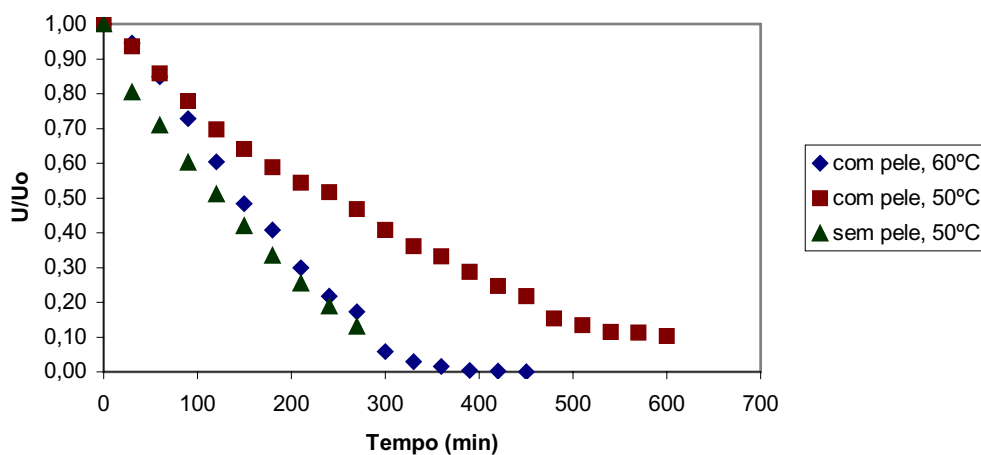


Figura 5.10 Variação da umidade adimensional das fatias de tomate *in natura*, com e sem pele durante a secagem à 60°C e 50°C na estufa. Influência da pele e da temperatura.

Resultados

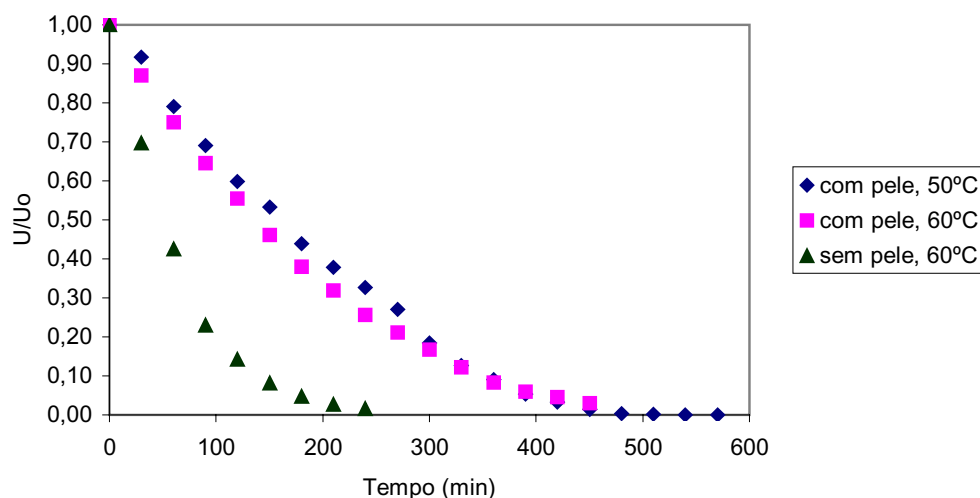


Figura 5.11 Variação da umidade adimensional das fatias de tomate *in natura*, com e sem pele durante a secagem à 60°C e 50°C no secador convectivo. Influência da pele e da temperatura.

Neutralizado através da parametrização das curvas o efeito da umidade inicial, constata-se o que foi verificado anteriormente em relação a pele dos tomates pré-desidratados osmoticamente, cujo comportamento é inverso ao observado na secagem dos tomates *in natura*. Para os dois níveis de temperatura em que foram conduzidos os ensaios, confirma-se na Figura 5.12 que para os tomates pré-desidratados, a presença da pele facilita o processo de secagem. Este efeito mostra-se mais evidente nos ensaios realizados na faixa de temperatura de 50°C.

Os resultados discutidos no item 5.2.2, mostraram que, submetidos ao pré-tratamento osmótico, os tomates sem pele absorviam maior quantidade de sólidos dos que os com pele. Esta maior absorção de sólidos pode interferir no processo de secagem, uma vez que a presença de solutos diminui a atividade de água no interior do material, diminuindo assim a força impulsora para a secagem e dificultando o transporte de umidade para a superfície. Ao que tudo indica, o efeito de elevadas concentrações de sólidos nos tomates pré-desidratados sem pele, se sobrepõe ao efeito do poder impermeabilizante da pele, o que justifica os resultados ilustrados na Figura 5.12. Resultados semelhantes foram encontrados por Igarashi (1999), na secagem de fatias tomates sem pele pré-desidratados em soluções osmóticas. O autor não se refere a diminuição da atividade de água, porém justifica os resultados encontrados afirmando que o pré-tratamento promove uma redução na taxa de secagem, devido a introdução dos solutos na parede celular, formando uma estrutura rígida que inibe a migração de água para

Resultados

a superfície. O mesmo autor evidencia que a formação desta estrutura rígida, também inibe o encolhimento das fatias de tomate durante a secagem.

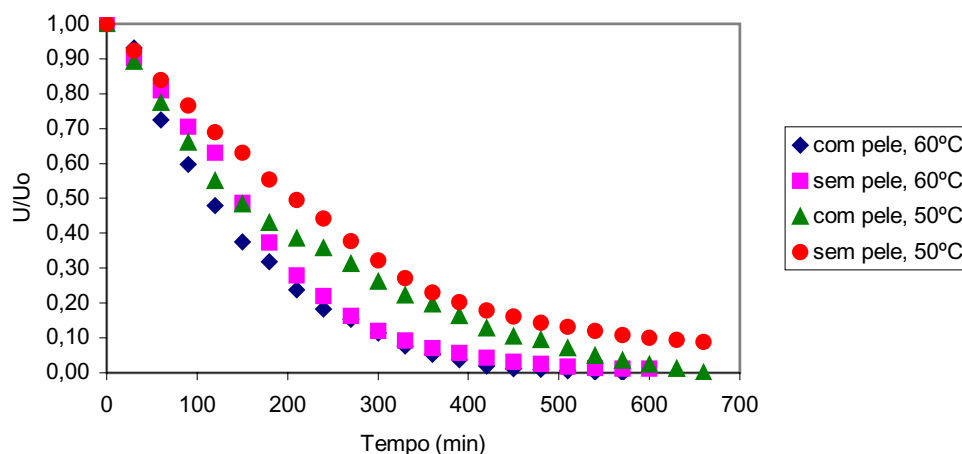


Figura 5.12 Variação da umidade adimensional das fatias de tomate pré-desidratada osmoticamente, com e sem pele durante a secagem à 60°C e 50°C na estufa. Influência da pele e da temperatura.

A partir dos dados de umidade calculou-se a taxa de secagem dos tomates, analisando-se sua variação com o tempo e com a umidade (bs). As curvas mostradas nas Figuras 5.13 e 5.14 são representativas do comportamento observado na maioria dos ensaios e mostram a evolução das taxas de secagem com tempo e com a umidade, respectivamente.

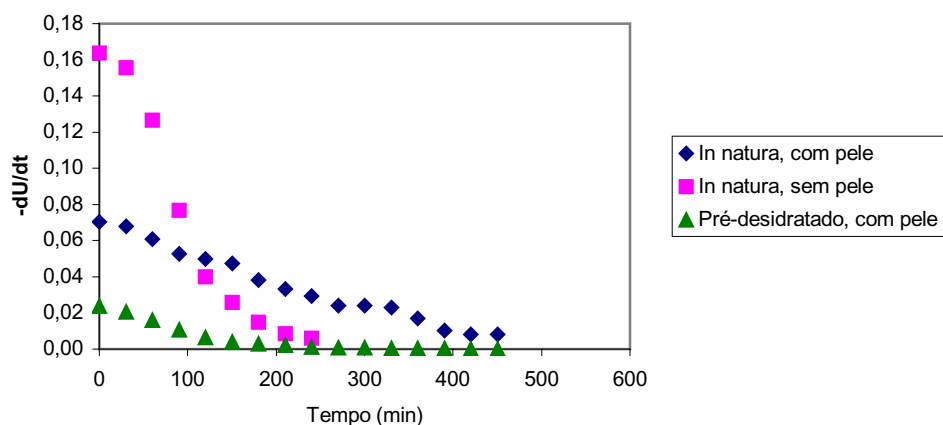


Figura 5.13 Taxa de secagem das fatias de tomate no secador convectivo de bandejas a 60°C. Influência da pele e do pré-tratamento

Resultados

Os efeitos da pele e do pré-tratamento sobre as taxas de secagem do tomate *in natura* encontra-se evidenciado na Figura 5.13. Em condições similares de temperatura e de umidade inicial, as taxas iniciais de secagem do tomate sem pele, são sensivelmente mais elevadas. Em torno das três horas de secagem, a taxa de secagem dos tomates sem pele é praticamente nula, enquanto para os tomates com pele, a taxa se anula por volta das sete horas de processamento. Em relação ao tomate pré-desidratado com pele, as baixas taxas de evaporação se devem ao fato do mesmo já ter perdido parte da umidade na desidratação osmótica. Verifica-se entretanto, que as taxas nulas de secagem dos tomates *in natura* sem pele e dos tomates pré-desidratados com pele são alcançadas em tempos praticamente iguais.

As curvas ilustradas na Figura 5.14 não se observa período de taxa constante na secagem dos tomates, tanto pré-desidratados como *in natura*. Este resultado é compatível com o encontrado por outros autores, Igarashi (1999), Romero (1999), entre outros. As influências da temperatura, do pré-tratamento e da pele do tomate, observadas na variação das taxas de secagem, são as mesmas discutidas anteriormente. Acrescenta-se apenas as observações referentes à coincidência das curvas, em níveis de umidade (bs) em torno de 3,0 (75% em base úmida), e ao baixo teor de umidade (praticamente zero), alcançado quando as taxas de secagem são nulas. Os ensaios ilustrados na Figura 5.14 foram prolongados até verificação de peso constante do material desidratado.

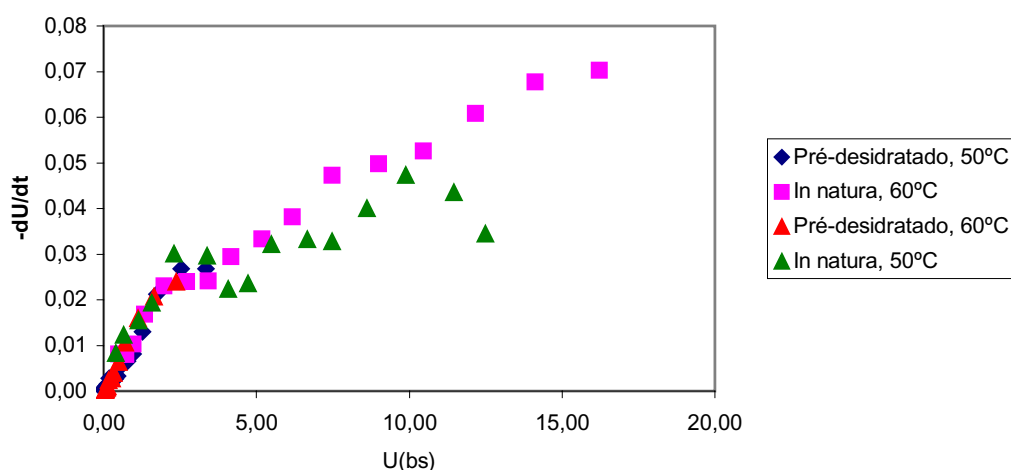


Figura 5.14 Taxa de secagem para os tomates com pele desidratados em secador convectivo de bandejas.

5.3.2 Modelagem da cinética de secagem

Considerando-se os resultados apresentados e discutidos nos parágrafos precedentes, com respeito ao comportamento das curvas de secagem e a verificação do controle interno do transporte de umidade (resistência externa desprezível) e de acordo com a metodologia de cálculo descrita no capítulo anterior, item 4.4.3.2, os dados experimentais obtidos na secagem dos tomates *in natura* e pré-desidratados, com e sem pele, foram correlacionados com base na solução do Modelo Difusional (2ª Lei de Fick), para o regime regular (tempos longos).

Uma vez que as taxas de secagem se anulavam em níveis de umidade que tendiam a zero, (Figura 4.14), negligenciou-se a umidade de equilíbrio na Equação (11), correlacionando-se os dados experimentais na forma de $\ln(U/U_0)$ em função do tempo.

As Figuras 5.15 a 5.18 ilustram o comportamento das curvas obtidas onde podem ser identificadas a existência de duas regiões distintas a serem ajustadas por retas. Estas duas regiões caracterizam duas fases de secagem. Resultados similares foram encontrados por Igarashi (1999) na secagem de tomates sem pele, *in natura* e após tratamento osmótico. São mostrados os pontos experimentais, juntamente com as retas ajustadas a cada região. No ajuste linear aos dados experimentais correspondentes a primeira etapa da secagem, foram desconsiderados os dados obtidos no início da secagem, uma vez que a solução do modelo difusional de Fick, truncada no primeiro termo da série, se aplica para a condição de tempos longos, e umidade uniforme.

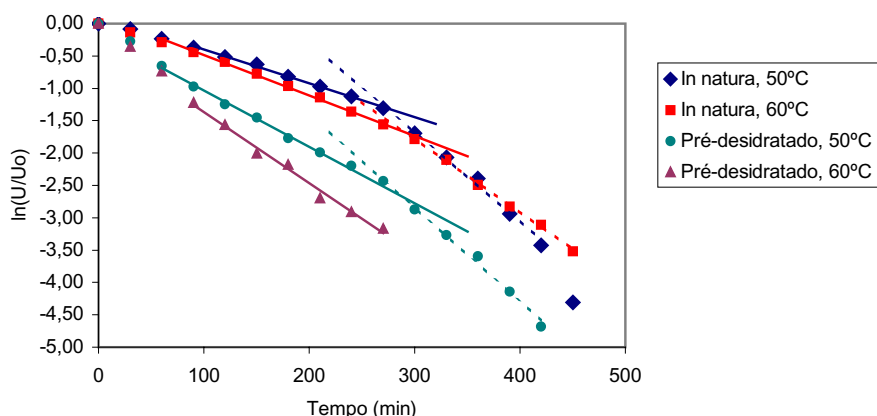


Figura 5.15 Modelagem da cinética de secagem do tomate com pele, *in natura* e pré-desidratado osmoticamente, desidratado no secador convectivo. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick

Resultados

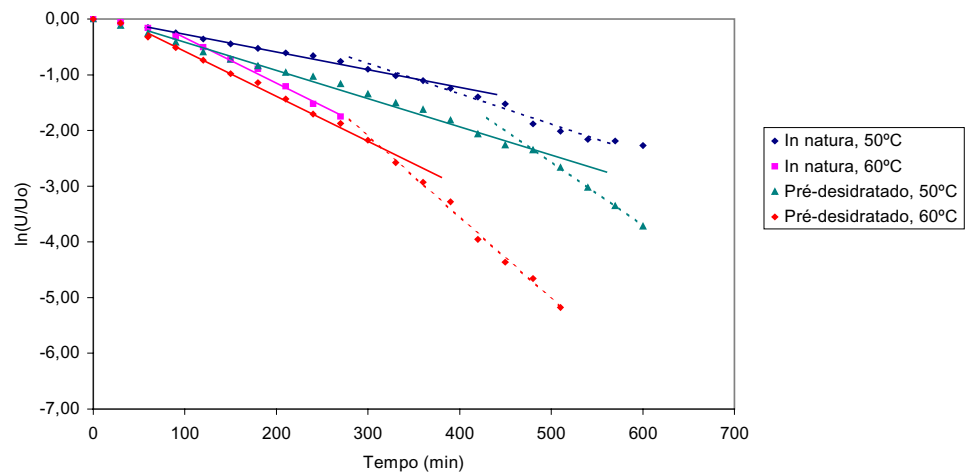


Figura 5.16 Modelagem da cinética de secagem do tomate com pele, *in natura* e pré-desidratado osmoticamente, desidratado na estufa. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick

Resultados

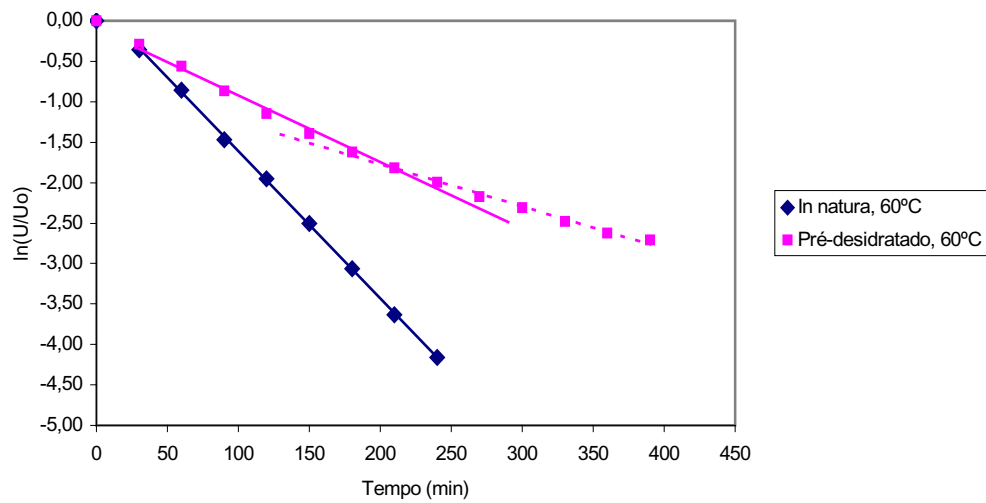


Figura 5.17 Modelagem da cinética de secagem do tomate sem pele, *in natura* e pré-desidratado osmoticamente, desidratado no secador convectivo. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick

Resultados

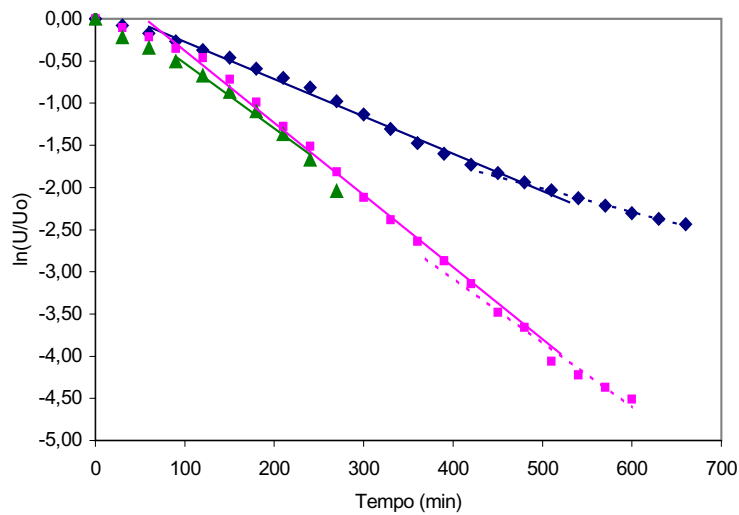


Figura 5.18 Modelagem da cinética de secagem do tomate sem pele, *in natura* e pré-desidratado osmoticamente, desidratado na estufa. Ajuste linear aos dados experimentais de acordo com a solução aproximada do Modelo Difusional de Fick

Resultados

Nas Tabelas 5.5 e 5.6 são mostrados os parâmetros das retas ajustadas aos dados experimentais relativos a primeira e a segunda fase da secagem, respectivamente. Conforme se observa, para todos os ensaios houve um bom ajuste linear aos dados experimentais, com coeficientes de correlação superiores a 98%, o que permitiu uma estimativa de difusividades efetivas bastante consistentes, a partir dos coeficientes angulares das retas ajustadas. Verifica-se entretanto, que os coeficientes lineares das retas ajustadas apresentam importantes desvios em relação ao valor predito pelo modelo difusional para uma placa plana infinita com condições de equilíbrio na superfície ($B_0 = e^B = 8/\pi^2 = 0,81$). Os desvios poderiam ser justificados pela imprecisão na estimativa dos coeficientes lineares, pelo fato de não ter sido considerado o encolhimento das fatias de tomate durante a secagem, e pelas demais simplificações relativas à umidade de equilíbrio e à condição de umidade inicial uniforme.

Apesar dos desvios em relação ao intercepto das retas ajustadas, e de todas as simplificações, os coeficientes de difusão estimados são compatíveis com os encontrados por outros autores. No presente trabalho, de acordo com os dados das Tabelas 5.5 e 5.6, as difusividades efetivas variaram entre $2,70 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ a $14,7 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, enquanto Igarashi (1999) encontrou valores compreendidos numa faixa de $0,57 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ a $11,54 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. Romero (1999), encontrou coeficientes de difusão efetivo da ordem de $7,997 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, também para o tomate.

Tabela 5.5 Coeficientes de difusão calculados a partir do ajuste do Modelo Difusional de Fick. Parâmetros das retas ($\ln(U/U_0) = A.t + B$) ajustadas à primeira fase da secagem com respectivos coeficientes de correlação

Ensaio	T(°C)	A	B	r ²	D _{ef} (m ² /s)	B ₀
ICP secador	52,8	-0,0049	0,073	0,995	4,02E-08	1,075
ICP estufa	49,6	-0,0035	0,066	0,989	2,87E-08	1,068
DCP secador	52,8	-0,0086	-0,186	0,996	7,06E-08	0,830
DCP estufa	49,6	-0,0044	-0,028	0,993	3,61E-08	0,972
ICP secador	66,0	-0,0063	0,136	0,996	5,17E-08	1,146
ICP estufa	60,3	-0,0062	0,227	0,996	5,09E-08	1,255
DCP secador	66,0	-0,011	-0,271	0,989	9,0E-08	0,761
DCP estufa	60,1	-0,0081	0,231	0,992	6,65E-08	1,260
ISP secador	61,2	-0,018	0,194	0,999	1,47E-07	1,214
ISP estufa	50,0	-0,0075	0,142	0,983	6,15E-08	1,152

Resultados

DSP estufa	51,5	-0,0044	0,171	0,994	3,61E-08	1,186
DSP secador	59,3	-0,0082	-0,098	0,992	6,73E-08	0,906
DSP estufa	60,9	-0,0081	0,321	0,987	6,65E-08	1,379

Na estimativa dos parâmetros das retas ajustadas aos dados experimentais relativos a segunda fase da secagem, foi considerado como tempo zero o início da segunda fase e U_0 , a umidade correspondente.

Tabela 5.6 Coeficientes de difusão calculados a partir do ajuste do modelo Difusional de Fick. Parâmetros das retas ($\ln(U/U_0) = A.t + B$), ajustadas à segunda fase da secagem com respectivos coeficientes de correlação

Ensaio	T(°C)	A	B	r ²	D _{ef} (m ² /s)	B ₀
ICP secador	54,7	-0,013	0,153	0,984	1,06E-07	1,165
ICP estufa	49,9	-0,0067	-0,006	0,987	5,50E-08	0,994
DCP secador	54,8	-0,0138	0,125	0,988	1,13E-07	1,133
DCP estufa	50	-0,0067	-0,006	0,987	5,50E-08	0,994
ICP secador	68,2	-0,0114	-0,0033	0,998	9,35E-08	0,996
DCP estufa	60,8	-0,0147	0,047	0,992	1,20E-07	1,048
DSP estufa	51,1	-0,0031	-0,039	0,992	2,54E-08	0,960
DSP secador	59,1	-0,0033	-0,031	0,982	2,70E-08	0,968
DSP estufa	64,1	-0,0052	-0,004	0,998	4,26E-08	0,996

Resultados

As Figuras 5.19 e 5.20 mostram a influência da temperatura e do pré-tratamento osmótico sobre as difusividades efetivas dos tomates com e sem pele, respectivamente, estimados a partir do modelo, para as duas fases da secagem (fase 1 e fase 2).

Conforme mostra a Figura 5.19, para os tomates com pele os coeficientes de difusão efetivos são maiores na segunda fase da secagem, tanto para os tomates *in natura* como para os que foram submetidos ao pré-tratamento em solução osmótica. Com relação ao pré-tratamento, verifica-se que na primeira fase, o mesmo influencia favoravelmente a difusão, enquanto na segunda este efeito torna-se menos evidente. Para a estreita faixa de temperatura em que foram conduzidos os ensaios, verifica-se um aumento significativo dos coeficientes de difusão com a temperatura, percebendo-se uma atenuação deste crescimento a partir de 55°C.

Com relação aos maiores coeficientes de difusão encontrados na segunda fase da secagem, este resultado condiz com o comportamento das curvas ilustradas nas Figuras 5.15 e 5.16, cujas inclinações das retas ajustadas aos dados relativos a segunda fase da secagem são maiores do que às das retas correspondentes a primeira fase. Este comportamento foi observado em todos os ensaios de secagem dos tomates com pele, *in natura* ou pré-desidratados, processados no secador convectivo ou na estufa, e pode ser explicado pelo desgaste da pele e de suas propriedades impermeabilizantes ao longo da secagem. O efeito impermeabilizante da pele também poderia ter sido considerado nas condições de contorno da modelagem do processo. Neste caso as fatias de tomates com pele seriam consideradas placas planas infinitas com uma das fases isoladas para o transporte de massa (condição de simetria de uma placa de espessura $2L$). No entanto, os resultados encontrados em relação aos coeficientes de difusão, indicam conforme discussão anterior, que com o prosseguimento da secagem, o efeito impermeabilizante da pele é atenuado, o que implicaria em um modelo muito mais complexo para representar a cinética de secagem dos tomates.

Resultados

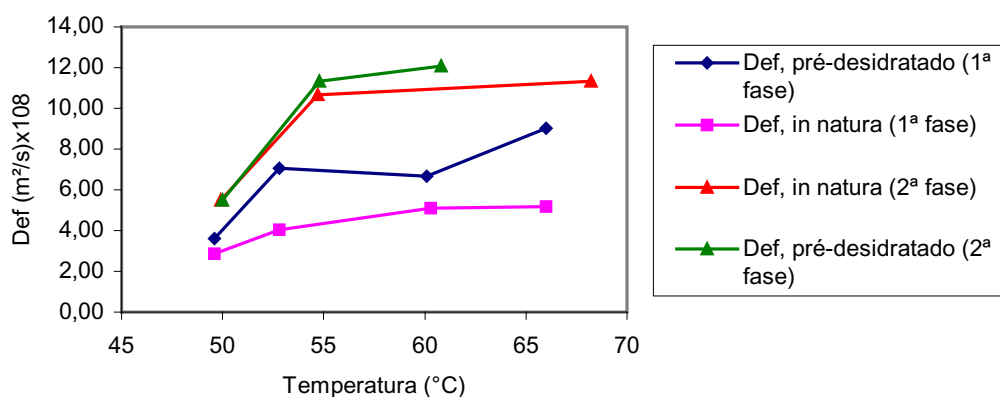


Figura 5.19 Efeitos da temperatura e do pré-tratamento osmótico das fatias de tomates com pele sobre os coeficientes de difusão efetivos calculados a partir do modelo.

Com respeito aos tomates sem pele, o comportamento dos coeficientes de difusão efetivos, estimados para a primeira e segunda fase da secagem se inverte. Conforme mostra a Figura 5.20, para os tomates pré-desidratados osmoticamente os coeficientes de difusão da segunda fase são inferiores aos estimados na primeira.

Em relação à influência do pré-tratamento do tomate sem pele, verifica-se na Figura 5.20, que para a primeira fase da secagem, os coeficientes de difusão do tomate *in natura* são significativamente mais elevados do que os correspondentes aos tomates pré-desidratados. Este comportamento também coincide com o observado nas curvas apresentadas nas Figuras 5.17 e 5.18, e é explicado pela elevada concentração de sólidos presentes nos tomates sem pele pré-desidratados osmoticamente, cuja discussão encontra-se contemplada em parágrafos anteriores. À medida que a secagem prossegue, a concentração de sólidos aumenta, diminuindo conseqüentemente a atividade de água contida nas fatias de tomate ou, conforme Igarashi (1999), aumentando a espessura da camada rígida de sólidos distribuídos sobre a superfície, o que em ambos os casos provocaria a diminuição dos coeficientes de difusão efetivos. Resultados semelhantes foram encontrados por Igarashi (1999).

O comportamento dos coeficientes de difusão efetivos dos tomates sem pele frente à temperatura, (Figura 5.20) é o mesmo observado na secagem dos tomates com pele (Figura 5.19).

Resultados

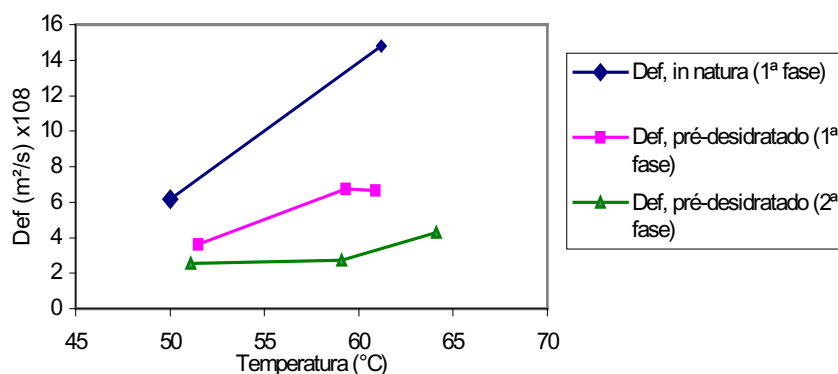


Figura 5.20 Efeitos da temperatura e do pré-tratamento osmótico das fatias de tomates sem pele sobre os coeficientes de difusão efetivos calculados a partir do modelo

A partir dos parâmetros ilustrados nas Tabelas 5.5 e 5.6, construiu-se as curvas ajustadas ao modelo proposto, comparando-se os dados de umidade adimensional preditos pelo modelo, com os obtidos experimentalmente.

O comportamento dos dados experimentais frente aos preditos pelo modelo encontra-se ilustrado nas Figuras 5.21 e 5.22, relativas ao ensaios de secagem à $50^{\circ}C$, de fatias de tomate com pele, *in natura* e pré-desidratadas em solução osmótica, respectivamente.

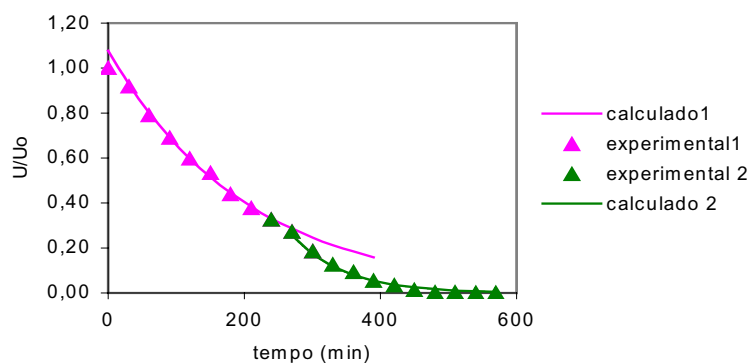


Figura 5.21 Modelagem da cinética de secagem do tomate *in natura* com pele desidratado no secador convectivo à $50^{\circ}C$.

Resultados

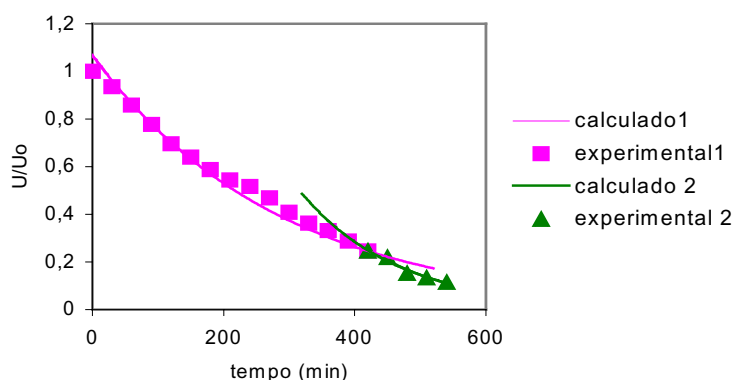


Figura 5.22 Modelagem da cinética de secagem do tomate pré-desidratado osmoticamente com pele desidratado na estufa à 50°C.

Conforme mostra as Figuras, para ambas as fases de secagem, o ajuste do modelo difusional aplicado aos dados experimentais, mesmo utilizando apenas um termo da série, é satisfatório. As demais curvas de secagem previstas a partir do modelo difusional, também se ajustaram de forma satisfatória aos dados experimentais. Estas curvas são apresentadas no Anexo I.

5.4. Análise sensorial

A análise foi realizada apenas com os tomates sem pele desidratados à 60°C em estufa e secador convectivo.

As amostras que foram denominadas de A, B, C e D são, respectivamente, tomates desidratados no secador acondicionado no azeite, tomates desidratados na estufa acondicionado sem azeite, tomates desidratados na estufa acondicionado no azeite e tomates desidratados no secador acondicionado sem azeite.

Os resultados da análise sensorial para os atributos: cor, textura, aparência, sabor e odor são apresentados nas Tabelas 5.7 a 5.21 e nas Figuras 5.23 a 5.27.

Os resultados para o teste da aparência são apresentados nas Tabelas 5.7, 5.8 e 5.9 e na Figura 5.23.

Resultados

Tabela 5.7 Notas relativas à Aparência para quatro amostras de tomates desidratados

Provadores	A	B	C	D	Média
P1	5	4	8	7	6,00
P2	5	8	7	7	6,75
P3	6	6	7	8	6,75
P4	6	4	6	6	5,50
P5	6	8	8	5	6,75
P6	8	8	8	8	8,00
P7	8	7	8	8	7,75
P8	8	7	7	7	7,25
P9	8	7	6	7	7,00
P10	5	6	7	5	5,75
P11	3	3	3	3	3,00
P12	4	4	4	4	4,00
P13	7	7	6	6	6,50
P14	8	8	8	8	8,00
P15	8	4	8	3	5,75
P16	8	7	7	8	7,50
P17	5	5	5	5	5,00
P18	5	5	5	5	5,00
P19	6	8	2	2	4,50
P20	6	9	8	3	6,50
Média	6,25	6,25	6,40	5,75	6,16

Tabela 5.8 Análise de variância para os dados da Tabela 5.7

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F
Entre provadores	140,63	19	7,40	4,24
Entre amostras	4,83	3	1,61	0,92
Resíduo	99,41	57	1,74	-
Total	244,88	79	-	-

$F_{3,57} = 2,772$ ($\alpha = 0,05$) e $4,157$ ($\alpha = 0,01$)

O resultado da análise de variância mostrou que não houve diferença significativa na aparência entre as amostras dos tomates desidratados sem pele.

Resultados

Tabela 5.9 Resultado do índice de aceitabilidade dos tomates desidratados

Amostras	Nota(%)
A	69,5
B	69,5
C	71,0
D	64,0

Baseado nos resultados da Tabela 5.9 pode-se considerar que as amostras A, B e C foram aceitas no atributo aparência, no entanto a amostra D não foi aceita. Uma das observações citadas pelos provadores refere-se as amostras se apresentarem oleosas, devido ao acondicionamento em azeite.

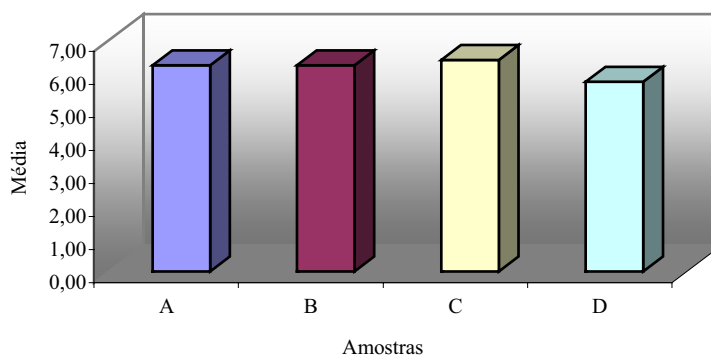


Figura 5.23 Análise sensorial referente ao teste da aparência para as amostras de tomates desidratados

Resultados

O próximo parâmetro a ser analisado refere-se a Cor, e os seus resultados estão mostrados nas Tabelas 5.10, 5.11 e 5.12 e Figura 5.24.

Tabela 5.10 Notas relativas à Cor para quatro amostras de tomates desidratados

Provadores	A	B	C	D	Média
P1	6	4	9	6	6,25
P2	5	8	5	5	5,75
P3	7	6	8	8	7,25
P4	5	4	7	5	5,25
P5	8	8	8	7	7,75
P6	8	8	8	8	8,00
P7	8	8	8	8	8,00
P8	7	6	7	8	7,00
P9	8	7	6	7	7,00
P10	5	7	7	5	6,00
P11	4	4	4	4	4,00
P12	6	8	6	7	6,75
P13	8	8	6	8	7,50
P14	8	8	8	8	8,00
P15	8	7	8	7	7,50
P16	7	7	7	7	7,00
P17	5	5	5	5	5,00
P18	6	6	6	6	6,00
P19	8	8	3	4	5,75
P20	8	8	7	6	7,25
Média	6,75	6,75	6,65	6,45	6,65

Tabela 5.11 Análise de variância para os dados da Tabela 5.10

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F
Entre provadores	94,2	19	4,95	4,361
Entre amostras	1,2	3	0,40	0,352
Resíduo	64,8	57	1,13	-
Total	160,2	79	-	-

$F_{3,57} = 2,772$ ($\alpha = 0,05$) e $4,157$ ($\alpha = 0,01$)

O resultado da análise de variância mostrou que não houve diferença significativa na cor entre as amostras dos tomates desidratados, o que pode ser também observado através da Figura 5.24.

Resultados

Tabela 5.12 Resultado do índice de aceitabilidade dos tomates desidratados

Amostras	Nota(%)
A	75,0
B	75,0
C	73,8
D	71,7

Os resultados do índice de aceitabilidade para o atributo cor foram os melhores, com valores acima de 70%, sendo todas as amostras aceitas pelos provadores. Um dos fatores para uma coloração intensa e com brilho é a utilização da sacarose na composição da solução osmótica, durante a desidratação osmótica, segundo Saputra (2001), Azoubel & Murr (2000) entre outros.

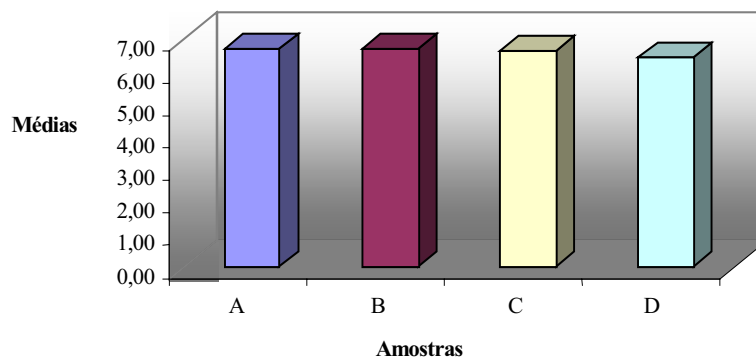


Figura 5.24 Análise sensorial referente à Cor para as amostras de tomates desidratados

Resultados

Os resultados para o teste do Odor estão mostrados nas Tabelas 5.13, 5.14 e 5.15 e Figura 5.25.

Tabela 5.13 Notas relativas ao Odor para quatro amostras de tomates desidratados

Provadores	A	B	C	D	Média
P1	6	5	5	4	5,00
P2	7	5	5	8	6,25
P3	5	5	7	5	5,50
P4	5	5	6	5	5,25
P5	5	6	5	5	5,25
P6	7	8	8	8	7,75
P7	8	7	9	8	8,00
P8	5	5	5	5	5,00
P9	8	7	6	8	7,25
P10	5	6	6	6	5,75
P11	4	4	4	4	4,00
P12	4	5	4	7	5,00
P13	5	8	5	7	6,25
P14	8	8	8	8	8,00
P15	5	5	7	8	6,25
P16	4	5	4	4	4,25
P17	3	4	2	3	3,00
P18	5	5	5	5	5,00
P19	8	8	1	7	6,00
P20	4	4	5	2	3,75
Média	5,55	5,75	5,35	5,85	5,63

Tabela 5.14 Análise de variância para os dados da Tabela 5.13

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F
Entre provadores	146,25	19	7,69	5,65
Entre amostras	2,95	3	0,98	0,72
Resíduo	77,55	57	1,36	-
Total	226,75	79	-	-

$F_{3,57} = 2,772$ ($\alpha = 0,05$) e $4,157$ ($\alpha = 0,01$)

Como pode ser observado o resultado da análise de variância mostrou que não houve diferença significativa entre as amostras de tomates desidratados sem pele.

Resultados

Tabela 5.15 Resultado do índice de aceitabilidade dos tomates desidratados

Amostras	Nota(%)
A	61,6
B	63,8
C	59,4
D	65,0

Os resultados do índice de aceitabilidade de todas as amostras para o atributo odor foram abaixo do nível de aceitação que é de 70%. Neste caso a presença de resíduos do azeite podem ter mascarado o verdadeiro odor das amostras.

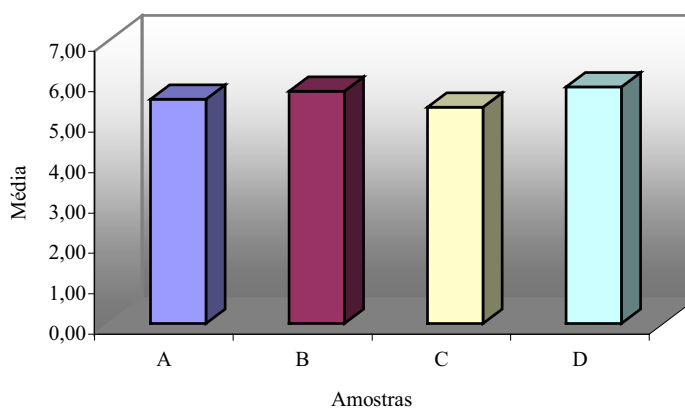


Figura 5.25 Análise sensorial referente ao Odor para as amostras de tomates desidratados

Resultados

Os resultados do teste quanto ao sabor são mostrados nas Tabelas 5.16 e 5.17 e 5.18 e na Figura 5.26.

Tabela 5.16 Notas relativas ao Sabor para quatro amostras de tomates desidratados

Provedores	A	B	C	D	Média
P1	6	4	7	6	5,75
P2	7	3	5	5	5,00
P3	6	6	4	7	5,75
P4	2	3	4	2	2,75
P5	7	3	4	6	5,00
P6	7	8	8	6	7,25
P7	6	4	3	6	4,75
P8	6	6	6	7	6,25
P9	6	6	6	6	6,00
P10	8	7	5	6	6,50
P11	1	2	1	1	1,25
P12	1	2	1	2	1,50
P13	3	3	4	3	3,25
P14	9	4	6	9	7,00
P15	6	4	6	1	4,25
P16	2	3	2	3	2,50
P17	4	3	4	2	3,25
P18	4	6	5	4	4,75
P19	6	7	7	2	5,50
P20	2	6	9	1	4,50
Média	4,95	4,50	4,85	4,25	4,64

Tabela 5.17 Análise de variância para os dados da Tabela 5.16

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F
Entre provedores	229,23	19	12,06	4,87
Entre amostras	6,23	3	2,08	0,84
Resíduo	141,01	57	2,47	-
Total	376,48	79	-	-

$F_{3,57} = 2,772$ ($\alpha = 0,05$) e $4,157$ ($\alpha = 0,01$)

A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa entre as amostras.

Resultados

Tabela 5.18 Resultado do índice de aceitabilidade dos tomates desidratados

Amostras	Nota(%)
A	55,0
B	50,0
C	54,0
D	47,2

No que se refere ao índice de aceitabilidade dos tomates desidratados sem pele, os resultados foram muito abaixo do nível de aceitação que é de 70%. Um dos motivos para o baixo índice de aceitação está relacionado à observações feitas por alguns provadores com relação ao alto teor de sal contido nas amostras. Outro motivo é a falta de costume dos provadores em consumirem o tomate desidratado, levando-os a esperarem um produto com sabor semelhante ao tomate *in natura*. Deve-se considerar ainda a possibilidade da solução de NaOH, empregada para remoção da pele dos tomates ter interferido no sabor dos mesmos.

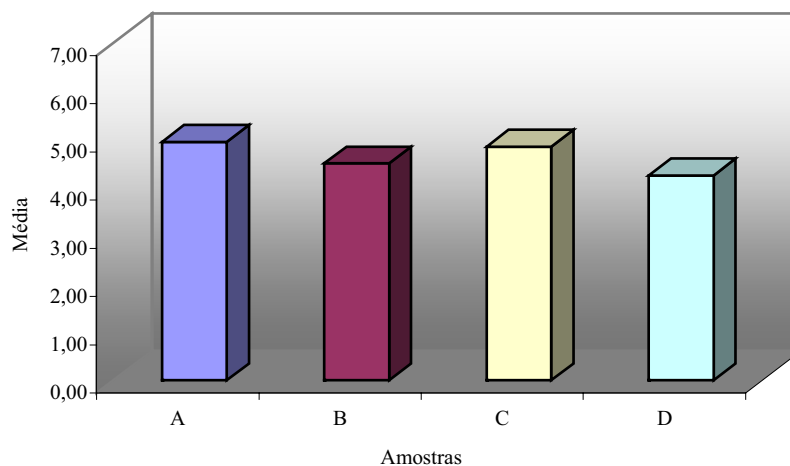


Figura 5.26 Análise sensorial referente ao Sabor para as amostras de tomates desidratados

Resultados

Os resultados dos testes da textura são apresentados nas Tabelas 5.19, 5.20 e 5.21 e Figura 5.27.

Tabela 5.19 Notas relativas à Textura para quatro amostras de tomates desidratados

Provedores	A	B	C	D	Média
P1	5	4	7	2	4,50
P2	7	5	4	5	5,25
P3	6	7	6	7	6,50
P4	6	6	6	6	6,00
P5	8	8	8	8	8,00
P6	8	8	8	8	8,00
P7	7	6	6	8	6,75
P8	4	6	4	4	4,50
P9	8	6	6	7	6,75
P10	8	7	7	7	7,25
P11	2	2	2	2	2,00
P12	5	5	5	5	5,00
P13	3	4	3	3	3,25
P14	9	3	6	9	6,75
P15	8	4	7	4	5,75
P16	3	4	7	8	5,50
P17	5	5	5	5	5,00
P18	5	6	5	5	5,25
P19	4	8	2	4	4,50
P20	6	7	6	7	6,50
Média	5,85	5,55	5,50	5,70	5,65

Tabela 5.20 Análise de variância para os dados da Tabela 5.19

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F
Entre provedores	172,2	19	9,06	5,04
Entre amostras	1,5	3	0,5	0,28
Resíduo	102,5	57	1,79	-
Total	276,2	79	-	-

$F_{3,57} = 2,772$ ($\alpha = 0,05$) e $4,157$ ($\alpha = 0,01$)

A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa entre as amostras.

Resultados

Tabela 5.21 Resultado do índice de aceitabilidade dos tomates desidratados

Amostras	Nota(%)
A	65,0
B	61,7
C	61,1
D	63,3

Os resultados do índice de aceitabilidade para o atributo textura ficaram em torno de 60,0% que se encontra abaixo do nível de aceitação que é de 70%.

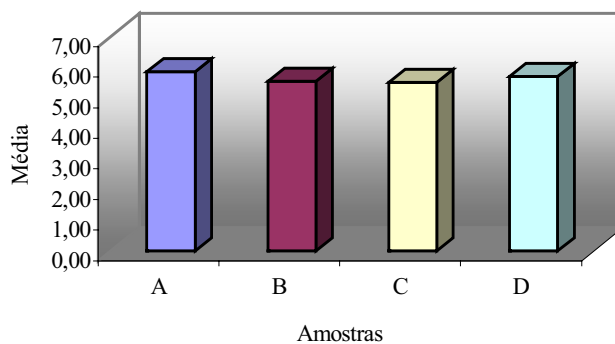


Figura 5.27 Análise sensorial referente à textura para as amostras de tomates desidratados

5.5. Estudo de vida de prateleira

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de tomates com e sem pele, durante o período de 45 dias, encontram-se na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 Resultados do estudo de vida de prateleira dos tomates desidratados com e sem pele

Parâmetros	Com pele				Sem pele			
	Dias							
	0	15	30	45	0	15	30	45
pH	4,03	4,08	4,09	4,10	4,12	4,10	4,15	4,14
Teor de água (%)	23,0	23,9	24,1	23,7	12,1	12,6	12,8	13,4
Contagem de bolores e leveduras (UFU/g)	Ausência	Ausência	-	-	Ausência	Ausência	Ausência	-

No que se refere ao estudo de vida de prateleira dos tomates desidratados não houve diferença significativa. O pH teve uma pequena variação durante o armazenamento em ambos os casos. O teor de água variou muito pouco com o armazenamento. Com relação aos resultados da contagem de bolores e leveduras, durante os 45 dias, não houve desenvolvimento destes microrganismos, indicando que o produto é seguro do ponto de vista microbiológico.

Capítulo 6

Conclusões

6. Conclusões

Com base nos resultados apresentados e discutidos, as conclusões do presente trabalho são as seguintes:

♦ Com relação ao pré-tratamento osmótico e a secagem:

- 1- A pré-desidratação dos tomates com e sem pele em solução osmótica com 5% de NaCl e 35% de sacarose, para um tempo de imersão de 180 minutos e temperatura de 60°, apresentou os melhores resultados;
- 2- Nas condições referidas acima obteve-se perdas de umidade de 44,4% e 51,8%, ganhos de sólidos de 8,3% e 13,1%, e reduções de peso de 36,8% e 39,3% para os tomates com e sem pele, respectivamente;
- 3- Observou-se que a elevação da temperatura da solução osmótica, provoca o aumento da perda de umidade, em proporção bem maior do que o aumento do ganho de sólidos, o que evidencia a importância deste parâmetro no processo de desidratação osmótica;
- 4- A secagem dos tomates se verifica sob condições de controle interno, com resistência externa ao transporte de umidade desprezível;
- 5- A remoção da pele do tomate *in natura* favorece a secagem reduzindo o tempo de processamento e promovendo maiores taxas de evaporação;
- 6- A diminuição do conteúdo inicial de água promovida pela desidratação osmótica, favoreceu a obtenção de tomates com teores intermediários de água, em tempos de processamento mais curtos. Entretanto, as taxas de secagem dos tomates pré-desidratados são sensivelmente mais baixas do que as verificadas na secagem do tomate *in natura*;
- 7- A elevada absorção de sólidos dos tomates sem pele, quando submetidos previamente a desidratação osmótica, diminui a atividade da água contida nos mesmos o que interfere negativamente sobre as taxas de secagem do material;
- 8- Não se identificou nas curvas características de secagem um período de taxa constante, verificando-se de forma bem definida dois períodos de taxa decrescente;
- 9- O modelo difusional baseado na 2ª Lei de Fick aplicado aos dados experimentais obtidos nos dois períodos de taxa decrescente, permitiu a determinação dos coeficientes de difusão da água nos tomates;

- 10- Apesar das muitas simplificações consideradas, a consistência dos resultados obtidos mostra que os modelo proposto para os dois períodos pode ser empregado para uma predição aproximada da cinética se secagem dos tomates;
- 11- De acordo com os resultados obtidos, as condições de secagem que promoveram as maiores taxas de evaporação em tempos relativamente curtos, referem-se aos tomates com pele pré-desidratados osmoticamente, e aos tomates *in natura* sem pele, ambos processados no secador convectivo a 60°C. O melhor desempenho do secador convectivo se deve a redução no tempo de pré-aquecimento do material, uma vez que na estufa o comportamento da secagem foi praticamente o mesmo;

♦ **Com relação à análise sensorial e ao acompanhamento do tempo de vida de prateleira:**

- 1- As quatro amostras de tomates sem pele desidratadas em estufa ou secador convectivo, acondicionado ou não em azeite, não apresentaram diferenças significativas nos atributos: aparência, cor, sabor, odor e textura;
- 2- O índice de aceitabilidade do atributo cor foi superior a 70% em todas as amostras. Isto acontece devido a utilização da sacarose na composição da solução osmótica, que confere ao produto uma coloração intensa e brilhante;
- 3- O índice de aceitabilidade do atributo sabor foi baixo, aproximadamente 50%, em todas as amostras. Isto pode ser atribuído a diversos fatores, tais como: o alto teor de sal contido nas amostras; o fato dos provadores não terem o hábito de consumir o tomate desidratado e ainda a possibilidade de resíduos da solução de NaOH usada para a remoção da pele Ter interferido;
- 4- O índice de aceitabilidade dos atributos aparência e odor ficaram em torno de 60%, um dos motivos que levaram a este baixo nível de aceitação é que o azeite pode ter interferido na análise sensorial;
- 5- O estudo de vida de prateleira dos tomates com e sem pele desidratados em estufa e secador convectivo, mostraram que durante o período de 45 dias, os mesmos não apresentaram variação dos parâmetros físico-químicos estudados, e, a contagem de bolores e leveduras indicaram ausência de microrganismos.

Sugestões para trabalhos futuros

Levando-se em consideração os resultados desfavoráveis tanto da análise sensorial como dos ensaios de secagem dos tomates desidratados sem pele, pré-tratados em solução osmótica, sugere-se:

- 1- Avaliação sensorial dos produtos obtidos nas condições mais favoráveis à secagem: tomates *in natura* sem pele e tomates com pele pré-tratados osmoticamente, ambos processados no secador convectivo à 60°C. Comparar com tomates secos disponíveis no mercado, tanto industrializados como produzidos de forma artesanal;
- 2- Remoção da pele dos tomates com e sem utilização da solução de NaOH, para identificar se houve interferência do mesmo no sabor dos tomates desidratados.

Em relação aos estudos de secagem, sugere-se:

- 1- Mediante planejamento experimental e otimização, ampliar os estudos sobre os efeitos das variáveis operacionais, incluindo as condições de pré-tratamento osmótico, de modo a otimizar o processo de secagem dos tomates;
- 2- Estudar as isotermas de equilíbrio dos tomates secos;
- 3- Utilizar modelos matemáticos mais completos para serem aplicados tanto a cinética de secagem convectiva como a desidratação osmótica dos tomates.

Capítulo 7

Referências Bibliográficas

7. Referências Bibliográficas

ABUGOCH, L.; GUARDA, A. Estudio de la pérdida de ácidos ascórbico total em radajas de kiwi durante a deshidratacion osmotica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* Vol. 16(5): p. 15-17,1991.

AZEREDO, H. M. C.; JARDIM, J. G.; Desidratação osmótica de abacaxi aplicada a tecnologia de métodos combinados, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 20, 2000.

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

BARONI, A F.; Semi desidratação congelamento e semidesidratação secagem de cebola. 1997. 94f. *Dissertação de Mestrado*. Faculdade de Engenharia Química. UNICAMP. Campinas.

BASSOUONI, A. M.; TAYEB, A. M.; *Solar drying of tomatoes in the form of sheets*. Anais Third International Drying Symposium, J. C. Ashworth, Birmingham, UK, (1) pp 3 – 15, 1982.

BENMERGUI, E. A; FONTAN, C. F.; CHIRIFE, J. The prediction of water activity in aqueous solutions in connection with intermediate moistures foods. *Journal Food Technology*, Vol. 14, p. 625 – 637, 1979.

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

BECHTLUFFT, C. S.; SILVA, A R.; MIGUEL, H. M.; KIECKBUSCH, T. G. *Secagem acelerada de fatias de tomates por estruturação da superfície*. Resumos XV CBCTA. “Qualidade de Vida” Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, pp 33, 1996.

BISWAL, R. N.; BOZORGMEHR, K.; TOMPIKINS, F. D.; LIU, X.; Osmotic Concentration of greens beans prior to freezing. *Journal Food Science*. Vol. 56(4), p. 1008 – 1012, 1991.

BOUER, J.; Tomate é boa arma contra o câncer. Folha de São Paulo, Maio 1999. Disponível em: <http://www.cica.com.br>. Acesso em Maio/2001.

CARVALHO, V. D.; COLLINS, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. Características químicas e Industriais do tomate. *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, Vol. 6(66), p. 63-68, 1980.

CHEFTEL, J. C.; CHEFTEL, H.; *Introducion a la bioquimica y tecnologia de los alimentos*. Vol. I, Editora Acribia, 1976.

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

EMBRAPA. Área de comunicações e negócios. São Paulo, 2000

FOUST, A.S.; WENZEJL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B.; *Princípios das operações unitárias*. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Dois S. A. 1980, 670p.

FRANCO B. D. C. M.; MARIZA, L.; MARIA, T. D. *Microbiologia de alimentos*. Editora Atheneu, São Paulo, 1996.

FRENKEL, C.; JEN, J. J.; ESKIN M. N. A.; *Quality and Preservation of Vegetable*. Florida CRC Press, Inc. 1ª edição, 1989.

GAVA, A J.; *Princípios da Tecnologia de Alimentos*. 2ª ed. , São Paulo. Editora Nobel. p. 183 – 201, 1984.

GOULD, W. A.; *Tomato Production, Processing, and Quality Evaluation*. The Avi Publishing Company, Inc. Connecticut, 1974.

GUARDA, A; ALVAREZ, P. I.; Evaluacion estadisticas de um metodo repido y sencillo para determinar a actividade del agua en alimentos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol.16(3), p. 9 - 13, 1991.

GUPTA, R. G.; NATH, N.; Drying of tomatoes. *Journal of Food Science and Technology*. p.21-25, 1984.

GOULARTE, V. D. S.; ANTUNES, E. C.; ANTUNES, P. L.; Qualidade de maçã fuji osmoticamente concentrada e desidratada, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 20, 2000.

HONORATO, G. C.; OLIVEIRA, E. L.; COSTA, J. M. C.; MATIAS, M. F. O.; CURBELO, F. D. S.; GASPARETO, O. C. P.; Processamento de farinha a partir do rejeito do camarão (cefalotórax e exo-esqueleto) para complemento alimentar. SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS IV, 2001, Campinas/SP, **Livro de Resumos**, 357p.

IGARASHI, L.; *Estudo do pré-tratamento osmótico de tomate e seu efeito na secagem*, Dissertação (Mestrado), 1999. Departamento de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas/SP.

ISLAN M. N.; FLINK, J. N.; Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. *Journal Food Technology*. Vol. 17 (3), p.387 – 403, 1982.

JAYARAMAN, K. S.; GUPTA, D. K.; BABU RAO, N.; Effect of pre-treatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *International Journal of Science and Technology*. Vol.25, p.47 – 60, 1990

KARATAS, S.; ESSIN, A.; Scraped surface drier for tomato powder. *Engineering and Food*. p.686 – 694, 1990.

KARATHANOS V. T.; KOSTAROPOULOS, A. E.; Air drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technology*. Vol. 13, p. 1503 – 1521, 1995.

KAUFMAN, V. F.; WONG, F.; TAYLOR, D. H.; TALBURT, W. F. Problems in the production of tomato juice powder by vacuum. *Food Technology*. p.120 – 123, 1955.

LABUZA, T.P.; Nutrient losses during drying and storage of dehydrated food. *CRC Critical Review in Food Technol.* Cleveland, Vol. 3(3), 217-240, 1972.

LABUZA, T.P.; Properties of water as related to the keeping quality of foods. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, Washington, Proceeding, Vol. 3, p.618-635, 1970.

LAZAR, M. E.; BROWN A H; SMITH, G. S.; WONG, F. F.; LINDQUIST, F. E.; Experimental production of tomato powder by spray drying. *Food Technology*, p. 129 – 134, 1956.

LENART, C. R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA M.; BARTOLUCCI, L.; Osmotic dehydration of fruits. Influence of osmotic agents on drying behaviour and products quality. *Journal of Food Science*. Vol.50, p. 1217 – 1226, 1985.

LERICI, C.R.; PINNAVAIA G.; DALLA ROSA M. & BARTOLUCCI L. Osmotic dehydration of fruits pp. Influence of osmotic agents on drying behaviour and products quality. *Journal of Food Science*, (50), 1217-1226, 1985.

LEVI, A; RAMIREZ - MARTINEZ, J. R.; PADUA, H.; Influence of heat and sulphur dioxide treatments on some quality characteristics of intermediate - moisture banana. *Journal of Food Technology*. Vol. 15, p. 566, 1980.

LEVI, A.; GAGEL, S.; JUVEN, B.; Intermediate moisture tropical fruits products for developing countries I. Technological data on papaya. *Journal Food Technology*. Vol. 18, p.667 – 685, 1983.

LEWICK, P. P.; RAJCHERT, W. D.; NOWAK, D.; effect of pre-treatment on kinetics of convection drying of onion. *Drying Technology*. Vol. 16, p.83 – 100, 1998.

LIMA, L. M. O.; Estudo do aproveitamento do bagaço de frutas tropicais, visando a extração de fibras. 2001. 187p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P.; *Unit Operations*. 3ª ED. Editora McGraw-Hill, 1980.

McCANCE & WIDDOWSON.; *The composition of foods*, 1991. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tabela>. Acesso em fevereiro de 2001.

MEDEIROS, M. F. D.; DA MATA, A L. M. L.; ALSINA, O L. S.; MAGALHÃES, M. M. A.; Dehydration of tomate in soupeted bed using experimental planning. DRYING INTERNATIONAL CONGRESS, 2001.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos Químicos e Físicos para análises de alimentos*. Vol. 1, 3ª edição, São Paulo, 1985.

NSONZI, F.; RAMASWAMY, H. S.; Osmotic dehydration kinetics of blueberries. *Drying Technology*. Vol. 16, p. 725 – 741, 1998.

OLIVEIRA, E. L.; CURBELO, F. D. S.; MAGALHÃES, M. M. A.; GASPARETO, O. C. P.; HONORATO, G. C.; Efeito do pré-tratamento osmótico na secagem de abacaxi usando um sacador de bandejas. Estudo de alguns parâmetros cinéticos. SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS IV, 2001, Campinas/SP, **Livro de Resumos**, 357p.

OLORUNDA, A O.; AWORTH, O. C.; ONUOHA, C. N.; Upgrading quality of dried tomato: effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments. *Journal Science Food Agric.*, Vol. 52, p. 447 – 454, 1990.

PENA, L. M. R.; *Estudo de pré tratamento para a obtenção de tomates em fatias*. 1999, 129p. *Dissertação* (Mestrado em Engenharia Química), faculdade de Engenharia Química, Engenharia de Processos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H.; Manual de Engenharia Química, 5ª Ed. Editora Guanabara Dois A, 1980.

POINTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L.; Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, Vol. 20, p. 125 – 128, 1966.

PONTING J. D.; Osmotic Dehydration of fruits. Recent modifications and applications. *Process Biochemistry*, Vol. 8, p. 18-20, 1973.

RAHMAN, M. S.; LAMB, J.; Osmotic dehydration of pineapple. *Journal of Food Science Technology*. Vol. 27, p. 150 – 152, 1990.

RAOULT-WACK, A. L.; BOLTZ, O.; GUILBERT, S.; RIOS, G.; *Drying Technology*. Vol.9(3), p.630-642, 1991.

RAOULT- WACK A L.; GUILBERT, S. & LENAERD, A; *In drying of solids*. International Science Publisher, 1992.

RAOULT- WACK A L.; Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Foods and Technology*. Vol. 5, p. 255 – 260, 1994.

SALTOS, H. A. ; ROBALINO, D. Influencia del agente osmotico sobre las transferencias de calor y massa en trozos de piña y papaya, durante a fase de secado en cabina en um processo combinado com preconcentracion osmotica, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 16(4), p. 37-38, 1991.

SALUNKHE, D. K.; DESAI, B. B.; *Posthervest Biotechnology of Vegetables*. CRC Press, Inc. Florida, 1984, 208p.

SANTOS, F. F. B.; *Obtenção de cebolas utilizando pré-tratamento por desidratação osmótica em mistura de solutos*. 1998, 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SAPUTRA, D.; Osmotic dehydration of pineapple. *Drying Technology*. Vol. 19, p. 415 – 425, 2001.

SHI, J. X.; MAGUER, M.; WANG, S. L.; LIPTAY, A.; Application of osmotic treatment in tomato processing – effect of skin treatment on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. *Food Research International*. Vol. 30(9), p. 669 – 674, 1997.

SHIDU, H. S.; COLLINS, J. L.; PENFIELD, M. P.; Dried tomato produced by osmotic concentration and dehydration. In.: IFT Anual Meeting, FSTA Current, 1995 (cd-rom).

SILVA, V. A.; Efeito de pré-tratamento químico na taxa de secagem de acerola em monocamadas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) UFPB, p. 92, 1998.

SPECK, M. L.; *Compendium of methods of the microbiological examination of foods*, A. P. H. A., 1976.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T.; Drying principles, applications and design. *Gordon and Breach Science Publishers*, New York. 1986, 448p.

TAVARES C.; RODRIGUEZ – AMAYA, D. B.; Carotenoid composition of brazilian tomatoes and tomato products. *Lebensmittel – Wissenschaft and Technology*, Vol. 27, p. 219 – 224, 1994.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBNNETTA, P. A.; *Análise sensorial de alimentos*. 1ª Ed. Florianópolis, UFSC. 1987.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. *Food Science and Technology*. p. 58-60 , 1993.

VERGARA, B. F.; WELTI, J.; Actividad de água: conceto e aplicación en alimentos com alto contenido de humedad. In.: *Temas em Tecnologia de Alimentos*, Instituto Politécnico nacionafl, México. 1997, p.11.

WELTI, J.; PALOU, E.; LOPEZ – MALO, A.; BALSEIRA, A.; Osmotic concentration – dryinh of mango slices. *Drying Technology*, Vol.13, p. 405 – 416, 1995.

ZOLULEVICH, B. V.; CHUMAK, Z. Y.; Osmotic dehydration of vegetables tissue in a salt solution *Konservnaya I Ovosshchessushil'naya – Promyshlennost*, Vol. 4; p.42 – 43, 1974 (resumo).

Anexos

ANEXO

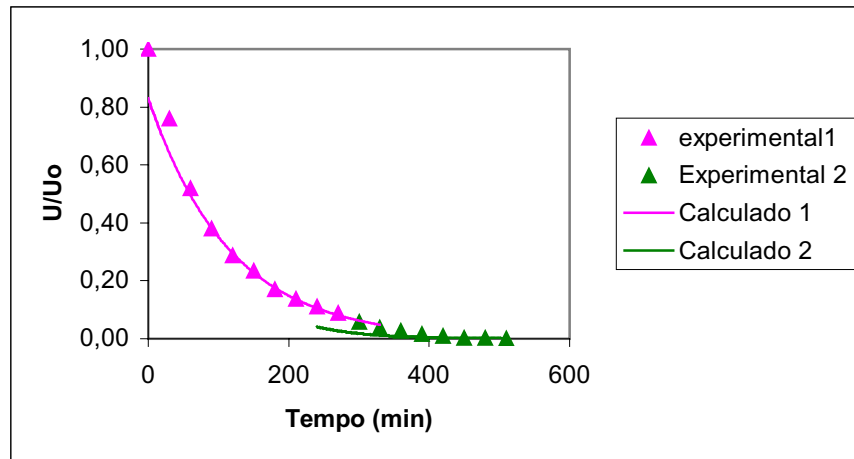


Figura 1: Modelagem da cinética de secagem do tomate pré-desidratado osmoticamente com pele no secador convectivo a 50°C.

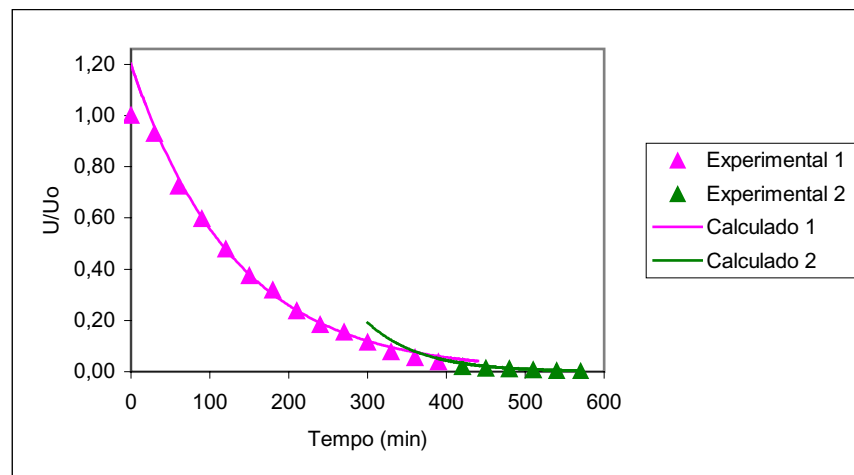


Figura 2: Modelagem da cinética de secagem do tomate pré-desidratado osmoticamente com pele na estufa a 60°C.

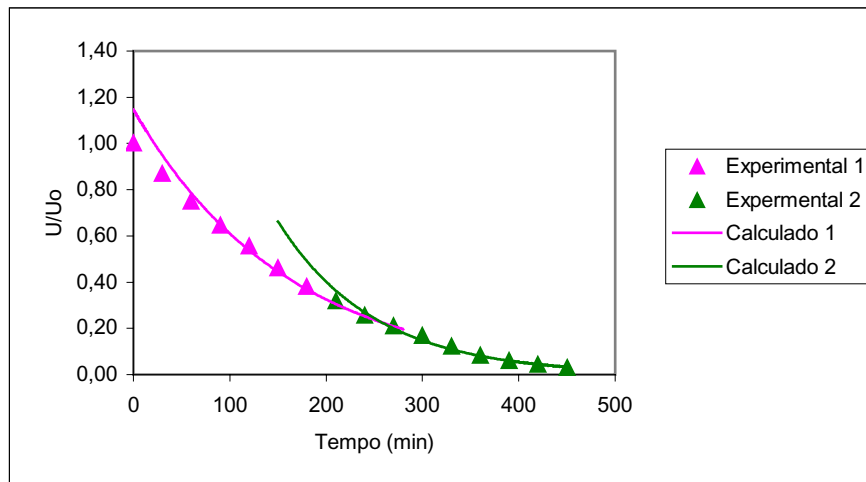


Figura 3: Modelagem da cinética de secagem do tomate *in natura* com pele no secador convectivo a 60°C.

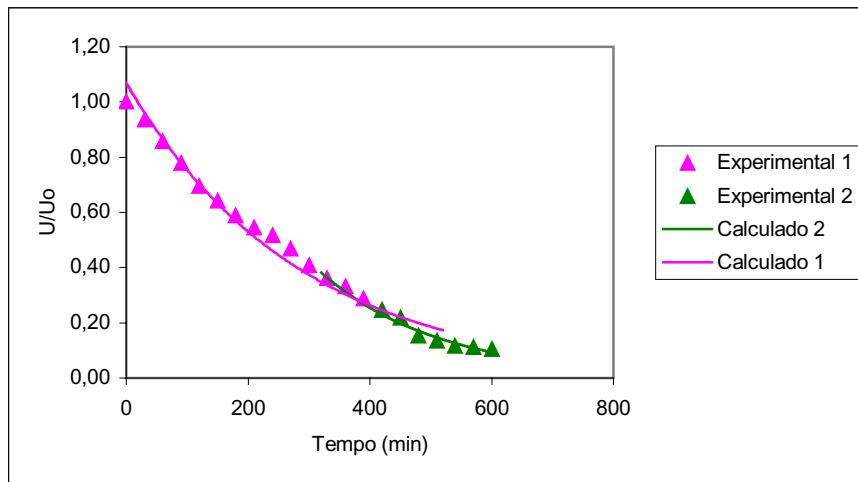


Figura 4: Modelagem da cinética de secagem do tomate *in natura* com pele na estufa a 50°C.

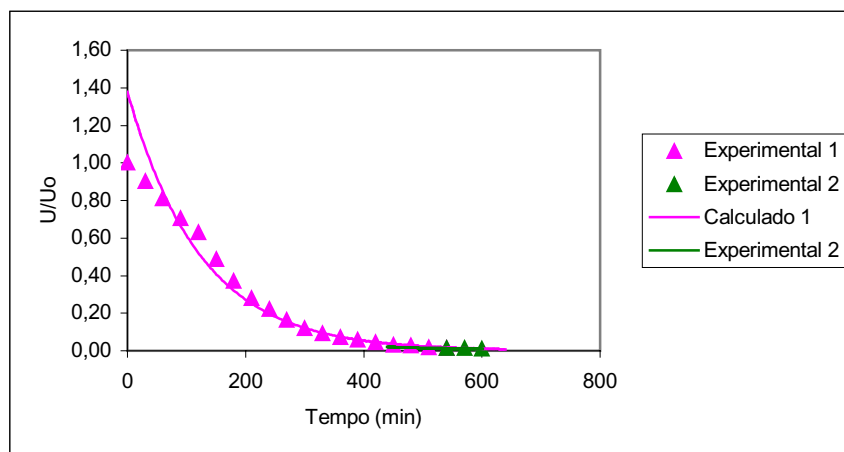


Figura 5: Modelagem da cinética de secagem do tomate pré-desidratado osmoticamente sem pele na estufa a 60°C.

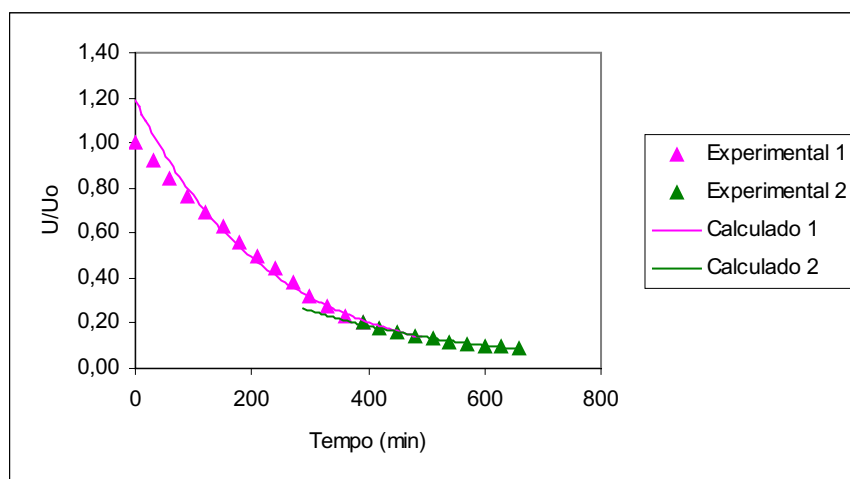


Figura 6: Modelagem da cinética de secagem do tomate pré-desidratado osmoticamente sem pele na estufa a 60°C.

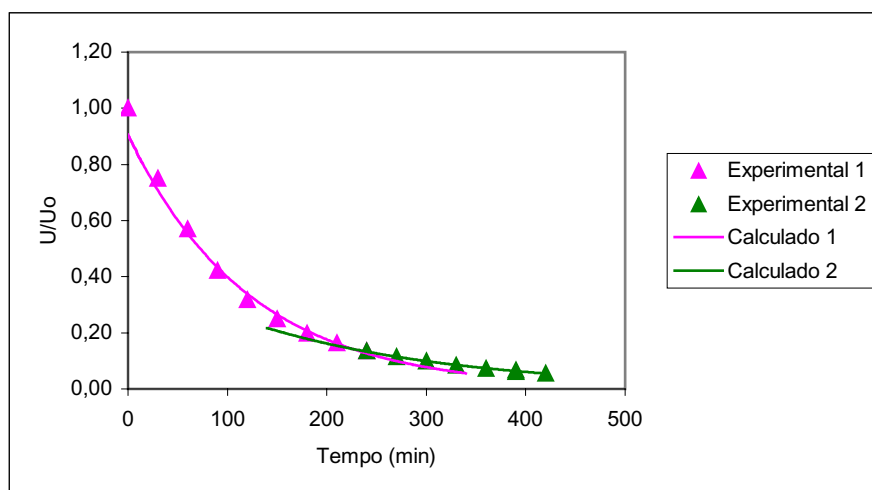


Figura 7: Modelagem da cinética de secagem do tomate pré-desidratado osmoticamente sem pele no secador convectivo a 60°C.