



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos



Secagem de Figo (*Ficus Carica L.*) da variedade “Gigante de Valinhos” em Secador de Bandejas

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **Honorato Ccalli Pacco** aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de abril de 2003.

HONORATO CCALLI PACCO
(Engenheiro de Alimentos)

Campinas, 28 de abril de 2003.

Prof. Dra. Florencia Cecilia Menegalli
Presidente da Banca

Profa. Dra. FLORENCIA CECILIA MENEGALLI
(Orientadora)

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

Campinas-SP, 2003

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE	30
Nº CHAMADA	TITULARES P114s
V	EX
TOMBO BCI	54520
PROC.	16-124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	02/10/103
Nº CPD	

CM00186558-5

118 13 17.053

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

P114s	<p>Pacco, Honorato Cealli Secagem de figo (<i>Ficus Carica L.</i>) da variedade “Gigante de Valinhos” em secador de bandejas / Honorato Cealli Pacco. – Campinas, SP:[s.n.], 2003.</p> <p>Orientador: Florencia Cecilia Menegalli Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.</p> <p>1.Figo. 2.Ficus Carica. 3.Passas. 4.Secagem. 5.Umidade. I.Menegalli, Florencia Cecilia. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.</p>
-------	---

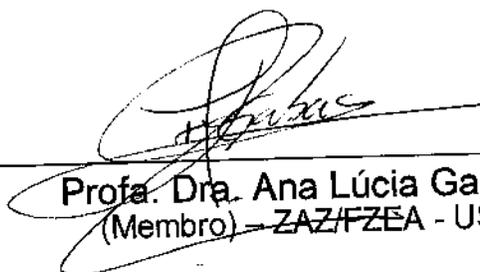
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Florença Cecilia Menegalli
(Orientadora) – DEA/FEA - UNICAMP



Prof. Dr. Kil Jin Park
(Membro) – FEAGRI - UNICAMP



Prof. Dra. Ana Lúcia Gabas
(Membro) – ZAZ/FZEA - USP

Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto
(Membro) – DEA/FEA - UNICAMP

602328511

Todas as coisas do universo manifestam-se em nós através do pensamento. Assim, quando sonhamos com alguma coisa e desenhamos mentalmente o seu “esboço”, este “projeto” passa a constituir uma força propulsora que nos leva a agir de modo a concretizá-la em nossas vidas.

Livro dos Jovens

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido.

Não está na vitória propriamente dita”

Mahtma Gandhi

Dedico

À Gladys, minha mamãe,
Nena, Chila, tias queridas
Obrigado por existirem

Apesar de todos os meus defeitos, obrigado
pelo estímulo, incentivo e compreensão.

Elissa (*in memoriam*)

Por suas filhas que me ajudaram muito, obrigado na eternidade.
Salome, Luisa, José, Pablo, Felipe (*in memoriam*), muito obrigado
pelos seus bons conselhos para estudar.

Antonio, Raúl (*in memoriam*)....vocês sempre quiseram o melhor para
mim, minha eterna gratitude.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor, Nosso Deus, por ter me dado saúde, por mais uma vez ter me permitido alcançar este sonho;

À Professora Dra. Florência Cecília Menegalli pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, pela orientação, confiança, compreensão, paciência e dedicação ao longo deste trabalho;

Aos professores Dr. Kil Jin Park, Dra. Ana Lúcia Gabas e Dr. Luiz Antonio Viotto pela atenção, correções e sugestões para melhorar o presente trabalho;

À minha querida família, muito obrigado por me apoiar em todo momento;

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos, FEA, UNICAMP, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado;

Aos professores da Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Alimentos FEA/UNICAMP;

À Universidade Estadual de Campinas pelas bolsas auxílio oferecidas pelo Serviço de Apoio ao Estudante (SAE), muito obrigado;

Aos meus colegas da minha Faculdade de Engenharia em Industrias Alimentarias-FAIA, UNJBG que fizeram possível a realização do Mestrado: Miguel, Samuel, Luis, Nicolas, Amélia, Rolando, Juan, Liliana, muito obrigado;

Aos meus colegas da UNJBG: ao Dr. Eli, pela amizade e pelos conselhos de estudo do Mestrado, muito obrigado; ao Dr. Quitério, pelo apoio, confiança e amizade depositada em mim, ao Ing. Hector, pela amizade e conselhos, muito obrigado;

Aos funcionários da UNJBG, pelo excepcional apoio em todos os momentos solicitados;

Aos funcionários da FAIA-UNJBG, em especial a Tina e Mercedes, pelo apoio que me ofereceram em todo momento;

Ao Ing. Estanislao Saavedra, pela amizade, confiança e conselhos;

À Universidade Nacional “Jorge Basadre Grohmann” Tacna, que possibilitou o meu estudo no curso de Mestrado na FEA-UNICAMP;

Ao meu grande amigo de São Jose de Boa Vista: Carlos C. e família. pela sua boa amizade e confiança nos momentos de estudos no curso de PG, e também, nos momentos de descanso, muito obrigado de coração por todo, nunca esquecerei de vocês;

Aos amigos e companheiros de estudo de PG, DEA/FEA; Raul, Lucinewton, Raggi, Joel, Marcelo, Divair, Olim, José, Noé, Sócrates, Elmer, Fábio A., Paula, Clarissa, Ana Paula, Kelly, Nádia, Graziella, Patricia S., Patricia K., Saartje, Olga, Lucielen, Bia, Angela, muito obrigado;

À Eliana, Aline, Mari, Katiuchia, Severina e Lyssa, muito obrigado pela valiosa e especial colaboração no laboratório do LEP/DEA, FEA; de forma igual para Edméia, Leila, Ana Luiza, Luciana, Delia, Ângelo;

Aos amigos da Pós da FEA: Daniel, Bernardo, André, Júnior, Flávio, Luciano, Denise, Suzi, Helen, Sueli, Juliana, Jacqueline, Sara, obrigado;

Aos amigos: Florentino, Valter, Percy, Cristian e Diego, valeu morar como família, na casa O-9;

Aos amigos peruanos da UNICAMP: Jeam, Juan, Lucho, Juan José, Pascual, Harol, Mario, David, Nicolás, Abdom, Justo, Pepe, Richard, Pablo, Lecci, Karen, Maria, Gliseida, Mónica, Milusca, Gladis, Verenice, Claudia;

Aos meus colegas de estudo de graduação FAIA, UNJBG: em especial a Percy A. e Javier C, pelo apoio, amizade, confiança e companherismo em todo momento, assim também a Percy O. , Javier P., Alberto, Marcial, Orietta, Ana Maria, Lyris, Graciela, Yurema, Leslie, muito obrigado por todo;

Ao Dr. Astorga (UNA-PUNO), pelo apoio, amizade e confiança;

Ao meus amigos e colegas Adrian, e Malco (UNAL-LIMA), obrigado pelos seus conselhos e amizade;

Aos meus irmãos Samuel, Pablo, Benjamin, obrigado pelo apoio e compreensão;

Aos irmãos Pepe e senhora, Fernando e Renza, pelo apoio que me deram em todo momento, muito obrigado;

Aos irmãos Magi, Gabi, Cecilia e Pablo, muito obrigado;

Aos irmãos Maria Luisa, Mario e Antonio, muito obrigado por tudo;

Ao Jorge Vargas e família, pela confiança e apoio em todo momento;

À família Viacava, em especial a Luis, Humberto e Elena, muito obrigado;

À família Alcazar, em especial a Ricardo, pela amizade, confiança e apoio;

Ao Luis, muito obrigado pelo apoio na administração financeira em Tacna;

À Célia e Onivaldo, muito obrigado pelo fornecimento dos figos,...valeu Valinhos!!!;

À Joyce, pela ajuda no Laboratório de Engenharia de Processos, LEP/DEA, FEA;

Ao Nucleo Setorial de Informática NSI - DEA/FEA, em especial ao Mauro B. pela valiosa ajuda em todo momento.

À Ana Lourdes, pela atenção e ajuda na análise da cor;

Ao pessoal da Secretaria de Pós-Graduação, em especial ao Cosme pela gentileza e paciência em todo momento, muito obrigado;

Aos bibliotecarios da FEA, BAE e BC, IMECC, pelo especial serviço e empréstimo bibliográfico;

À todas as pessoas que de forma direta, ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho;

Ao todo Brasil por me receber com os braços abertos.....valeu Campinas!!!;

Ao meu país, querido Perú.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	xix
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
NOMENCLATURA.....	xxiii
RESUMO	xxvii
ABSTRACT.....	xxxix
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIGRÁFICA.....	04
2.1. Figo.....	04
2.1.1. Aspectos econômicos da produção e industrialização.....	05
2.1.2. Propriedades organolépticas.....	06
2.1.3. Composição química do figo (<i>Ficus carica L</i>)	06
2.2. Umidade de equilíbrio.....	07
2.2.1. Métodos de medida	09
2.2.2. Modelos matemáticos	10
2.2.3. Calor isostérico de sorção.....	14
2.2.4. Propriedades físicas	16
2.3. Secagem de frutos.....	21
2.3.1. Período de secagem a taxa constante	22
2.3.2. Período de secagem a taxa decrescente	23
2.4. Secagem de figo.....	28
2.5. Cor em alimentos.....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. Matéria primas.....	31
3.2. Caracterização da matéria prima.....	35

3.3. Ensaaios preliminares.....	35
3.4. Isotermas de sorção.....	37
3.5. Calor de sorção.....	39
3.6. Secador.....	40
3.7. Operação do equipamento.....	41
3.8. Variação de propriedade físicas durante a secagem.....	43
3.9. Determinação de umidade das amostras.....	44
3.10. Avaliação instrumental da cor.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Características da matéria-prima.....	47
4.2. Isotermas de sorção.....	47
4.2.1. Curvas de dessorção de umidade	47
4.2.2. Curvas de adsorção de umidade e histerese	52
4.2.3. Calor isostérico de sorção	59
4.3. Coeficiente de encolhimento e densidade aparente	63
4.4. Cinética de secagem	71
4.4.1. Efeito dos pré-tratamentos	71
4.4.2. Efeito da temperatura do ar da secagem	77
4.4.3. Equações de secagem	83
4.4.4. Figos em rodela e in natura secos a diferentes temperaturas.....	90
4.5. Avaliação da cor instrumental do figo.....	95
4.5.1. Avaliação da cor em figos in natura e inteiros.....	95
4.5.2. Avaliação da cor em figos em rodela.....	101
5. CONCLUSÕES.....	103
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
APÊNDICE A. Teor de umidade de equilíbrio.....	112
APÊNDICE B. Estudo da cinética da secagem do figo.....	113

INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do figo (<i>Ficus carica</i> L.)	07
Tabela 3.1: Variação da Umidade relativa de Equilíbrio com a Temperatura	38
Tabela 3.2: Equações para determinar Umidade relativa de equilíbrio	39
Tabela 4 .1: Caracterização química do figo utilizado nos experimentos	47
Tabela 4.2: Parâmetros dos modelos de GAB, Halsey e BET (Dessorção) .	52
Tabela 4.3: Parâmetros dos modelos de GAB, Halsey e BET (Adsorção)...	55
Tabela 4.4: Valores experimentais para cálculo do encolhimento (Inteiros) .	64
Tabela 4.5: Valores experimentais para cálculo do encolhimento (rodela) .	68
Tabela 4.6 Valores de umidade relativa do ar de secagem (inteiros)	79
Tabela 4.7: Coeficiente de determinação (R), χ^2 (χ^2), dos modelos	89
Tabela 4.8: Parâmetros do Modelo Exponencial com 2 termos	89
Tabela 4.9: Parâmetros do modelo de Page	90
Tabela 4.10: Valores de umidade relativa do ar de secagem (rodela)	91
Tabela 4.11: Valores da difusividade efetiva estimada, modelo difusional ...	95
Tabela 4.12: Valores de L^* , a^* , b^* , ΔE^* e ΔC^* do Figo SM	101
Tabela 4.13: Valores L^* , a^* , b^* , ΔE^* e ΔC^* do Figo SM em rodela ..	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Figo (<i>Ficus Carica L.</i>) Variedade "Gigante de Valinhos"	33
Figura 3.2: Figo em metade	33
Figura 3.3: Fluxograma dos ensaios preliminares	36
Figura 3.4: Secador convectivo de Bandejas	41
Figura 4.1: Isotermas de dessorção de polpa do figo	49
Figura 4.2: Isotermas de adsorção de polpa do figo	53
Figura 4.3: Fenômeno histerese para polpa do figo, a 25°C.....	57
Figura 4.4: Fenômeno de histerese para polpa de figo, a 40°C.....	57
Figura 4.5: Fenômeno de histerese para polpa de figo, a 60°C.....	59
Figura 4.6: Relação entre a atividade de água e temperatura	61
Figura 4.7: Influência da quantidade de umidade no calor de sorção	61
Figura 4.8: Encolhimento volumétrico versus umidade.....	65
Figura 4.9: Densidade aparente versus umidade adimensional	65
Figura 4.10: Encolhimento volumétrico versus umidade adimens.(rodela) .	69
Figura 4.11: Densidade aparente versus umidade adimens. (rodela)	69
Figura 4.12: Curvas de secagem de figo a 45°C	73
Figura 4.13: Curva de secagem de figo a 60°C	75
Figura 4.14: Curvas de secagem de figo a 75°C	75
Figura 4.15: Efeito da temperatura do ar de secagem, tratamento T	79
Figura 4.16: Efeito da temperatura do ar de secagem, tratamento P	81
Figura 4.17: Efeito da temperatura do ar de secagem, tratamento BC	81
Figura 4.18: Efeito da temperatura do ar de secagem, tratamento BS	83
Figura 4.19: Curva de secagem do figo à temperatura de 45°C, ajustado....	85
Figura 4.20: Curva de secagem do figo à temperatura de 60°C, ajustado....	87
Figura 4.21: Curva de secagem do figo à temperatura de 75°C, ajustado ...	87
Figura 4.22: Curva de secagem do figo em rodela	91
Figura 4.23: Ajuste dos dados experimentais da cinéticas de secagem	95
Figura 4.24: Avaliação da cor nos pré-tratamentos	99

NOMENCLATURA

- a constante da equação (2.20)
- a_w atividade de água
- A constante equação (2.5), (2.12), (2.21)
- b constante da equação (2.14), (2.21)
- B constante modelo Oswin (Eq. 2.12)
- C_{BET} constante de Guggenheim ou de BET adimensional.
- C_1, C_2 constante equação (2.48), Mod. Exponencial 2 termos (2.49)
- c' contante da equação (2.10)
- c constante da equação Henderson (2.15)
- D_{ef} difusividade efetiva (m^2/s)
- dX/dt taxa de secagem
- G constante da equação de Page (2.44)
- H_m calor total de sorção da primera camada
- H_n calor total de sorção das multicamadas
- H_{vap} calor de vaporização (J/mol)
- ΔH_{BET} = entalpia de adsorção da monocamada (J/g)
- h coeficiente de transferência de massa ($w/m^2 \cdot C$) Eq. (2.38)
- J constante da equação de Page.
- K_o constante da equação (2.11)
- K constante da equação Halsey e GAB
- K_1, K_2 constante modelo Peleg (2.13), Eq. (2.49)
- k' constante da equação (2.3)
- M, X/X_o umidade adimensional
- m umidade da massa (2.34)
- m_{eq} massa amostra quando atingido o equilíbrio (g)
- m_s, m_w massa do sólido seco e da água (2.2.2)
- n número de camadas moleculares (2.2), constante Eq. (2.15)
- n_1, n_2 constante do modelo Peleg
- p constante da equação Iglesias e Cherife (2.14)
- P Pressão do vapor de água no alimento
- P_o Pressão do vapor de água pura na mesma temperatura
- Q_{st} calor isósterico de sorção
- q_{st} excesso de calor isostérico de sorção [$H.M^{-1}$]
- q_o calor isósterico de sorção da primeira molécula de água
- R constante dos gases (J/mol $^\circ K$)
- T_{bu} temperatura bulbo úmido ($^\circ C$)
- T_a temperatura ambiente ($^\circ C$)
- R_v encolhimento volumétrico (2.36)
- r constante da equação de Halsey
- S constante da equação de Halsey

t	tempo
UR	umidade relativa
V	volume específico ($x=0$) Eq. (2.21)
V_o	volume específico do material (2.21)
V_s, V_w, V_a	volume do sólido, da água e dos poros (2.20)
X	umidade da amostra (g água/g sólidos)
X_m	umidade na monocamada (g água/g sólidos)
X_{eq}	umidade de equilíbrio (g água/g sólidos)
X_o	umidade característico do material alimentício (g água/g sólidos)

Letras Gregas

α	densidade aparente de sólido seco [M.L ⁻³] (2.20)
β	coeficiente de encolhimento (Eq. 2.20), (2.28)
δ	constante (Eq. 2.20)
γ	constante (Eq. 2.20)
λ	calor de vaporização de água pura (2.16)
ρ_{apa}	densidade aparente do sólido
ρ_b	densidade aparente do material
ρ_p	densidade da partícula (2.30)
ρ_s	densidade de sólido seco (2.30)
ρ_w	densidade da água
ε	porosidade
v	volume específico do material no conteúdo de umidade X
v_o	volume específico em $X = 0$

TESE DE MESTRADO

AUTOR: Honorato Ccalli Pacco

TITULO: Secagem do Figo (*Ficus Carica L*) variedade "Gigante de Valinhos" em secador de bandejas.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, FEA-UNICAMP, SP.

RESUMO

Estudou-se a secagem de figo (*Ficus carica L.*) da variedade "Gigante de Valinhos", obtido no Município de Valinhos no Estado de São Paulo. Os figos devidamente transportados desde o centro de abastecimento, foram selecionados, classificados, lavados, escorridos e seguidamente pré-tratados, obtendo-se as seguintes especificações: inteiro *in natura*, inteiro perfurado, inteiro branqueado com casca, inteiro branqueado sem casca. A partir de ensaios preliminares optou-se pela utilização de figos semi-maduros, já que apresentaram melhores características para a secagem. O produto foi submetido à secagem a 45, 60 e 75°C a uma velocidade constante do ar de 1 m/s. Utilizaram-se também figos em rodela com espessura de 10 mm, os quais foram classificados como semi-maduros nos ensaios preliminares, com características similares aos figos *in natura* inteiros e igualmente secos nas condições de secagem citadas anteriormente. Os figos branqueados sem casca e em rodela secos a 60°C foram os que apresentaram melhores características de cor e aparência. A isoterma de sorção foi realizada a 25, 40 e 60°C, encontrando-se a presença de histerese para cada temperatura. Os dados experimentais do calor isostérico de sorção foram ajustados através da equação de TSAMI. Os valores experimentais dos

coeficientes de encolhimento foram ajustados pela equação de LOZANO. No estudo da cinética da secagem, não houve o período de secagem a taxa constante bem definida, ocorrendo somente o período decrescente, tanto para figos inteiros como para figos em rodela. A equação de Page foi a que melhor ajustou a curva da secagem de figo inteiro. Os dados obtidos foram correlacionados através de diversas equações, a fim de se encontrar a mais adequada ao projeto e simulação de secadores. Tanto as curvas da cinética de secagem como os dados de sorção foram ajustados com o auxílio do Software Gráfico STATISTICA versão 5,0. A cor do produto foi medida pelo sistema CIELab* em espectrofotômetro Color QUEST II.

Palavras-chaves: Figo, *Ficus Carica*, Passas, Secagem, Umidade .

MASTER DEGREE THESIS

AUTOR: Honorato Ccalli Pacco

TITLE: Drying of figs (*Ficus Carica L.*) "Gigante de Valinhos" variety in atray dryer.

SUPERVISOR: Dra. Florencia Cecilia Menegalli.

DEPARTAMENT OF FOOD ENGINEERING, FEA-UNICAMP SP, BRASIL

ABSTRACT

The study of the drying of the fig was accomplished (*Ficus carica L.*) with fruits obtained in the district of Valinhos of the State of São Paulo. The figs were properly transported from the center of provisioning, then they were selected, classified, washed, drained and pretreated, obtaining the following specifications: whole *in natura*, whole perforated, whole blanched with skin, whole blanched without skin. From the results of preliminary tests, it was chosen to use semiripe figs that presented better characteristics for drying. The product was submitted to drying at 45, 60 and 75°C and a constant air speed of 1 m/s. Slices of figs were used with 10 millimeters thickness, which had been classified as semiripe in the preliminary tests, with similar characteristics to the whole figs and *in natura* fruit semiripe and they were dried in the conditions cited above. The blanched figs without skin cut in slices and dried at 60°C presented the best color and appearance characteristics. The sorption isotherms took place at temperatures of 25, 40 and 60°C, showing hysteresis for each temperature. The experimental data of the isosteric sorption heat were adjusted through the equation of TSAMI. The experimental values of the shrinkage coefficients were adjusted by the equation of LOZANO. In the study of drying kinetics, a constant rate of the drying period at a

defined constant rate did not appear, occurring, only the decreasing period, for whole figs and for figs in slices. The equation of Page presented the best fit for the whole fig drying curves. The obtained data were correlated with several equations, with the objective of determining an appropriate equation to the design and simulation of dryers. The curves of drying kinetics and the sorption data were adjusted with the Graphic Software STATISTICA version 5.0. The color of the product was measured by the system CIELab * in a spectrophotometer Color QUEST II.

Key-words: Fig, *Ficus carica*, Raisin, Drying, Moisture

1. INTRODUÇÃO

A desidratação de produtos alimentícios é um processo largamente empregado com distintos propósitos: aumento da vida-de-prateleira, redução de custos de embalagem, transporte e armazenamento, modificação de atributos sensoriais e encapsulação de aromas. Em decorrência de sua antigüidade - sua utilização é quase tão remota quanto a agricultura.

No caso de frutas e hortaliças, o consumidor vem aumentando suas exigências no sentido de obter produtos que mantenham características o mais próximo possível do material fresco e que tragam facilidades no manuseio e preparo. Em termos industriais, isso significa o desenvolvimento de operações que minimizem os efeitos adversos do processamento. Na desidratação, em particular, implica na minimização da perda de aromas, de alterações de cor e textura, e da perda de nutrientes. Além disso, as atividades enzimática e microbiana residuais são parâmetros críticos a serem considerados (MEDINA, 1978).

Por outro lado, alguns dos principais fatores relacionados à perda de qualidade de alimentos desidratados estão relacionados às alterações estruturais causadas pelo encolhimento durante a secagem. Dessa forma, um estudo do fenômeno do encolhimento e de outras propriedades físicas, como a densidade aparente e a porosidade, é de grande importância para a modelagem matemática e para a avaliação da influência do processo de secagem sobre a qualidade do produto (SARAVACOS, 1986).

O figo é um fruto muito apreciado, não só pelo seu aroma agradável e sabor refrescante (ligeiramente ácido), mas também por suas qualidades nutricionais, pois considera-se que a fruta é uma boa fonte de vitaminas A, B e C, minerais e apresenta um alto conteúdo de cálcio (78,2 mg/100) ainda maior que o leite de vaca; não tem gorduras nem colesterol, e o conteúdo de fibra é mais alto que qualquer outra fruta fresca ou seca, além disso, possui um alto conteúdo em potássio. O figo mais consumido no mercado interno como fruta fresca é o Roxo de Valinhos, devido às suas características de polpa suculenta e adocicada que atendem às preferências do brasileiro (MORTON, 1987).

A produção nacional da figo está concentrada principalmente no estados de Minas Gerais (318 e 321 ha), São Paulo (825 e 487 ha) e Rio Grande do Sul (1312 e 1278 ha), dados de produção dos anos de 1993 e 1994 respectivamente. (Anuário E.B. 1996). Entretanto o Brasil é um grande importador de frutas desidratadas, sendo o figo seco para o consumo interno, adquirido dos EUA, Turquia e alguns países do Oriente médio.

O município de Valinhos no Estado de São Paulo é o principal produtor de figo da América latina, entretanto, toda a produção é comercializada "*in natura*", causando grandes perdas na pós-colheita. Em países de clima tropical, a produção de frutas e hortaliças é muito grande, e uma boa porcentagem é perdida durante a colheita e o transporte, rumo aos centros de distribuição devido à falta de técnicas eficientes para sua conservação ou processamento. Algumas dessas técnicas são custosas, complexas ou não estão disponíveis. A vida de prateleira das frutas "*in natura*", em geral, é curta. Há vários métodos que podem ser utilizados para aumentar a vida de prateleira das frutas.

Um dos procedimentos mais importantes de conservação de alimentos e por diminuição de sua atividade de água (a_w) através da desidratação ou secagem. Considerando que a maioria dos produtos vegetais é constituída por mais de 80% de água, o processo de secagem implica em uma considerável redução de custos em transporte e manipulação do produto, além de prover um efetivo método de prolongamento de sua vida útil (MORTON,1987).

Uma justificativa a este trabalho é a importância econômica e social da hortifruticultura no estado de São Paulo e a necessidade de aperfeiçoamento dos processos de desidratação de frutas e hortaliças como forma de reduzir desperdícios e obter produtos de maior valor agregado.

Este trabalho teve como objetivo principal estudar as variáveis de processo para obtenção de figo seco utilizando como matéria prima o figo da variedade "Gigante" de Valinhos; e como objetivos específicos: obter as curvas de cinética de secagem, isotermas de sorção, estudar a influência dos pré-tratamentos do figo, e estudar o encolhimento em função das condições de secagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Figo

A figueira (*Ficus carica* L.) é botanicamente classificada na ordem Urticales, família Moraceas, sub-família Artocarpoideas (fruto com suco leitoso, filetes eretos), (BARROS & GRAÇA 1936). O gênero *Ficus* abrange aproximadamente 2000 espécies entre árvores arbustos e plantas sarmentosas, nativas de regiões tropicais e subtropicais. A única espécie de valor econômico é a *Ficus carica*, (SIMÃO 1971).

Segundo CONDIT (1947), as espécies do sub-gênero *Eusyce* - ao qual pertence a figueira cultivada - caracterizam-se por produzir frutos nas axilas das folhas e por apresentar flores unissexuais; as masculinas e as femininas de estilete curto são encontradas num grupo de receptáculos, enquanto as flores femininas de estilete longo, em outro grupo. No caso da *Ficus carica*, esses dois grupos de receptáculos são encontrados separadamente, em plantas distintas, caracterizando-a como espécie dióica. As flores masculinas desenvolvem-se os caprifigos (frutos tipo selvagem) e as femininas, os frutos comestíveis.

Os verdadeiros frutos da figueira são os aquênios, que se formam pelo desenvolvimento das flores no interior dos figos (SIMÃO 1971). O aquênio é um pequeno fruto indeiscente monocarpelado, derivado de um único ovário e com uma semente unida à parede do fruto por um só ponto (GREULACH 1976). Os aquênios normais apresentam o embrião envolvido pelo endosperma e pelo tegumento. A parte suculenta do figo comestível consiste, principalmente, de tecido parenquimatoso dos órgãos florais, cujas células tornam-se maiores por armazenar substâncias de reserva (CONDIT 1932).

O fruto da figueira é comumente identificado como o figo, propriamente dito. No entanto, este não passa de um receptáculo carnoso, de casca fina e macia, em cujo interior encontram-se os verdadeiros frutinhas, as sementinhas e os restos

das flores da figueira sendo todo conjunto completamente comestível. Por dentro, a massa rosada ou esbranquiçada é refrescante e se desmancha na boca, podendo variar o seu sabor entre o insípido e o muito doce. Muito delicados, os figos machucam-se facilmente, o que dificulta o seu acondicionamento, preservação, transporte e comercialização *in natura*. Por este motivo desde os primórdios de sua utilização pelo homem aprendeu-se a aproveitar de outras formas suas qualidades. Assim, de acordo com sua destinação futura, sejam provenientes de pomares caseiros ou comerciais, os frutos das figueiras devem ser colhidos em diferentes estágios de maturação: os figos verdes se destinam basicamente à confecção de doces e compotas; os semi-maduros são usados para a produção do figo-rami, espécie de passa de figo; os maduros são para produção de doces em pasta ou figada, ou ainda para consumo *in natura*. Conforme as características de suas flores e formas de frutificação, existem quatro tipos gerais de *Ficus carica*: Caprifigo, Smirna, comum e São Pedro Branco, sendo que as variedades mais cultivadas em todo o mundo pertencem ao tipo comum. No Brasil, ocorre o mesmo: a variedade Roxo de Valinhos (município do interior de São Paulo onde a produção de figos é bastante antiga e volumosa) é a mais cultivada comercialmente e pertence, também, ao tipo comum.

O figo é anti-oxidante, laxante, diurético, peitoral, digestivo, bom para o figado, depurativo do sangue. O decocto de figo, em gargarejos é bom para curar irritações da garganta; um figo partido, que tenha sido previamente cozido em leite, é bom remédio para combater as inflamações da boca, os abscessos das gengivas, etc. Um figo seco, cozido com água ou leite, é béquico e expectorante. Aos que sofrem de cálculos renais ou biliares, recomenda-se comer figos frescos.

2.1.1. Aspectos econômicos da produção e industrialização

O Brasil pode ser considerado um grande produtor de frutas. Essa atividade utiliza em torno de 2,2 milhões de hectares, com colheitas na ordem de 30 milhões de toneladas.

O Brasil cultiva, aproximadamente, 2548 hectares com figueiras, verificando-se a diminuição médio de 14%, em áreas plantadas, nos anos de 1993 e 1994, segundo Anuário E.B., (1996).

O figo representa, ainda, pequena parcela da produção de frutos. Segundo GOMES (1989), as possibilidades de cultivo da figueira no Brasil são muito promissoras, mostrando elevada potencialidade produtiva nas mais diversas regiões do País. A maior produção brasileira concentra-se nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais, os quais apresentaram, no ano de 1993 e 1994, áreas cultivadas com figueiras de 1312 – 1278; 825 - 487 e 318 - 321; hectares, respectivamente de acordo com o Anuário E. B. (1996).

2.1.2. Propriedades organolépticas

O conteúdo energético dos figos é grande, e do ponto de vista nutricional, reúne algumas características interessantes: a fruta não tem gordura, nem colesterol, tem maior conteúdo de fibra que qualquer outra fruta fresca ou seca, tem maior concentração de cálcio que o leite e alto conteúdo de potássio. Isto o torna muito atrativo como aditivo em alimentos; em outros países o figo em troços e em pasta está sendo incluído em cereais, biscoitos, pães e alimentos naturais.

2.1.3. Composição química do figo (*Ficus carica L*)

A Tabela 1 apresenta a composição química do figo (*Ficus carica L*).

Tabela 1: Composição química do Figo (*Ficus carica L.*) por 100 gramas de Produto

Fonte / Composição	Costa G. (2001) *		Dpto. Agriculture EE.UU **	
	Fresco	seco	Fresco	Seco
K Calorias	80,0	274,0	80,0	274,0
Umidade	77,5g	23,0 g	77,5 – 86,8 g	23,0 g
Proteína	1,2 g	4,3 g	1,2 – 1,3 g	4,3 g
Gordura	0,3 g	1,3g	0,14 – 0,30 g	1,3 g
Carboidrato	20,3 g	69,1g	17,1 – 20,3 g	69,1 g
Fibra			1,2 – 2,2 g	5,6 g
Cinza			0,48 – 0,85 g	2,3 g
Cálcio			35 – 78,2 mg	126 mg
Fósforo			22 – 23,9 mg	77 mg
Ferro			0,6 – 4,09 mg	3,0 mg
Sódio			2,0 mg	34 mg
Potássio	110,0 mg	640,0 mg	194 mg	640 mg
Caroteno (mg)			0,013–0,195	---
Vitamina A	80,0 I.U.		20-270 I.U.	80 I.U.
Vitamina B1			0,034-0,06mg	0,10mg
Vitamina B2			0,053-0,079mg	0,10mg
Vitamina B5			0,32-0,412mg	0,7mg
Vitamina C			12,2-17,7mg	0mg
Acido cítrico			0,10-0,44 mg	

*Costa G. Y (2001).

** MORTON, J (1987). De acordo a análise feito em India, Hawaii, Centro América , e com os U.S. Departamento de Agricultura em Wachington, D.C.

2.2. Umidade de equilíbrio

O componente água é o constituinte presente em maior concentração em alimentos frescos, em especial em frutas. Sua influência na palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e manuseio do material alimentício é considerável. Quase todos os processos deteriorativos que ocorrem com os alimentos são influenciados pela sua concentração e sua mobilidade. De acordo com Wolf et al,

(1985), citado por AZOUBEL (1999) a intensidade e a taxa desta deterioração podem ser caracterizados pela atividade de água.

Se o material biológico é exposto a uma determinada umidade, ele reage no sentido de ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente. Isto ocorre quando a pressão de vapor de água na superfície do material se iguala à pressão de vapor de água do ar que o envolve, TREYBAL (1963). O nível de umidade que o produto alcança, quando deixado em contato com uma determinada condição atmosférica por um longo tempo, é definido como umidade de equilíbrio. No equilíbrio, a atividade de água (a_w) está relacionada com a umidade relativa (UR) do ambiente através da seguinte equação (IGLESIAS & CHIRIFE 1982).

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{\%UR}{100} \quad (2.1)$$

Onde:

P = pressão do vapor de água no alimento;

P_o = pressão do vapor de água pura na mesma temperatura.

As isotermas de sorção de água, descrevem a relação entre o conteúdo de umidade dos alimentos e a atividade de água (a_w) para temperatura e pressão constante (IGLESIAS e CHIRIFE, 1982).

As isotermas de sorção podem ser obtidas em duas direções: adsorção e dessorção. A primeira é feita quando um material completamente seco é colocado em várias atmosferas, aumentando a umidade relativa e medindo o aumento de peso devido ao ganho de água. Na segunda, o material inicialmente úmido é colocado sob as mesmas condições ambientais utilizadas na adsorção, medindo-se a perda de peso, devido à saída de água, Labuza (1968), citado por AZOUBEL (1999). A isoterma de dessorção em geral possui valores de umidade de equilíbrio superiores ao da isoterma de adsorção a uma dada atividade de água (YOUNG & NELSON 1976). A defasagem entre estas duas curvas é denominada histerese (YOUNG, 1974).

As isotermas de sorção são importantes na análise e montagem de vários processos alimentares, tais como preservação, secagem, embalagem e mistura. As isotermas de sorção podem ser usadas para prever as mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar o material de embalagem e ingredientes apropriados (ZHANG et al. 1996).

As isotermas de sorção dos alimentos podem ser divididas em três regiões, em função do estado físico da água presente no alimento. A primeira região, para valores de atividade de água entre 0 e 0,35, representa a adsorção de um filme de água monomolecular. A segunda região representa a adsorção das camadas adicionais da água acima da monocamada para níveis de atividade de água entre 0,35 e 0,6. A terceira região, que abrange valores de atividade de água acima de 0,60, representa a água condensada nos poros do material seguida pela dissolução do material solúvel presente.

2.2.1. Métodos de medida

Os métodos experimentais para a obtenção das curvas de sorção foram classificados por Gal (1972), citado por AZOUBEL (1999):

Métodos gravimétricos: consiste na determinação da mudança de peso da amostra em equilíbrio com diferentes pressões de vapor.

1. **Métodos com registro contínuo de mudança de peso:** a balança é parte integrante do sistema e as mudanças de peso são determinadas sem interrupção do processo de sorção.
2. **Método dinâmico:** a circulação de ar transfere o vapor de água para amostra (adsorção) e da amostra para o ar (dessorção).
3. **Método com registro descontínuo de mudança de peso:** a balança não é parte integrante do sistema e as amostras, condicionadas em diferentes umidades relativas, têm sua umidade determinada por métodos apropriados em operações separadas. Através destes métodos é possível o exame visual das amostras e a observação de mudanças físicas, como o encolhimento, o endurecimento, entre outros.
 - 3.1. **Sistema estáticos:** as amostras são colocadas em dessecadores contendo soluções salinas saturadas ou solução de ácidos até atingir o

equilíbrio, que é detectado pelo peso constante da amostra de umidade relativa conhecida.

3.2. Sistema dinâmico: possui o mesmo princípio do sistema estático, com a adição de um ventilador ao conjunto, para permitir a circulação do ar entre as amostras, diminuindo o tempo para atingir o equilíbrio.

Métodos manométrico e higrométrico: utilizados em processo de controle de qualidade para a determinação rápida da atividade de água.

Métodos especiais: são métodos não convencionais que utilizam uma membrana de célula de pressão para determinar a atividade de água em materiais com alto conteúdo de umidade.

2.2.2. Modelos matemáticos

Existem inúmeras equações usadas para representar as curvas de sorção de alimentos, sendo que algumas delas são apresentadas a seguir (BROOKER et al., 1974; JOWITT et al., 1983; RIZVI, 1986):

1. Equação de BET (BRUNAUER-EMMETT-TELLER, 1938): é uma equação com embasamento teórico e foi muito utilizada, baseada no conceito de LANGMUIR (1918) de adsorção de água na monocamada molecular. A relação entre atividade de água e umidade é descrita do seguinte modo:

$$X = \frac{X_m C_{BET} a_w [1 - (n-1)(a_w) + n(a_w)^{n-1}]}{(1 - a_w) [1 - (1 - C_{BET}) a_w - C_{BET} (a_w)^{n-1}]} \quad (2.2)$$

onde:

n = número de camadas moleculares;

a_w = atividade de água;

X = teor de umidade expressa em base seca (g água/g sólido seco);

X_m = teor de umidade da monocamada molecular (g água/g sólidos secos);

C_{BET} = constante relacionada ao calor de sorção, sendo:

$$C_{BET} = k' \exp\left(\frac{\Delta H_{BET}}{RT}\right) \quad (2.3)$$

onde:

ΔH_{BET} = entalpia de adsorção da monocamada;

k' = constante da equação;

R = constante universal dos gases (J/mol K);

T = temperatura (°K).

O conceito de teor de umidade da monocamada (X_m), tem sido bastante utilizado em alimentos, devido à sua relação com a estabilidade química e física de alimentos desidratados.

2. Equação de BET Linearizada: constitui um caso especial de equação de BET quando n tende a um valor infinito. Esse modelo restringe o ajuste a dois parâmetros, X_m e C_{BET} , e tem apresentado um ajuste satisfatório para atividade de água entre 0,1 e 0,5, (LABUZA 1968):

$$X = \frac{X_m C_{BET} a_w}{(1 - a_w)[1 - (C_{BET} - 1)a_w]} \quad (2.4)$$

Onde:

X = umidade em base seca (g água/g sólido seco);

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular (g água/g sólido secos);

C_{BET} = constante de BET, relacionada ao calor de sorção da camada molecular.

3. Equação de Halsey (1948): foi desenvolvida supondo-se que, a condensação ocorre em multicamadas, assumindo que o potencial de energia da molécula varia inversamente com uma distância (r) da superfície, resultando na seguinte equação:

$$a_w = \exp\left(\frac{-A}{RT \theta^r}\right) \quad (2.5)$$

Onde: A e r são parâmetros da equação

$$\theta = \frac{X_m}{X} \quad (2.6)$$

Para Halsey, o valor do parâmetro r está relacionado com a interação solvente-adsorvido. IGLESIAS e CHIRIFE (1976) reconheceram que o uso do termo RT

não eliminava a dependência de A e r com a temperatura, portanto simplificaram a equação de Halsey, tornando-a:

$$a_w = \exp\left(\frac{-S}{X^r}\right) \quad (2.7)$$

onde: S e r são parâmetros da equação.

3.1. Equação de Halsey Modificada:

Sua forma modificada é dada por RIZVI (1986):

$$X = \left(\frac{K_2}{\ln c/a_w} \right)^{1/r} \quad (2.8)$$

onde: K_2 , c e r são constantes do modelo modificado de Halsey.

4. Equação de GAB (Guggenheim-Anderson-De Boer): é um modelo de três parâmetros, fisicamente significativos, que tem sido sugerido como o modelo matemático mais versátil para a sorção de alimentos:

$$X = \left(\frac{X_m C K a_w}{1 - K a_w (1 - K a_w + C K a_w)} \right) \quad (2.9)$$

Onde:

X_m = teor de umidade correspondente à saturação de todos os sítios de adsorção primários por uma molécula de água.

C = constante de Guggenheim que pode-se calcular como:

$$C = c' \cdot \exp\left(\frac{H_m - H_n}{RT}\right) \quad (2.10)$$

Onde:

H_m = calor total de sorção da primeira camada

H_n = calor total de sorção das multicamadas

c' = constante da equação

R = constante universal dos gases

T = temperatura

A constante K da equação (2.9) é definida como:

$$K = k_0 \exp\left(\frac{\lambda - H_n}{RT}\right) \quad (2.11)$$

onde λ = calor de condensação da água pura

k_0 = constante da equação

As vantagens encontradas para esta equação são, o significado teórico da mesma; a descrição da sorção abrangendo uma faixa de atividade de água entre 0,1 e 0,9; a forma matemática simples, com parâmetros que possuem significado físico. O modelo GAB pode ser considerado uma extensão de BET multimolecular para produtos de adsorção homogênea (JOWITT et al., 1983).

5. Equação de Oswin: é a expansão de uma série matemática para curvas sigmoidais, que é escrita como:

$$X = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B \quad (2.12)$$

Onde:

A e B são constantes do modelo.

6. Equação de Peleg: é um modelo empírico com quatro parâmetros para ajustar os dados de isotermas de sorção:

$$X = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (2.13)$$

Onde:

K_1 , K_2 , n_1 e n_2 são constantes do modelo.

A restrição para esta equação é $n_1 < 1$ e $n_2 > 1$.

7. Equação de Iglesias e Chirife: a análise do fenômeno de sorção em alimentos com alto conteúdo de açúcar, como a maioria das frutas, é complicado devido à dissolução de açúcares e por esta razão a predição teórica da isoterma é difícil. Estes autores propuseram uma equação empírica que descrevesse o comportamento de muitas frutas e outros produtos com alto teor de açúcar:

$$\ln\left(X + \sqrt{X^2 - X_{0,5}}\right) = b a_w + p \quad (2.14)$$

Onde:

$X_{0,5}$ = umidade para $a_w = 0,5$ (g água/g sólido seco);

b e p são constantes do modelo.

Esta equação descreveu adequadamente o conteúdo de umidade de equilíbrio de nove alimentos deferentes que possuíam alto teor de açúcar, entre eles, banana, "grapefruit", pêssego, pêra, abacaxi e morango, RIZVI (1986).

8. Equação de Henderson (1952): esta é uma das equações mais usadas para curvas de umidade de equilíbrio de produtos biológicos incluindo frutas, pode ser escrita como:

$$1 - a_w = \exp(-cTX^n) \quad (2.15)$$

Onde:

c e n são parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto.

T é temperatura absoluto, expresso em Kelvin (K).

2.2.3. Calor isostérico de sorção

O calor isostérico de sorção (Q_{st}) é um parâmetro termodinâmico que pode ser calculado a partir de dados de equilíbrio de sorção e representa a quantidade de energia necessária para passar um mol de água adsorvida no material sólido ao estado vapor. Seu valor é geralmente calculado através da aplicação da equação de Clausius-Clapeyron (RIZVI 1986):

$$\left. \frac{\partial \ln(P/P_o)}{\partial (1/T)} \right|_x = \left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial (1/T)} \right|_x = -\frac{Q_{st} - \lambda}{R} \quad (2.16)$$

Onde:

R = constante universal dos gases

T = temperatura absoluta

P = pressão de vapor de equilíbrio

P_o = pressão de vapor da água pura

λ = calor de vaporização da água pura.

Integrando esta equação entre as temperaturas T_1 e T_2 , respectivamente, obtém-se:

$$\ln\left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}}\right)_X = -\frac{q_{st}}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \quad (2.17)$$

Onde: q_{st} é o excesso de calor de sorção, ou seja:

$$q_{st} = Q_{st} - \lambda \quad (2.18)$$

Para obter estimativas precisas de q_{st} é necessário construir isotermas de sorção a diversas temperaturas, na faixa de interesse, sendo necessárias no mínimo 2 temperaturas diferentes. Isto se deve às considerações que são feitas na aplicação da equação de Clausius-Clapeyron. Em primeiro, o calor de vaporização da água pura e o excesso de calor de sorção são considerados constantes com a temperatura, e segundo, a equação é aplicada apenas quando o teor de umidade do sistema permanece constante. Para o caso de alimentos, que são sistemas complexos, a extrapolação para temperaturas muito altas, invalidaria as considerações acima, devido a mudanças irreversíveis nas propriedades da água do sistema (RIZVI 1986).

Segundo, TSAMI et al. (1990), o conhecimento da dependência do calor de sorção da água em função do teor de umidade é essencial no estudo de vários processos envolvendo alimentos, podendo ser usado para estimar as necessidades energéticas do processo de secagem, além de fornecer dados importantes sobre o estado da água nos produtos alimentícios. Quando se grafica a isósteres de sorção com o logaritmo natural da atividade de água contra o inverso da temperatura absoluta, para determinados valores de umidade da amostra, obtém-se o coeficiente angular correspondente à $-q_{st}/R$. Desta forma, pode-se calcular o valor de q_{st} .

TSAMI et al. (1990) utilizaram a seguinte relação exponencial empírica entre o calor de sorção e o teor de umidade para algumas frutas secas, proposta na seguinte forma:

$$q_{st} = q_o \exp(-X_{eq} / X_o) \quad (2.19)$$

Onde:

q_o = calor isostérico de sorção da primeira molécula de água

X_{eq} = teor de umidade de equilíbrio

X_o = conteúdo de umidade característico do material alimentício.

2.2.4. Propriedades físicas

A simulação e modelagem matemática é freqüentemente utilizada para otimizar os processos e condições de secagem. Os modelos matemáticos necessários à simulação requerem valores de propriedades físicas, tais como densidade, porosidade e encolhimento volumétrico do sólido. Entretanto, estes dados são escassos na literatura e os pesquisadores são obrigados a usar suposições que levam a falhas ou imprecisão em seus estudos de simulação.

Na maioria dos modelos matemáticos para secagem de grãos por exemplo, o efeito das mudanças na densidade, porosidade e encolhimento não são considerados. Esta suposição é feita por conveniência matemática, mas não é necessariamente válida para toda faixa de umidade. Por outro lado, na secagem de frutas e vegetais o encolhimento deve ser considerado, pois ocorre uma mudança drástica no volume durante o processamento. De uma forma geral, produtos biológicos encolhem durante a secagem causando variação da área superficial, do raio, da densidade e da porosidade dos sólidos (RATTI 1994, LOZZANO et al. 1983).

DĂSCALESCU (1969) cita três classes de deformação: contração, formação de fendas e alterações estruturais causadas pela temperatura. A densidade aparente é definida como a razão entre a massa e o volume aparente do material, isto é, o volume incluindo todos os poros internos. A densidade da partícula ou densidade da matriz sólida úmida é a razão entre a massa e seu volume, descontando o volume dos poros internos.

A porosidade do material é uma relação entre a densidade aparente e a densidade do sólido e é dependente da quantidade de água inicial, da composição e do tamanho do material alimentício, do tipo de secagem e suas condições tais como: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar (MADAMBA et al., 1994). Medidas experimentais são essenciais para expressar essas propriedades como funções do conteúdo de umidade.

Em estudos de deformação durante a secagem de cenoura, alho, pêra, batata e batata doce, cortados em cilindros foi observado que esses produtos tiveram o volume reduzido em 70-90% do volume original, e que o volume

obedeceu uma função linear da umidade, para valores de X/X_0 acima de 0,15, enquanto que para valores menores, o volume seguiu uma função exponencial. Isto foi observado por LOZANO et al. (1983) que utilizou as seguintes equações empíricas:

Densidade aparente:

$$\rho_{apa} = \alpha + \beta \left(\frac{X}{X_0} \right) + \gamma \exp \left(-\delta \frac{X}{X_0} \right) \quad (2.20)$$

Onde:

ρ_{apa} = densidade aparente

α, β, γ e δ são constantes da equação de Lozano

X = umidade em base seca

X_0 = umidade inicial.

Coefficiente de encolhimento de volume (Regressão linear).

$$\frac{V}{V_0} = a + b \left(\frac{X}{X_0} \right) \quad (2.21)$$

Onde:

V_0 = volume específico do material

V = volume específico com $X = 0$

a = constante da equação

b = coeficiente de encolhimento

WANG & BRENNAN (1995), observaram que o encolhimento afeta as propriedades físicas dos materiais, como a densidade e a porosidade. Durante a secagem de batata, eles verificaram algumas mudanças na estrutura deste produto (com auxílio de microscópio), assim como na densidade e porosidade. A densidade, num dado teor de umidade, decresceu com o aumento da temperatura de secagem. Durante a secagem o volume do produto decresceu linearmente com a diminuição do conteúdo de umidade.

ZOGZAS et al. (1994) determinaram experimentalmente a densidade aparente, a densidade da partícula, o encolhimento e a porosidade durante a secagem de maçã, cenoura e batata em cubos para vários conteúdos de umidade. No trabalho assumiram que a massa total do material úmido consiste de sólidos secos, água e ar, de onde obtiveram as definições a seguir.

Densidade aparente do material úmido (ρ_b):

$$\rho_b = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_w + V_a} \quad (2.22)$$

Densidade da partícula (ρ_p):

$$\rho_p = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_w} \quad (2.23)$$

Onde:

m_s e m_w = massas do sólido seco e da água respectivamente.

V_s , V_w e V_a = volume do sólido seco, da água e dos poros e ar respectivamente.

Densidade do sólido seco (ρ_s) e da água (ρ_w):

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (2.24)$$

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (2.25)$$

Porosidade (ε):

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_s + V_w + V_a} \quad (2.26)$$

Volume específico da amostra (ν):

$$\nu = \frac{V_s + V_w + V_a}{m_s} \quad (2.27)$$

Coefficiente de encolhimento do volume (β):

$$\frac{v}{v_o} = 1 + \beta X \quad (2.28)$$

onde:

v = volume específico do material no conteúdo de umidade X

v_o = volume específico em $X = 0$

Conteúdo de umidade do material em base seca:

$$X = \frac{m_w}{m_s} \quad (2.29)$$

Combinando as equações (2.23), (2.24), (2.25) e (2.29) os autores obtiveram a seguinte equação:

$$\rho_p = \frac{1+X}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{X}{\rho_w}} \quad (2.30)$$

Além disso, combinando as equações (2.22), (2.27), (2.28) e (2.29) eles obtiveram:

$$\rho_b = \frac{\rho_{bo} (1+X)}{1+\beta X} \quad (2.31)$$

onde:

ρ_{bo} = densidade aparente do sólido seco ($X=0$).

As porosidades dos gêneros alimentícios considerados pelos autores, podem ser preditas pelas medidas das densidades da partícula e do sólido úmido, combinando as equações (2.22), (2.23) e (2.26) resultando:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (2.32)$$

VAGENAS et al. (1990) examinaram as propriedades da uva passa e propuseram um modelo simples para expressar a densidade da partícula como uma função do conteúdo umidade:

$$\rho_b = (1-\varepsilon) \frac{\rho_{bo} \rho_w}{\rho_w + (\rho_{bo} - \rho_w) X_w} \quad (2.33)$$

As células vivas de origem animal ou vegetal exibem um determinado comportamento, denominado “turgor”, onde o líquido distende a parede celular e esta por sua vez comprime o líquido nela contido. Durante a secagem, com a saída da água, diminui a tensão que o líquido exerce contra a membrana celular, o que provoca o encolhimento do material (VAN ARSDEL et al. 1973). Em estudos realizados em secagem de uva passa, determinaram que o volume decresceu linearmente, até cerca de 75% do valor inicial, com o conteúdo de umidade, o qual também reduziu-se nesta mesma faixa (SARAVACOS & RAOUZEOS 1986). Em estudos de secagem de uva Itália, GABAS et al. (1999) obtiveram a densidade aparente aumentando conforme a remoção da água presente na uva onde a curva é na forma de uma hipérbole, A perda de volume segue o princípio da aditividade de volume, não ocorrendo enrijecimento da estrutura o que provocaria a formação de poros.

MABROUK & BELGHITH (1995) avaliaram o encolhimento de cenoura em forma de cubos na secagem de tipo túnel e encontraram que evolução do encolhimento é de forma lineal e decrescente conforme a remoção a umidade. A densidade aumentou no tempo da secagem na forma de curva hipérbole pela remoção de água no produto. Determinaram a massa volumétrica e o encolhimento de volume a fim de aplicar no cálculo do coeficiente de difusão do produto, utilizando as seguintes equações:

Para um índice de umidade a massa (m) do produto é:

$$m = m_s (1 + X) \quad (2.34)$$

Massa volumétrica

$$\rho (X) = \frac{m}{V} = (1 + X) \frac{m_s}{V} \quad (2.35)$$

Encolhimento volumétrico (R_v)

$$R_v = \left(\frac{V}{V_s} - 1 \right) = \frac{V - V_s}{V_s} \quad (2.36)$$

Coeficiente de encolhimento (β)

$$R_v = \beta X \quad (2.37)$$

RATTI (1994) estudou o encolhimento durante a secagem de alimentos batata, maçã e cenoura de diferentes geometrias e sob varias circunstancias de secagem, concluiu que o encolhimento de produtos alimenticios não é perfeitamente homogêneo. As partículas mantêm sua geometria original embora o encolhimento seja considerável, assim que é possível obter o volume e a área de uma partícula com a medida direta de suas dimensões.

O encolhimento que ocorre durante processo de secagem é causado principalmente pela água removida. A técnica de secagem diferente pode fornecer graus diferentes de encolhimento. O grau de encolhimento é mais elevado com o aumento na temperatura. O ar quente tem um efeito mais severo no encolhimento do que o vapor super aquecido sob a mesma temperatura (PRACHAYAWARAKORN et al., 2002).

2.3. Secagem de frutos

A secagem de frutas ao sol e a defumação de peixes e carnes são processos bastante conhecidos originados na antiguidade (COHEN & YANG, 1995).

As operações de desidratação ou secagem são importantes nas indústrias de processos químicos e alimentícios. O objetivo básico de secar produtos alimentícios é a remoção da água dos sólidos para um nível em que o crescimento dos microrganismos seja minimizado. A grande variedade de alimentos desidratados (mistura, sopas, frutas, verduras, entre outros) e a crescente preocupação em reunir as especificações de qualidade e de energia, enfatiza a necessidade de um completo entendimento da operação de secagem (VAGENAS et al.1990).

A secagem consiste em um processo simultâneo de transferência de calor e de massa. A transferência de calor ocorre durante a evaporação da água removida da amostra sólida secando, enquanto a transferência de massa

acontece durante a remoção da água da superfície desta amostra por meio de um fluido secante externo, que geralmente é o ar (DINCER & DOST 1995).

O processo de secagem pode ser dividido em três períodos, de acordo com a evolução das transferências de calor e de massa durante sua operação:

Período 0 (período de indução ou período até entrar em regime operacional). Inicialmente, o produto está mais frio que o ar de secagem e a pressão parcial de vapor de água na superfície do produto é baixa. Conseqüentemente, a transferência de massa e a taxa de secagem também são. À medida que o ar entra em contato com o produto, a temperatura deste aumenta, ocorrendo uma elevação na pressão de vapor de água e na velocidade de secagem. Este fenômeno continua até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa. Se a temperatura do ar for inferior à do produto, esta última diminuirá até atingir o estado de equilíbrio.

Período 1 (período de velocidade constante de secagem). Durante este período, como no anterior, a quantidade de água disponível dentro do produto é grande. A água evapora como água livre. A pressão de vapor da água na superfície é igual à pressão de vapor da água pura na temperatura do produto (temperatura de bulbo úmido). A transferência de calor e massa se compensam e conseqüentemente, a velocidade de secagem é constante. Este período continua até que a migração de água do interior à superfície seja suficiente para acompanhar a evaporação da água superficial.

Período 2 (período de velocidade decrescente de secagem). Durante este período, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa e, como conseqüência, a temperatura do material aumenta, tendendo assintoticamente à temperatura do ar de secagem. O fator limitante neste período é a migração interna de água. A secagem continua até que o produto atinja a umidade de equilíbrio.

2.3.1. Período de secagem a taxa constante

De acordo com SHERWOOD (1929), a secagem neste período é similar à evaporação de água de uma superfície livre.

A velocidade de secagem durante o período de secagem a taxa constante depende dos coeficientes de transferência de calor e massa, da área exposta ao meio de secagem, da geometria da amostra, e da diferença de temperatura e umidade entre o vapor e a superfície úmida do sólido. O mecanismo interno de migração de água não afeta a velocidade de secagem deste período (FORTES & OKOS 1980).

A taxa de secagem pode ser calculada através da equação de transferência de massa ou da equação de transferência de calor. Como a pressão de vapor de água na superfície do material é constante, a temperatura do material é igual a temperatura de bulbo úmido. Desprezando-se a transferência de calor por condução e radiação, a taxa de secagem é dada por:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{hA(T_a - T_{bu})}{H_{VAP}} \quad (2.38)$$

Onde:

$\frac{dX}{dT}$ = taxa de secagem.

h = coeficiente de transferência de massa ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

A = área da superfície exposta (m^2);

T_a = temperatura ambiente ($^\circ C$);

T_{bu} = temperatura de bulbo úmido ($^\circ C$);

H_{vap} = calor de vaporização (J/mol).

GABAS et al. (1999), em estudos feitos sobre a influência da temperatura (40, 50, 60, 70 e 80 $^\circ C$) na secagem de uva Itália demonstraram que o período de taxa constante não foi observada em nenhuma das amostras.

2.3.2. Período de secagem a taxa decrescente

O período de taxa decrescente se inicia quando termina o período de taxa constante, no teor de umidade crítica. Se o teor de umidade inicial for abaixo da umidade crítica, todo processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente (PERRY'S, 1984).

Segundo HOLDSWORTH (1971), este período pode ser dividido em duas fases distintas: uma na qual o coeficiente de difusão é constante e outra com um coeficiente de difusão consideravelmente reduzido.

Os principais mecanismos de transporte durante a primeira fase são: difusão líquida, escoamento capilar e difusão de vapor. Estes mecanismos podem ocorrer simultaneamente (CHIRIFE, 1983). LEWIS (1921), foi um dos primeiros a interpretar a secagem como fenômeno de difusão interna de água líquida. O período de taxa decrescente é controlado pelo mecanismo de difusão líquida e descrito pela 2ª lei de Fick.

As soluções analíticas da 2ª Lei de Fick para diversas condições iniciais e diferentes formas geométricas foram descritas por CRANK (1975). Para coordenadas retangulares, a equação de difusão é expressa como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (2.39)$$

Assumindo a forma geométrica de uma placa plana infinita, onde a transferência de umidade durante a secagem é predominantemente unidimensional, a equação acima se reduz a:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) \quad (2.40)$$

Quando o coeficiente de difusão D_{ef} é considerado constante, a equação (2.40) pode ser expressa como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \left(D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} \right) \quad (2.41)$$

Considerando que a umidade inicial X_0 é uniforme no interior do produto, a resistência externa à transferência de massa (a umidade na superfície da amostra permanece constante durante o processo e seu valor corresponde a umidade de equilíbrio X_{eq} do produto) e o encolhimento do material durante a secagem são desprezíveis, a equação (2.41) pode ser integrada com as seguintes condições de contorno:

$$\begin{array}{lll} X = X_0 & \text{em } t = 0 & 0 < y < L \\ X = X_{eq} & \text{em } y = L & t > 0 \end{array}$$

$$\frac{\partial X}{\partial y} = 0 \quad \text{em } y = 0 \quad t > 0$$

A solução analítica da Lei de Fick para uma placa plana infinita dada por CRANK (1975) é:

$$\frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right) \quad (2.42)$$

Onde:

X = umidade (g água/g secos sólidos);

X_{eq} = umidade de equilíbrio (g água/g sólido secos);

X_o = umidade inicial da amostra (g água/g sólido secos);

$\frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}}$ = adimensional de umidade.

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

t = tempo (s)

L = meia espessura (m)

Para as condições em que L é pequeno e t é grande, os termos da equação (2.42) correspondentes a $i > 1$ são negligenciáveis. Sob estas condições, tem-se que:

$$\ln\left(\frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef} t}{L^2} \quad (2.43)$$

onde a difusividade efetiva pode ser obtida através da inclinação da reta do gráfico

de $\ln\left(\frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}}\right)$ versus t .

Um outro modelo utilizado para descrever a secagem consiste na equação de Page. Esta equação foi utilizada por CORNEJO et al., (1998) para representar o comportamento de secagem da soja, obtendo-se o melhor ajuste aos dados experimentais. KALWAR et al. (1991), trabalhando com grãos de milho, também

observaram que esta equação foi apropriada para descrever a cinética de secagem deste produto. A equação de Page é representada como:

$$M = \left(\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \right) = \exp(-Gt^J) \quad (2.44)$$

Onde:

G e J; são constantes da equação de Page.

Alguns modelos semi-teóricos são baseados na teoria da difusão, assumindo que a resistência ocorre numa fina camada na superfície das partículas, como o modelo de Lewis, análogo à lei de resfriamento de Newton, que na sua forma integrada é comumente chamada de modelo exponencial. Este modelo estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre dada pela equação (2.41) (PARRY 1985):

$$\frac{dX}{dt} = -K_4(X - X_{eq}) \quad (2.45)$$

onde: o fator de proporcionalidade K_4 é denominado de constante de secagem, X é a umidade absoluta e X_{eq} é a umidade de equilíbrio.

A equação acima é normalmente utilizada na forma integrada como:

$$M = \exp(-K_4 t) \quad (2.46)$$

onde:

M = umidade adimensional,

t = tempo, e

K_4 = constante de secagem.

Nos modelos empíricos há duas importantes modificações do modelo exponencial na forma integrada com dois e três parâmetros que apresentam bons ajustes experimentais, sendo dadas pelas equações:

$$M = a \cdot \exp(-K_4 t) \quad (2.47)$$

Equação de Page

$$M = c.\exp(-K_4 t^n) \quad (2.48)$$

Modelo exponencial com dois termos

$$M = \left[\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \right] = C_1 \exp(-K_1 t) + C_2 \exp(-K_2 t) \quad (2.49)$$

A equação (2.47) é similar à solução do modelo de Fick, equação (2.42) para tempos de secagem longos, quando apenas o primeiro termo da solução em série for significativo, ou seja, $n=1$ (Mc CORMICK, 1983). Esta correlação é utilizada por muitos pesquisadores da área de secagem para determinação da difusividade efetiva a partir da constante de secagem, como observado nos trabalhos de AGUERRE et al. (1982) para arroz, TOBINAGA & PINTO (1992) para filés de peixes, VACCAREZZA et al. (1974) para beterraba, CARBONELL et al. (1986) para pimenta, SARAVACOS & RAOUZEUS (1986) para amido, YUSHGENY & POULSEN (1988) para batata e MAZZA & LEMAGUER (1980) para cebola. A relação entre estes parâmetros é :

$$K_4 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4.L^2} \quad \text{para lâminas (secagem por um lado)}$$

$$K_4 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{L^2} \quad \text{para lâminas (secagem pelos dois lados)}$$

$$K_4 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad \text{para esferas}$$

A equação (2.48) é conhecida como modelo de Page, sendo freqüentemente utilizada nos estudos da secagem de produtos agrícolas, em particular para grãos e sementes, por apresentar excelentes resultados (PARTI & DUGMANICS, 1990; PATHAK et al., 1991). MISRA & BROOKER (1980) compilaram dados de secagem de milho em camada fina, de nove fontes diferentes, e os ajustaram através da Equação de Page, observando que n reflete a resistência interna à secagem, enquanto K representa os efeitos das condições externas.

Diferentes tipos de equações empíricas podem ser encontradas nas revisões feitas por DAUDIN (1983) e PARRY (1985). De acordo com HOLDSWORTH (1971), os principais fatores que afetam a taxa de secagem são as propriedades físicas do produto, o arranjo geométrico do produto em relação à superfície de transferência de calor, as propriedades físicas do ambiente de secagem e as características do equipamento de secagem.

Segundo VAN ARSDEL et al. (1973), dos fatores citados, o que mais influencia a taxa de secagem é a natureza da matéria prima, compreendendo constituição química e física das paredes das células. A conclusão de VACCAREZZA et al. (1974), ao estudarem a secagem de beterraba, foi que a taxa de secagem é afetada principalmente pela temperatura de secagem e tamanho da partícula, e em menor grau pela velocidade do ar.

2.4. Secagem de figo

Os figos brancos inteiros, que forem deixados para amadurecimento na árvore até secagem parcial e queda ao solo, podem ser desidratados a 74 °C num período de 9 a 12 horas, sendo este período é bem menor quando se utilizam os frutos cortados em metades. A desidratação pode também ser realizada a 45 – 50 °C, nas cinco primeiras horas e depois a 60 – 65 °C, revolvendo-se os figos para evitar a aderência nas bandejas, e para que a secagem seja mais uniforme. A umidade final permanece entre 15 e 20% base úmida (CRUESS, 1973).

Em estudos realizados por RODRIGUES (1992), em figos saturados, estes apresentaram melhores relações entre açúcares não redutores e redutores, maior rendimento e menor tempo de secagem, quando processado a temperaturas de 70 e 80°C.

Os figos são secos industrialmente em túneis de contracorrente. Os figos de coloração mais clara são sulfurados para prevenir o escurecimento durante a secagem. O tempo de secagem é bastante reduzido quando os figos são cortados

pela metade. As bandejas são carregadas com 10-15kg/m² de frutas e, no início da secagem, a temperatura do ar varia de 35°C a 40°C, sendo que na extremidade de saída do produto, a temperatura do ar não deve exceder 75°C. O tempo de desidratação varia de 8 a 12 horas (TRAVAGLINI, et al. 2001).

2.5. Cor em alimentos

Outra propriedade muito importante em alimentos é a cor. Antes de tomar a decisão de ingerir um alimento leva-se em conta seu aspecto visual e especialmente a sua cor.

A relação que existe entre a cor e outros fatores de qualidade, como a composição química, o grau de deterioração são da maior importância tecnológica. A importância tecnológica destas relações reside na possibilidade de utilizar a cor como índice de transformações naturais dos alimentos frescos ou de mudanças ocorridas no processo industrial.

No âmbito da física ótica a luz é um feixe de radiações luminosas com uma determinada distribuição espectral (cor-radiação). Os materiais, entre eles, os alimentos transferem a luz que chega a eles de forma que a luz transmitida tem diferente distribuição espectral (cor-material). Quando a luz, procedente de uma fonte luminosa ou de um objeto iluminado incide na retina do olho humano, dá-se o conceito de cor.

A percepção com a visão normal é tricromática, isto é, a sensação da cor é obtida pela mistura de estímulos causados pelas três cores primárias (vermelho, amarelo e azul). Estas podem ser medidas em quantidade físicas, através de técnicas estabelecidas pela CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), que converte os valores dos triestímulos em espaço de cor uniforme, Anzaldúa (1996) citado por SANJINES (1999).

Em alimentos, a cor resulta da presença de compostos coloridos pré-existentes no produto natural (pigmentos naturais) ou da adição de corantes sintéticos. Também, durante o processamento ou armazenagem dos mesmos, pode ocorrer a formação de substâncias coloridas (caramelos melanoidinas). Quando a cor de um alimento começa a se alterar significativamente com o tempo,

pode ser um indício de que alterações físicas, químicas ou microbiológicas estão ocorrendo (FRANCIS, 1991).

Por exemplo desidratação de kiwi, VIAL et al. (1991) constataram que temperaturas acima de 50°C modificam a cor. Também observaram que após 3,5h de processamento a fruta apresentou um aspecto brilhante sobre a superfície, provavelmente devido ao conteúdo de açúcar mais alto, ao uso de sais como cloreto de cálcio ou cloreto de cobre que melhoram a cor do produto, bem como a retenção do ácido ascórbico.

A deterioração da cor em frutas é causada por vários mecanismos como reações de escurecimento enzimático e não-enzimático do tipo Maillard; entretanto, as frutas são menos sensíveis que os vegetais na deterioração da cor, quando submetidos a temperaturas de cozimento, permitindo assim otimizar o tempo e a temperatura do processo para obter um produto naturalmente colorido. Segundo LOZANO e IBARZ (1997), a sensibilidade da perda de cor parece estar associada à estrutura celular do material e aos pigmentos encontrados. Eles indicam no entanto, que em condições ácidas, as antocianinas rapidamente perdem a cor à temperatura ambiente, por outro lado, os taninos e antocianinas quando sofrem reações de condensação produzem pigmentos amarelos que melhorariam a aparência dependendo do produto utilizado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento experimental do projeto foi realizado no Laboratório de Engenharia de Processos do Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos, com a colaboração na avaliação da cor do Laboratório de Tecnologia Geral do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA/FEA UNICAMP).

O trabalho consistiu em secar o figo in natura e inteiro com quatro pré-tratamentos e figo in natura em fatias para secagem com ar quente. Estudou-se a influência da temperatura e os pré-tratamentos no processo. No caso dos experimentos com figos em rodela in natura e semi-maduros, os mesmos foram devidamente lavados com água em abundância, escorridos e cortados em rodela de 10 mm de espessura. Após serem caracterizados fisicamente, foram adicionadas 9 rodela por bandeja. Para avaliar a qualidade final do produto, foram analisadas as propriedades de cor das amostras obtidas nas melhores condições de secagem.

3.1. Matéria-prima

O figo (*Ficus carica L.*) da variedade "Gigante de Valinhos" maduro e semi-maduro foi obtido no Município de Valinhos do Estado de São Paulo, poucas horas antes do processamento (Figura 3.1 e 3.2).

A preferência pela fruta foi baseada no seu tamanho e no seu estado de maturação, sendo escolhidas aquelas que possuíam coloração roxa tamanho uniforme, textura firme e em estado semi-maduro. As frutas foram conservadas em câmaras frigoríficas a temperaturas de 7°C, até quando foram necessárias.



Figura 3.1: Figo (*Ficus Carica L.*)
Variedade “Gigante de Valinhos”

Figura 3.2: Figo em metade

Os figos que apresentaram manchas, doenças e injúrias mecânicas foram descartados. As frutas foram pesadas e lavadas, e realizados os pré-tratamentos: perfuração da casca, branqueado com casca e branqueado sem casca.

A perfuração da casca foi realizada com agulha; (média de 5 furos/cm²). O branqueamento foi realizado por exposição do figo a água quente (97°C) por aproximadamente 8 segundos. Para branquear e retirar a casca, os figos foram imersos em água quente (97°C) por 12 segundos; posteriormente, foram resfriados e a casca retirada manualmente.

Determinou-se o grau de maturação por leitura de °Brix em refratômetro. A determinação da umidade inicial das amostras foi realizada pelo método padronizado para frutas A.O.A.C. (1978). Consistiu em pesar amostra aproximadamente 3 gramas em pesafiltros, secando-as em estufa de convecção forçada por 48 horas, na temperatura de 60°C. As frutas utilizadas apresentaram teor de sólidos solúveis iniciais entre 12 e 15 °Brix, e umidade entre 84 e 86% (b.u.).

3.2. Caracterização da matéria prima

As características do figo foram determinadas de acordo com as seguintes análises: pectina, açúcares (totais e redutores), umidade, sólidos (solúveis, insolúveis, totais), cinzas, gordura, proteína, acidez titulável, pH e °Brix. A determinação da pectina baseou-se na neutralização das cargas dos resíduos de ácidos urônicos livres pelos íons cálcio, provocando a geleificação da pectina e sua precipitação (RANGANNA, 1977).

Os açúcares redutores e totais foi feita de acordo com método de Lane e Eynon (RANGANNA, 1977), que consiste na redução do cobre presente na solução de Fehling através de açúcares invertidos. O conteúdo de açúcar presente na amostra do figo foi estimado determinando-se o volume de solução de açúcar necessário para reduzir completamente a solução de Fehling de volume conhecido.

A determinação dos sólidos baseou-se na filtração da amostra dissolvida em água quente, retenção dos sólidos insolúveis em papel filtro e evaporação do filtro que contém os sólidos solúveis (AOAC, 1970).

A determinação da acidez foi baseada no método de Mohr (RANGANNA, 1977), através da titulação direta, sendo expressa em percentagem de ácido cítrico.

A quantidade de cinzas foi baseada na metodologia da AOAC (1984). Utilizou-se um refratômetro de bancada ABBE para a leitura direta do grau Brix.

A umidade foi realizada de acordo com a metodologia da AOAC (1984). O pH foi determinada por leitura direta no pH-metro digital Mettler Toledo. Modelo pH320, da polpa do figo liquidificada e homogeneizada.

3.3 Ensaios preliminares

Os figos inteiros *in natura* devidamente transportados desde o centro de abastecimento tiveram as operações que se apresentam no fluxograma a seguir (Figura 3.3):

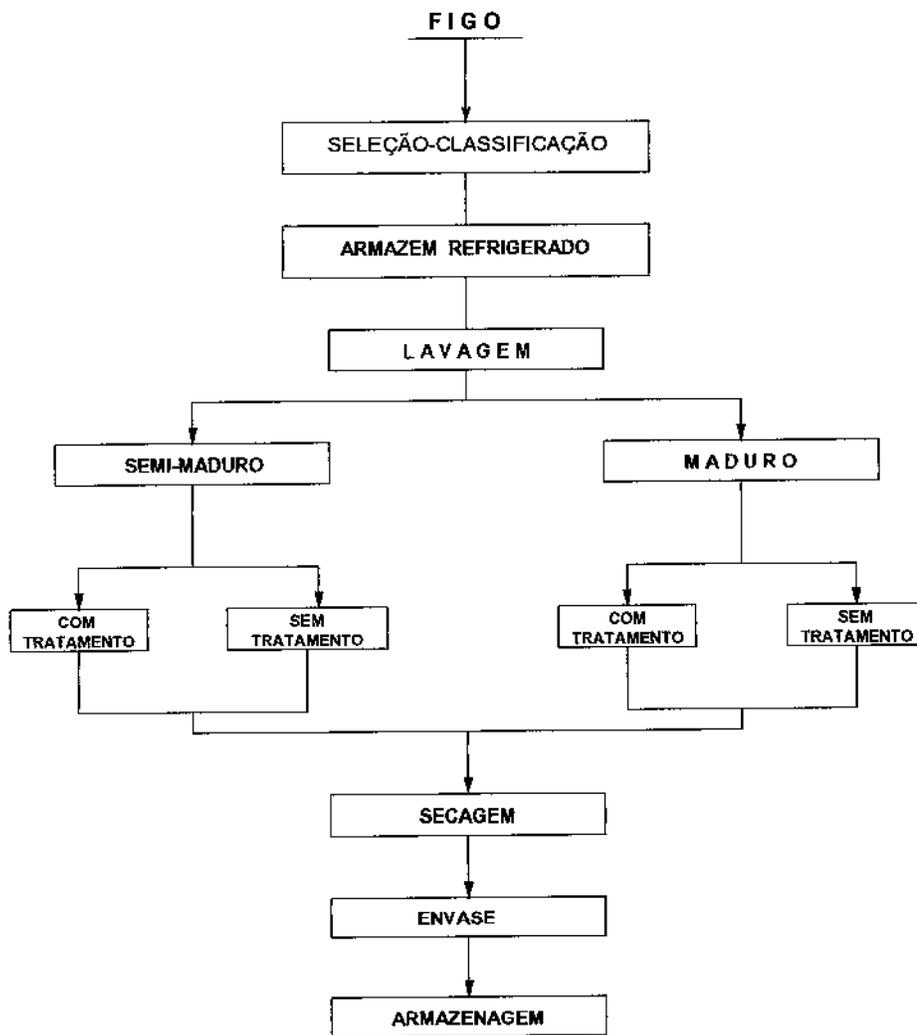


Figura 3.3: Fluxograma dos ensaios preliminares

Figos inteiros.

São considerados figos semi-maduros aqueles que apresentam a cor roxa vívida, com 12 a 14°Brix; de 5,10 a 5,45 de pH; com umidade de 84 a 85,5% base úmida e com textura firme. Estes figos foram utilizados para os ensaios definitivos por apresentarem características adequadas ao pré-tratamentos e processamentos da secagem. Os figos maduros são aqueles que apresentam uma cor roxa quase escura, com °Brix superior a 14; pH superior a 5,45, umidade maior que a 85% (base úmida) e textura quase macia. Estes figos em estado maduro apresentaram problemas nos ensaios preliminares de branqueamento

(textura muito macia). Da mesma forma, após o branqueamento e retirada da casca apresentaram grande perda de textura, chegando à deformação de sua estrutura. Após a perfuração com agulhas, as frutas liberaram com facilidade o suco de seu interior. Os frutos pré-tratados que alcançaram o secador apresentaram considerável deformação durante o processo de secagem, com liberação de suco do interior, afetando as pesagens na balança. No final de secagem o produto apresentou características indesejáveis, motivo pelo qual o figo maduro não foi considerado para os ensaios definitivos.

Figos em rodela.

Os figos em rodela também foram classificados em semi-maduros e maduros. Do mesmo modo, os figos maduros cortados em rodela não foram adequados para o processo de secagem. Os ensaios de secagem definitivos deste produto foram realizados com figos semi-maduros, com características similares aos figos *in natura* inteiros e semi-maduros. Os figos devidamente lavados com grande quantidade de água, escorridos e cortados em rodela com espessura de 10 mm foram colocados, nas bandejas de 30 rodela de figos, bandejas (massa aproximada de figo de 477g) e através de um dispositivo de aço foram arranjados paralelamente ao escoamento do ar mantendo as duas faces livres.

3.4. Isotermas de Sorção

A construção das isotermas de adsorção e dessorção de umidade foi baseada no método estático gravimétrico (JOWITT et al., 1983). As várias umidades relativas foram obtidas com soluções salinas saturadas, que podem ser calculadas através das equações de regressão, determinadas por LABUZA et al. (1985) & YOUNG (1976).

Os sais escolhidos com suas respectivas umidades relativas e as equações de regressão encontra-se nas Tabelas 3.1 e 3.2 respectivamente. Na determinação de isotermas de dessorção foram utilizadas às temperaturas de 25, 40 e 60°C e as medições se realizaram por triplicata. As amostras foram

preparadas a partir da fruta fresca e cortada em pequenos pedaços. Os figos foram liofilizados para determinação de isotermas de adsorção.

Tabela 3.1: Variação da Umidade relativa de Equilíbrio com a Temperatura.

Sais	Temp	Umidade Relativa (%)		
		25°C	40°C	60°C
NaOH		7,00	6,50	4,50
LiCl		11,30	11,21	10,95
MgCl ₂		32,78	31,60	29,76
K ₂ CO ₃		43,16	31,60	43,20
Mg(NO ₃) ₂		52,89	43,20	47,30
NaBr		57,57	53,17	49,66
NaNO ₂		65,70	61,50	59,00
NaCl		75,10	74,68	74,50
KCl		84,20	82,00	80,0
BaCl ₂		90,03	89,30	87,5

Dez soluções salinas saturadas foram preparadas, correspondendo à faixa de atividade de água de 0,045 a 0,90 (Tabela 3.1). As soluções foram distribuídas em potes individuais, com capacidade para apenas uma amostra, havendo três potes para cada umidade relativa (amostras em triplicata). Cada pote recebeu cerca de 40 mL de solução salina saturada com 3 gotas de formol, e possuía em seu interior um suporte de acrílico, sobre o qual foi colocado o recipiente contendo a amostra. Estes potes foram deixados numa estufa com circulação forçada de ar e temperatura controlada, realizando-se pesagens semanais em balança analítica, até as amostras atingirem peso constante.

Tabela 3.2: Equações para determinar Umidade relativa de equilíbrio em função da temperatura (25° a 65°C).

SAIS	Equações para a Determinação de UR ou a_w	r ²	referência
NaOH	$UR=0,081-1,128 \times 10^{-3}T+3,929 \times 10^{-5}T^2-5,092 \times 10^{-7}T^3$	0,998	Young, J.F. 1967
LiCl	$UR=0,113+3,200 \times 10^{-5}T-3,570 \times 10^{-6}T^2+3,704 \times 10^{-8}T^3$	0,845	Young, J.F. 1967
MgCl ₂	$UR=0,365-2,523 \times 10^{-3}T+5,071 \times 10^{-6}T^2-4,166 \times 10^{-7}T^3$	0,963	Young, J.F. 1967
K ₂ CO ₃	$UR=(0,272 \text{EXP}(145,0/(T+273))) \times 100$	1,000	Labuza, et al. 1985
Mg(NO ₃) ₂	$UR=(0,162 \text{EXP}(356,6/(T+273))) \times 100$	1,000	Labuza, et al. 1985
NaNO ₂	$UR=0,687-1,028 \times 10^{-3}T+3,750 \times 10^{-5}T^2+4,629 \times 10^{-7}T^3$	0,999	Young, J.F. 1967
NaCl	$UR=0,714+3,56 \times 10^{-3}T-9,107 \times 10^{-6}T^2+6,481 \times 10^{-7}T^3$	0,965	Young, J.F. 1967
KCl	$UR=0,900-2,781 \times 10^{-3}T+2,143 \times 10^{-5}T^2-4,629 \times 10^{-8}T^3$	0,999	Young, J.F. 1967
BaCl ₂	$UR=0,908+4,011 \times 10^{-4}T-2,786 \times 10^{-6}T^2+2,037 \times 10^{-7}T^3$	0,997	Young, J.F. 1967

A medida que as amostras foram sendo liberadas, ou seja atingiram o peso constante, foi realizada a determinação de umidade. Desta forma, foram obtidos os valores de umidade de equilíbrio na polpa do figo, que foram correlacionados com a umidade relativa ou atividade de água de ambiente onde as amostras foram equilibradas, construindo as isotermas de sorção.

Os ajustes das curvas de sorção foram realizadas com o software gráfico Estatística versão 5.0.

3.5 Calor de Sorção

Com os dados das isotermas de dessorção construídas para a polpa do figo e ajustadas pela equação de GAB, determinou-se o excesso do calor isostérico de sorção em função da umidade do figo em base seca. A finalidade deste estudo foi analisar parâmetros energéticos na sorção da água pela matéria-prima, podendo ser usado para estimar a energia requerida no processo de secagem. O calor isostérico líquido de Sorção (q_{st}) foi calculado através da equação de Clausius Clapeyron (Equação 2.17).

Para umidade fixas entre 0,05 e 0,30 foram calculadas as atividades de água, utilizando as equações de regressão de GAB. A regressão linear dos dados do logaritmo natural das atividades de água versus o inverso da temperatura foi

realizada em umidade constante, onde o valor do calor de sorção correspondeu ao coeficiente angular de cada reta multiplicado pela constante universal dos gases. Os dados de calor de sorção e teor de umidade foram ajustados de acordo com a Equação (2.19) de TSAMI, com o auxílio do software Estatística versão 5.0 foram calculados os parâmetros q_0 , X_0 para a polpa do figo.

3.6. Secador

O equipamento para os ensaios de secagem foi construído no próprio Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos/ UNICAMP CAMPINAS - SP. Os materiais utilizados na construção foram basicamente madeira, fibra de cimento amianto e aço inoxidável.

O secador, mostrado na Figura 3.4, é do tipo bandejas e consiste de três seções básicas: seção de controle da velocidade do ar, seção de aquecimento e compartimento de secagem. O ar é forçado através do secador por meio de um ventilador centrífugo. Um conjunto de resistências elétricas é utilizado para o aquecimento do ar de secagem, sendo controladas por um variador de tensão que permite um ajuste fino da temperatura. O compartimento de secagem consiste de oito bandejas com acesso individual. As bandejas foram confeccionadas em alumínio com área de 400 cm² e altura de 10 cm, o fundo da bandeja é de malha de aço inoxidável com 1,2 mm de abertura para a livre passagem de ar em forma perpendicular ao produto a ser seco. O secador possui um sistema de medição de temperatura. O sistema de medição de temperatura é composto por dois termopares de tipo T ligados a um indicador de temperatura digital, marca Cole-Parmer Instrumental para alimentação de 110V - Indústria Brasileira, e tem menor divisor de 0,1°C. Um termopar é ligado logo abaixo da amostra para se obter a temperatura do ar de secagem na entrada da bandeja. Um segundo é instalado à 2 cm acima da bandeja, obtendo-se, portanto, a temperatura de saída do ar de secagem. O secador também possui um instrumento programador de temperatura marca COEL, modelo HW1430, para 115 V, o qual permite programar a temperatura de trabalho desejada no secador.

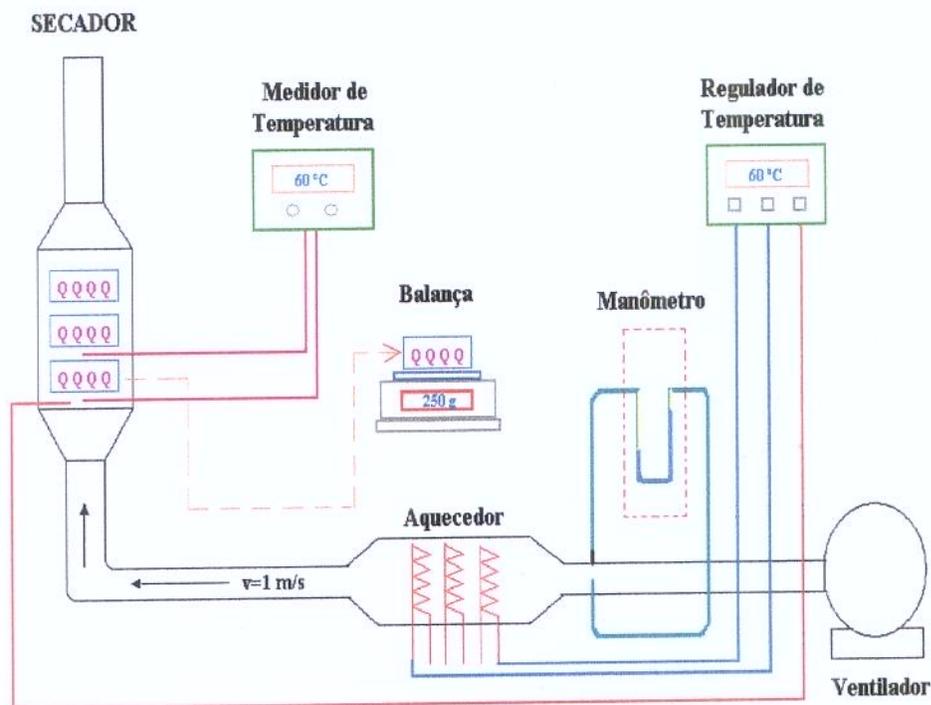


Figura 3.4: Secador convectivo de bandejas

3.7. Operação do equipamento

Antes do início de cada ensaio, o equipamento foi colocado em funcionamento nas condições de secagem. O sistema de aquecimento foi ligado combinando-se as resistências para atingir a temperatura exigida, na vazão dada. A velocidade do ar quente no secador foi medida com o medidor de velocidade de ar Anenómetro portátil de agulha marca Vane Anemometer 325 e com capacidade de 0 – 100 m/s.

Os figos, previamente tratadas, foram adicionados numa bandeja previamente tarada, em carga de aproximadamente de 350 a 450 g. O controle da temperatura de secagem foi realizado observando-se a temperatura de entrada do ar. E a temperatura de saída, lida como um dado importante do ensaio. Anotações das temperaturas foram feitas de 5 em 5 minutos nos primeiros 30

minutos de secagem, cada 10 e 15 minutos, nas primeiras 3 horas, seguidamente de 30 minutos e de 1 hora, no tempo restante.

A determinação da umidade das amostras ao longo da secagem foi realizada por pesagem da bandeja de acordo com a mesma seqüência da temperatura. Com os dados da pesagem e da umidade inicial, foram calculadas as respectivas umidades por balanço de massa. Ao final da secagem, o produto foi conservado em potes de vidro hermeticamente fechados para análises posteriores.

3.8. Variação de propriedades físicas durante a secagem

O coeficiente de encolhimento e a densidade aparente foram determinados em função da umidade das amostras. Foram realizados experimentos nas temperaturas de 45, 60 e 75°C a uma velocidade do ar de 1 m/s tanto para os figos inteiros in natura como para os figos em rodela in natura.

Para os figos inteiros in natura, cada ensaio foi realizado com aproximadamente 27 figos, dos quais foram retiradas três frutas periodicamente do secador, para determinação do volume, e peso. Simultaneamente era retiradas -amostras para determinação de umidade.

Para a realização das medidas de encolhimento, o método escolhido foi o do deslocamento de fluido, num aparelho semelhante ao desenvolvido por ZOGZAS et al. (1994). Este aparelho consiste de um compartimento, onde a amostra foi colocada, é uma bureta com escala de 0,05 mL. O compartimento é fechado hermeticamente. Para a determinação do volume deslocado pelo figo, o aparelho foi invertido, e a leitura feita na escala da bureta. O coeficiente de encolhimento (β) foi determinado a través da equação (2.28), sempre que se determine uma relação lineal de V/V_0 versus X . A partir dos dados experimentais, calculou-se o volume específico da amostra em relação volume inicial (V/V_0) e a densidade aparente (ρ_a).

O volume final do figo ($x=0$) foi encontrado por extrapolação da regressão linear de V versus X , com um intervalo de confiança de 95%. A partir disso,

realizou-se novamente uma regressão linear dos dados de V/V_f versus X em base seca, determinando-se o coeficiente linear, conhecido como coeficiente de encolhimento (β) (Equação 2.28). A densidade aparente do figo foi determinada a partir da equação (2.22), ou seja, da massa e do volume das amostras em vários conteúdos de umidade. O ajuste dos valores experimentais de ρ_v versus X , foi com a Equação (2.20).

3.9. Determinação de umidade das amostras

Para a determinação da umidade inicial das amostras para a secagem em leito fixo, bem como das amostras coletadas no secador, foram empregados pesa filtros de vidro pirex de 50 e 30 mL. Os pesa filtros foram lavados e guardados em estufa a 60°C e, antes de cada ensaio, retirados da estufa e colocados em dessecadores para esfriar. Depois de frios, foram tarados numa balança analítica Sartorius Analytic, com capacidade para 200 g. com menor divisão de 0,0001g.

As umidades foram determinadas colocando-se as amostras para secar em estufa a 60°C até peso constante, o que ocorreu após 24 horas. Todas as amostras iniciais tiveram a umidade determinada em triplicata.

3.10. Avaliação instrumental da cor

As propriedades visuais podem ser importantes fatores que influenciam diretamente o potencial de aplicação no mercado, pois tem relação direta com a aceitabilidade do consumidor. Os parâmetros podem ser medidos fisicamente utilizando-se técnicas estabelecidas pela CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), que se baseiam na percepção tricromática de uma visão normal, isto é, as cores são obtidas pelas combinações dos estímulos causados pelas três cores primárias: azul, vermelho e verde (FERREIRA, 1991).

Uma dessas técnicas estabelecidas pela CIE (Sistema Hunter), foi usada neste trabalho e é bastante utilizada na área de alimentos. Nesse sistema, um espaço tridimensional foi definido de maneira que o eixo L^* corresponde à luminosidade e os outros dois seriam coordenadas cromáticas: a^* , que varia do verde (valores negativos) ao vermelho (valores positivos) e b^* , que varia do azul (valores negativos) ao amarelo (valores positivos) (HUNTERLAB, 1997; MINOLTS CAMERA CO, 1993 e FERREIRA, 1991). Uma variável importante é o ΔE^* , chamado de diferença total de cor, que pode ser calculado pela equação (3.1).

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2 + (L^* - L_o^*)^2} \quad (3.1)$$

Onde:

ΔE^* = diferença total de cor;

L^* e L_o^* = índice de luminosidade da amostra e padrão respectivamente;

a^* e b^* = índices de croma da amostra;

a_o^* e b_o^* = índices de croma do padrão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características da matéria-prima

A caracterização do figo foi feita realizando-se análise de pectina, açúcares (totais e redutores), umidade, sólidos (solúveis, insolúveis, totais), cinzas, acidez, °Brix, proteína, lipídios e pH. Os resultados são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Caracterização química do figo utilizado nos experimentos.

Composição	Polpa	Casca	Inteiro
Pectina	0,1426g/100g	0,2964g/100g	-
Açúcares - Totais	--	--	5,18%(b.u.)
Açúcares - Redutores			4,29% (b.u.)
Umidade	85,15% (b.u.)	86,80% (b.u.)	-
Sólidos - Insolúveis			1,64% (b.u.)
Sólidos - solúveis			12,19% (b.u.)
Sólidos Totais			13,83 % (b.u.)
Cinzas	0,35% (b.U)	0,25%(b.u.)	-
Acidez (g ác. Cítrico/100g)	-	-	0,26
°Brix	14,58	12,33	
Proteína	1,31%(b.u.)	1,44%(b.u.)	
Lipídios	0,33%(b.u.)	0,30% (b.U.)	
pH	5,00	5,22	

Observa-se que a quantidade de açúcar total é aproximadamente igual a açúcar redutor, indicando que não há a presença de sacarose no figo. Os valores encontrados estão de acordo com a literatura. Costa (2001) apresenta um conteúdo de proteína de 1,2 g/100g e de lipídios 0,3 g/100g

4.2. Isotermas de Sorção

4.2.1. Curvas de Dessorção de Umidade

Os dados relacionados às curvas de dessorção de umidade para as temperaturas de 25, 40 e 60°C estão apresentados no Apêndice A correspondendo à Tabela A-1 para a polpa do figo. Estes dados encontram-se graficados na Figura 4.1.

Para o cálculo de umidade de equilíbrio foi utilizado a equação (4.1):

$$X_e = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (4.1)$$

Onde: m_{eq} é massa amostra quando atingido o equilíbrio (g); e m_s é massa seca da amostra (g).

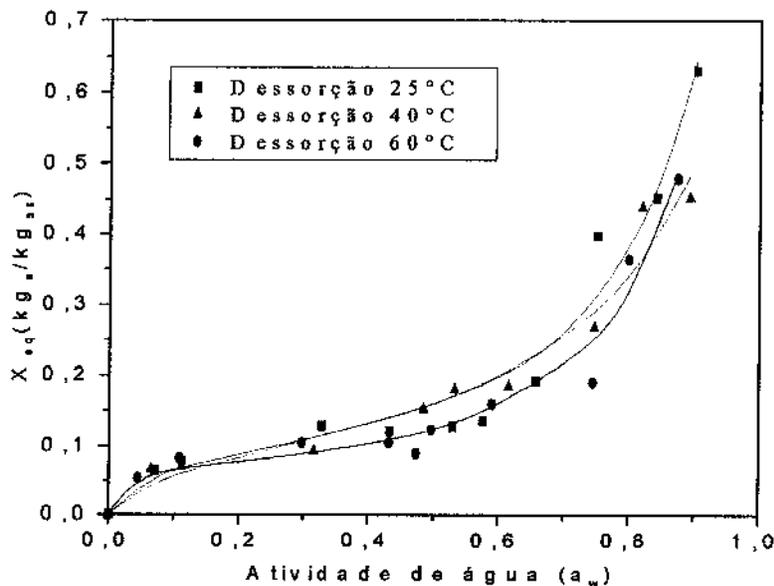


Figura 4.1: Isotermas de dessorção de polpa do figo a diferentes temperaturas (25, 40 e 60°C).

Pode-se observar que as curvas de sorção apresentaram um comportamento típico de curva tipo II, na classificação de BET. O efeito da temperatura nas isotermas de dessorção de umidade, sobretudo, para valores de atividade água menores de 0,80 não é muito claro devido à dispersão dos pontos.

Entretanto verifica-se uma certa tendência à redução da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura. Este comportamento é geralmente atribuído à uma redução no número de sítios ativos, devido a mudanças químicas e físicas provocadas pela temperatura. A extensão do decréscimo, entretanto, depende da natureza ou constituição do alimento (RIZVI, 1986).

Para valores de atividade de água maiores que 0,80 em geral observa-se uma tendência à inversão da dependência da temperatura. Isto pode ser devido à dissolução dos açúcares contida nos frutos. Apesar da dispersão dos pontos isto pode ser verificado para as isotermas de 40 e 60°C.

SÁ & SERENO (1993) explicaram este cruzamento das isotermas, não só pela quantidade de açúcar presente, mas também pela proporção de cada tipo de açúcar. A presença de outros polissacarídeos adicionados para melhorar as propriedades reológicas ou textura do produto pode também influenciar na posição do cruzamento. Resultados semelhantes foram obtidos por GABAS (1998) para isotermas de adsorção e dessorção de polpa de uva Itália desidratada; por SARAVACOS et al (1986) para isotermas de adsorção de uva passa e por AYRANCI et al. (1990) no estudo de isotermas de frutas secas (damasco, figo e uva). ROMAN et al. (1982) encontraram um efeito normal da temperatura nas isotermas de dessorção de maçãs, ou seja, não houve cruzamento das isotermas em altas atividades de água, que se deveu à baixa porcentagem de monossacarídeos nas maçãs.

Alguns modelos matemáticos foram selecionados para ajustar os valores experimentais de umidade de equilíbrio da polpa do figo a diversas temperaturas, baseando-se em estudos anteriores com alimentos que contêm açúcar: equação de BET (2.4); equação de Halsey modificada (2.8) e equação de GAB (2.9). Os parâmetros calculados a partir desses modelos e os valores de determinação do ajuste (R^2), estão na Tabela 4.2 para isotermas de dessorção da polpa do figo.

Dos resultados dos parâmetros estatísticos de ajuste das isotermas, pode-se concluir que o modelo de melhor ajuste aos dados experimentais nas 3 temperaturas estudadas foi a equação de GAB. Com relação à equação de BET e Halsey, estas não se ajustaram tão bem aos dados experimentais para todas as temperaturas, como pode ser observado quantitativamente na Tabela 4.2. Por este motivo foi utilizada a equação de GAB neste trabalho para ajustar as isotermas da polpa do figo.

Tabela 4.2: Parâmetros dos modelos de GAB, Halsey Modificado e BET, χ^2 e o coeficiente de determinação (R^2), calculados pelo ajuste das isotermas de **Dessorção** da polpa do figo a diferentes condições de temperatura.

Modelo	T°C	Parâmetros do Modelo			$\chi^2 (10^3)$	R^2
		X_m	C	K		
GAB	25	0,09	21,63	0,96	14,65	0,981
	40	0,10	12,18	0,90	9,87	0,977
	60	0,06	282,94	1,00	7,36	0,982
Halsey		r	c	K		
	25	0,36	99,20	4,22	27,97	0,962
	40	0,53	100,99	3,38	16,12	0,962
	60	0,41	99,35	3,72	28,49	0,925
BET		X_m	C			
	25	0,06	210,31	-	22,68	0,995
	40	0,06	5928,34	-	28,32	0,934
	60	0,06	100,86	-	7,37	0,991

4.2.2 Curvas de Adsorção de Umidade e Histerese

Os dados relacionados às curvas de adsorção de umidade para as temperaturas de 25, 40 e 60°C estão apresentados no Apêndice A correspondendo à Tabela A-2 para a polpa do figo e estão graficados na Figura 4.2.

Observa-se na Figura 4.2, o efeito da temperatura nas isotermas de adsorção de umidade, sobretudo, para valores de atividade de água menores 0,80. A umidade aumenta à uma dada umidade relativa, com o decréscimo da temperatura, comportamento atribuído à redução no número de sítios ativos, devido a mudanças químicas e físicas causadas pela temperatura (RIZVI 1986).

A extensão do decréscimo, depende da natureza do alimento. Para valores de atividade de água maiores que 0,80 pode-se observar também como nas curvas de dessorção, uma tendência à inversão da dependência da temperatura.

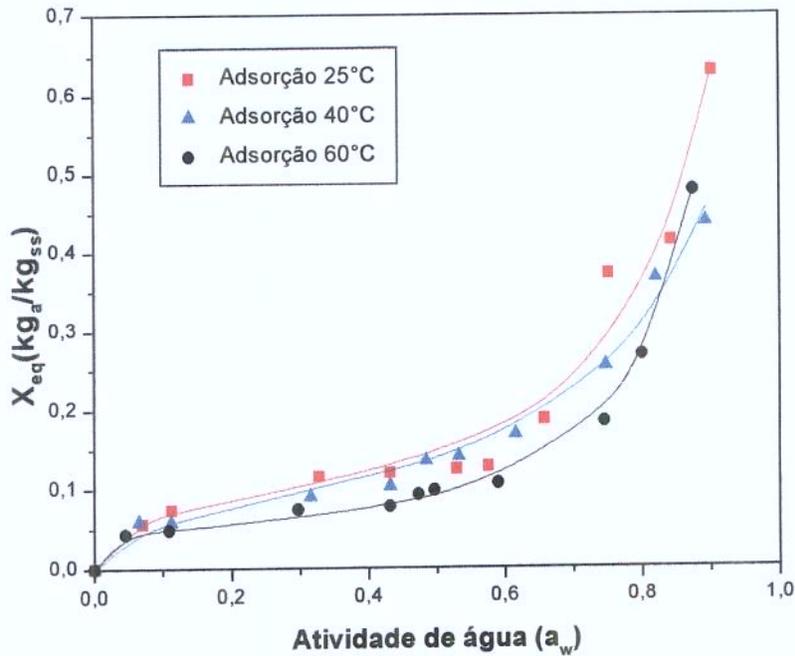


Figura 4.2: Isothermas de adsorção de polpa do figo a diferentes temperaturas (25, 40 e 60°C).

Da mesma maneira isto pode ser explicado, pela dissolução dos açúcares da fruta, que aumenta significativamente quando a temperatura é aumentada.

Para ajustar os valores experimentais de equilíbrio da polpa do figo a diversas temperaturas, foram utilizadas as equações de BET (2.4), Halsey modificada (2.8) e de GAB (2.9). Os parâmetros calculados desses modelos e os valores estão na Tabela 4.3 para isothermas de adsorção da polpa do figo. Neste caso, o modelo de GAB também apresentou o melhor ajuste para os dados experimentais.

Nas figuras 4.3, 4.4 e 4.5 são apresentados os dados de dessorção e adsorção. Nota-se através destas Figuras, que existe uma diferença entre as curvas de adsorção e dessorção de umidade, para uma ampla faixa de atividade de água, caracterizando a presença de histerese.

Tabela 4.3: Parâmetros dos modelos de GAB, Halsey Modificado e BET, χ^2 e o coeficiente de determinação (R^2), calculados pelo ajuste das isotermas de **Adsorção** da polpa do figo a diferentes condições de temperatura.

Modelo	T°C	Parâmetros de Modelo*			$\chi^2 (10^5)$	R^2
		X_m	C	K		
GAB	25	0,09	19,29	0,95	11,09	0,993
	40	0,15	1,26	0,90	2,04	0,984
	60	0,05	360,20	1,02	0,42	0,999
Halsey		r	c	K		
	25	0,35	103,42	4,25	27,24	0,962
	40	0,50	102,02	3,35	10,58	0,971
	60	0,31	98,16	4,01	21,37	0,940
BET		X_m	C			
	25	0,07	126,98	-	15,15	0,975
	40	0,07	37,34	-	12,69	0,955
	60	0,05	70,61	-	33,02	0,997

Para uma dada atividade de água, a umidade de equilíbrio da dessorção é maior que na adsorção. No presente caso, essa diferença das curvas pode ser considerada desprezível para a obtenção da umidade de equilíbrio, necessária ao cálculo da cinética de secagem do figo, já que as umidade finais são baixas.

MAZZA & LEMAGUER (1980) estudando as propriedades de sorção da cebola, obtiveram uma considerável histerese, que aumentou conforme o decréscimo da temperatura, principalmente em baixa atividade de água. Eles supuseram que este comportamento se deveu à combinação da condensação da água em capilares e mudanças estruturais ocorridas durante a adsorção ou dessorção de umidade deste produto. Entretanto, analisando-se as Figura 4.3 a 4.5, verificou-se que para o figo, a histerese aumentou com o aumento a temperatura.

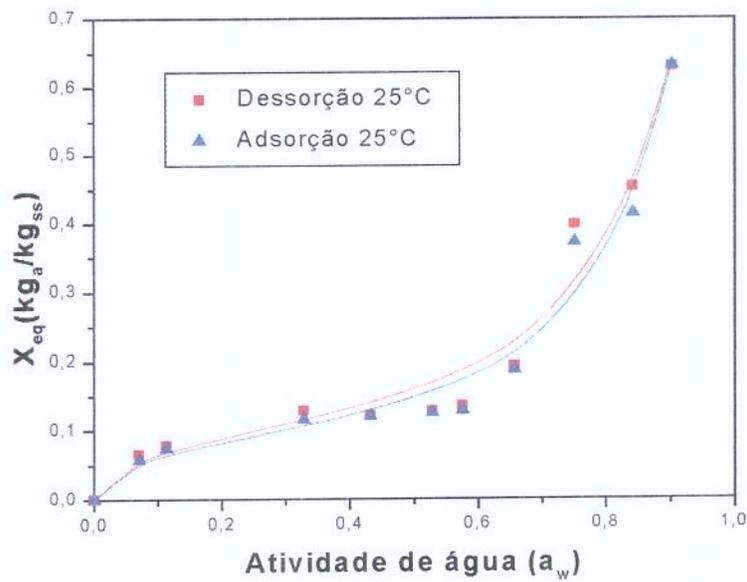


Figura 4.3: Fenômeno de histerese para polpa de figo, a 25°C ajustada pela equação de GAB.

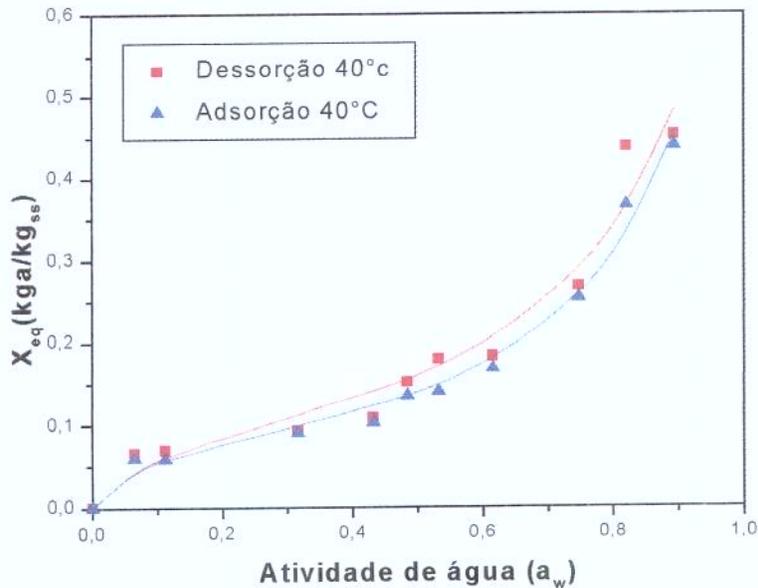


Figura 4.4: Fenômeno de histerese para polpa de figo, a 40°C ajustada pela equação de GAB

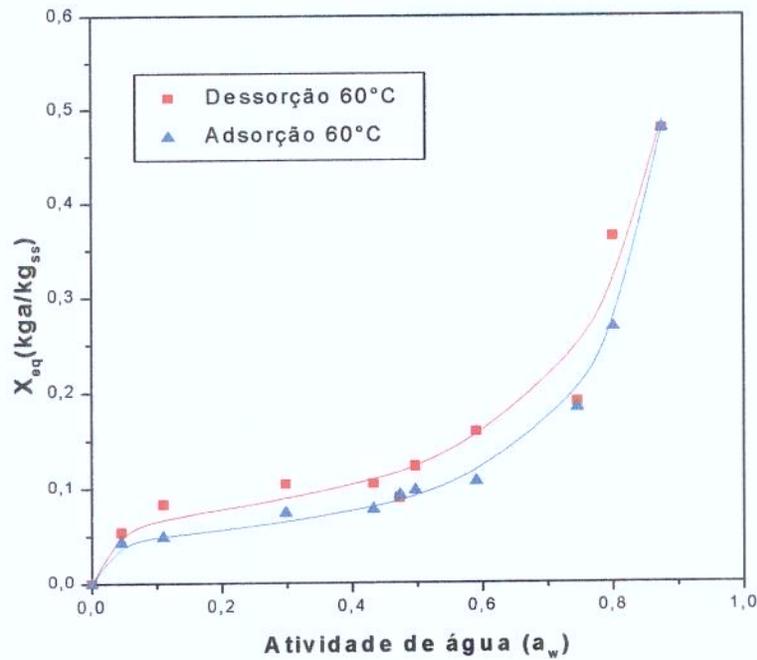


Figura 4.5: Fenômeno de histerese para polpa de figo, a 60°C ajustada pela equação de GAB.

4.2.3 Calor Isostérico de Sorção

O calor isostérico de sorção foi calculado a partir das isósteres de dessorção, que por sua vez é determinada a partir das isotermas (item 3.4). As Figuras 4.6 e 4.7, contém dados de atividade de água em função da temperatura, na forma de isósteres. Observar-se, que, dentro do erro de determinação, a atividade de água segue a equação de Clausius–Clapeyron com q_{st} , constante. A partir da isósteres foram calculados os valores de calor diferencial isostérico de sorção (q_{st}) que são apresentados em função da umidade na Figura 4.7.

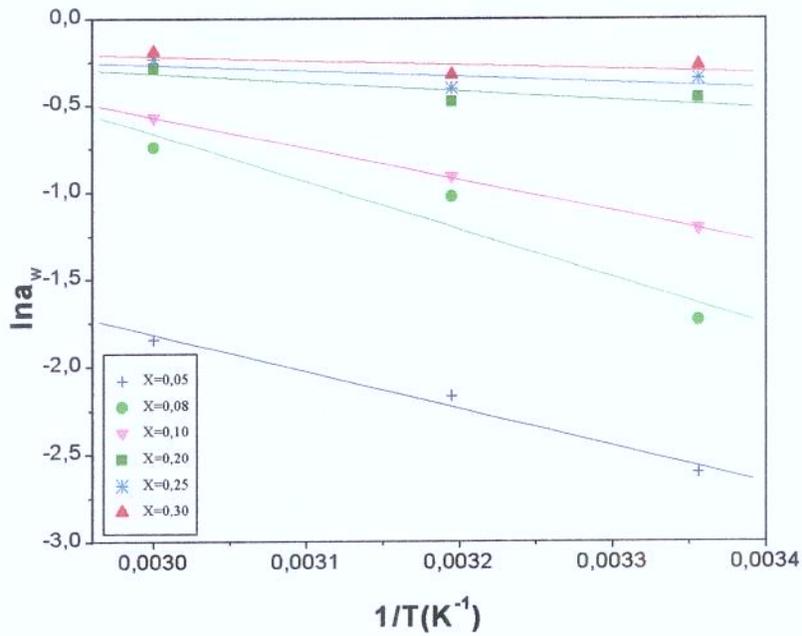


Figura 4.6: Relação entre a atividade de água e temperatura absoluta, para a polpa de figo

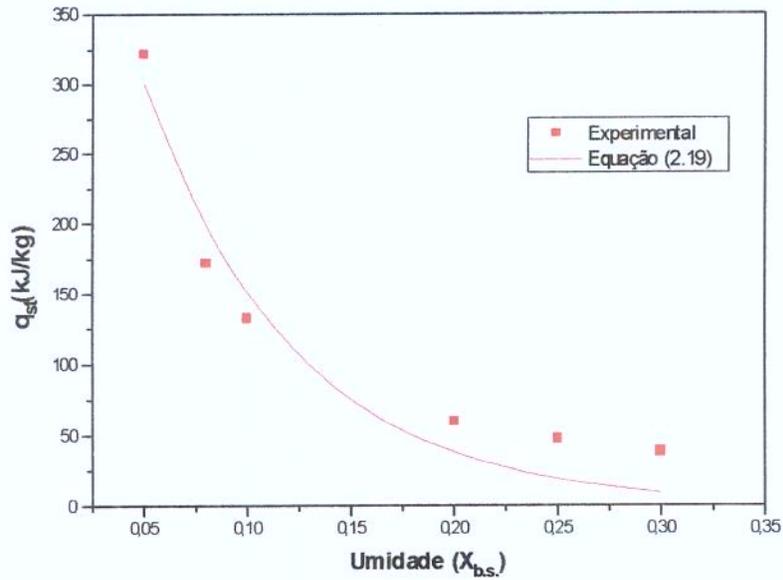


Figura 4.7: Influência do conteúdo de umidade no calor de sorção

O calor isostérico de sorção (dessorção) decresce com o aumento da umidade do produto. Este comportamento pode ser explicado considerando-se que, inicialmente a sorção ocorre no sítio disponível mais ativo, dando origem a uma alta energia de interação (MAZZA & LEMAGUER, 1978), para logo ir ligando-se em sítios menos energéticos.

Os dados experimentais do calor isostérico de sorção para a polpa do figo, em função do teor de umidade, foram ajustados através da equação (2.19), exponencial empírica aplicada por TSAMI et al (1990), com parâmetros q_0 iguais a (596,68kJ/kg), X_0 (0,073) e R^2 (0,97) respectivamente.

Pode-se observar que a equação prediz que q_{st} deve tender a zero, ou seja, que o calor total de sorção deve tender ao calor latente de evaporação da água pura. Entretanto, os valores experimentais se mantêm elevados para umidades relativamente altas.

4.3. Coeficiente de encolhimento e densidade aparente

A determinação da densidade aparente e coeficiente de encolhimento em função da umidade do figo inteiro, in natura e com branqueamento sem casca (BS), foi realizada à temperatura de 60°C. Os valores experimentais necessários ao cálculo destes parâmetros físicos, se encontram na Tabela 4.4. Os dados de volume e densidade aparente em função do conteúdo de umidade ($X_{b,s}$) foram graficados nas Figuras 4.8 e 4.9 respectivamente.

Na Figura 4.8 pode-se observar que o volume diminui linearmente com a umidade. Neste caso, a perda de volume segue o princípio da aditividade do volume, e não ocorre enrijecimento da estrutura, o que provocaria a formação de poros. Nota-se que a densidade aparente aumenta conforme a remoção de água presente no figo na forma de uma hipérbole. Este comportamento é típico dos produtos cuja matriz insolúvel é elástica, RATTI (1994).

Tabela 4.4: Valores experimentais obtidos para o cálculo do encolhimento de secagem do figo a 60°C, branqueado e sem casca (BS), onde U=umidade em base úmida; X=umidade em base seca; V_s , V_w e V_a são os volumes do sólido, da água e dos poros de ar; V/V_0 = adimensional de volume específico e m_s e m_w =massa do sólido e da água.

U(b.u) kg _a /kg _{SU}	X(b.s) kg _a /kg _{SS}	$V_s+V_w+V_a$ ml	V.esp cm ³ /g _{SS}	$\frac{V}{V_0}$	m_s+m_w g	ρ_{apa} g/cm ³
0,854	5,845	54,700	6,609	1,000	56,086	1,025
0,766	3,278	34,000	4,108	0,622	35,058	1,031
0,738	2,815	30,200	3,649	0,552	31,261	1,035
0,512	1,051	15,000	1,812	0,274	16,802	1,120
0,480	0,923	13,900	1,679	0,254	15,759	1,134
0,145	0,169	8,400	1,015	0,154	9,580	1,140
0,536	0,057	7,500	0,906	0,137	8,658	1,154
0,130	0,013	7,000	0,846	0,128	8,302	1,186

Os valores experimentais da Figura 4.9 foi ajustado de acordo com a equação (2.20), utilizado por LOZANO (1983), obtendo-se os seguintes parâmetros $\alpha=1,16590$, $\beta = -0,27059$, $\gamma = 0,000563$ e $\delta = -5,43477$. O coeficiente de encolhimento da equação (2.21), foi obtido pela regressão linear de V/V_0 versus X em base seca. O valor do coeficiente de encolhimento (b) foi 0,877918, e o valor da constante (a) foi igual a 0,124293, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,999, nível de significância (P) <0,05, na temperatura de 60°C para os figos inteiros, in natura e branqueados sem casca (BS).

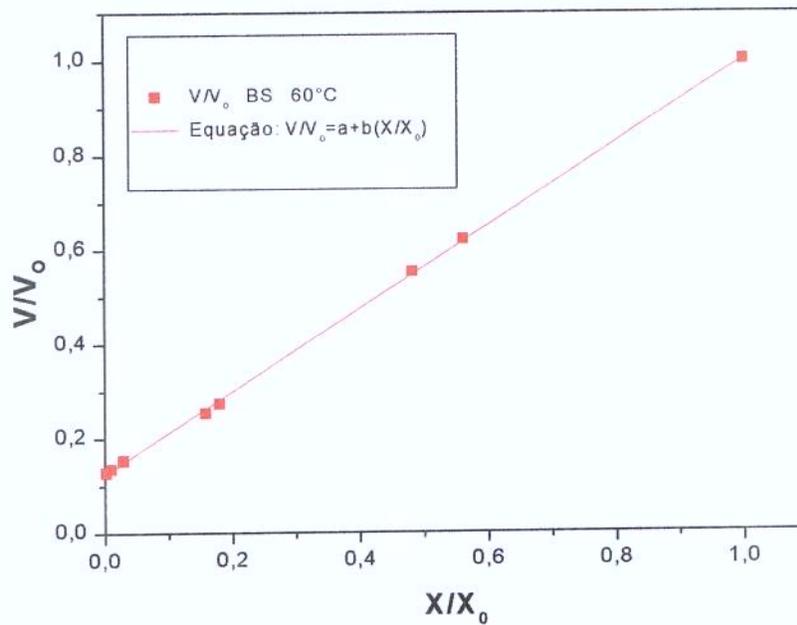


Figura 4.8: Encolhimento volumétrico versus umidade adimensional do figo branqueado sem casca ($T=60^{\circ}\text{C}$)

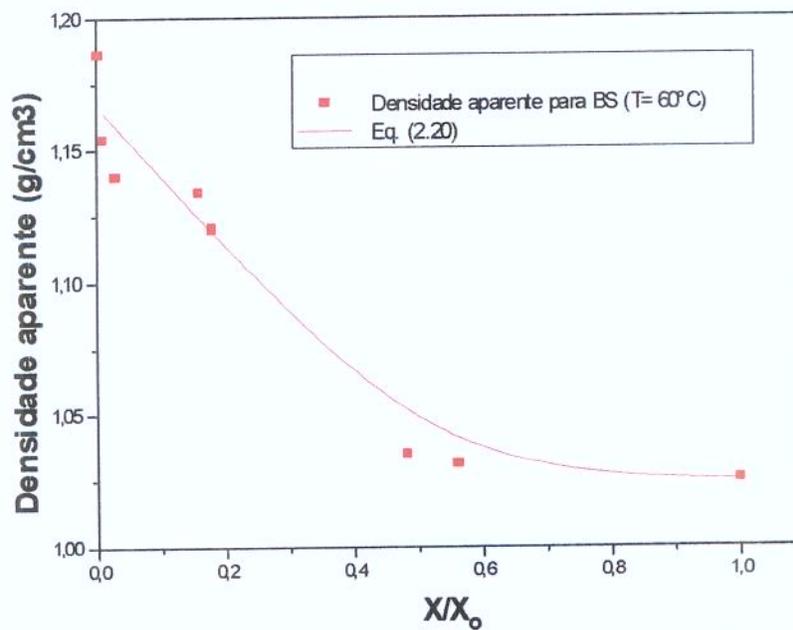


Figura 4.9: Densidade aparente versus umidade adimensional em função da temperatura do ar para o figo BS ($T= 60^{\circ}\text{C}$).

Estudando as propriedades de alguns vegetais, ZOGZAS et al. (1994) também observaram que a densidade aparente aumentou com a diminuição do conteúdo de umidade para batata e cenoura, porém, descobriram um efeito contrário no caso da maçã, já que sua densidade aparente diminuiu quando água foi removida resultando num coeficiente de encolhimento β menor que 1. Este efeito foi ocasionado pela alta porosidade da fruta, quando removeu-se a água da mesma.

No estudo da secagem de uva Itália, GABAS (1998) obteve comportamento similar nas curvas de encolhimento volumétrico e densidade aparente, onde o volume diminui com o decréscimo da umidade; e a densidade decresceu com o aumento da umidade.

A determinação da densidade aparente e coeficiente de encolhimento em função da umidade do figo in natura, cortado em rodela de espessura de 10 mm foi realizada a temperatura de 60°C no ar de secagem. Os valores experimentais necessários ao cálculo destes parâmetros físicos, se encontram na Tabela 4.5.

Os dados do volume e da densidade aparente em função do conteúdo de umidade ($X_{b,s}$) contidos na Tabela 4.5, são graficadas nas Figura 4.10 e 4.11 respectivamente.

Na Figura 4.10 pode-se observar que o volume, como no caso do figo inteiro, cai linearmente com a umidade, mas o encolhimento é menor ($V/V_0=0,3$) comparado com volume final do figo inteiro in natura branqueado (BS) com $V/V_0=0,22$, para $X/X_0=0,1$ respectivamente. Neste caso a secagem mais rápida pode ter causado um enrijecimento da camada superficial, limitando o encolhimento do produto.

A dependência entre a densidade aparente e a umidade da amostra apresentou-se altamente não linear. Tentou-se, inicialmente ajustar modelos já apresentados na literatura, como o polinomial proposto por MADAMBA et al. (1994), entretanto o ajuste obtido não foi satisfatório.

Tabela 4.5: Valores experimentais obtidos para o cálculo do encolhimento durante a secagem do **figo em rodela**s à temperatura de 60°C, onde U=umidade em base úmida; X=umidade em base seca; V_s , V_w e V_a são os volumes do sólido, da água e dos poros de ar; V/V_o = adimensional de volume específico e m_s e m_w =massa do sólido e da água.

U(b.u) kg _a /kg _{su}	X(b.s) kg _a /kg _{ss}	$V_s+V_w+V_a$ (cm ³)	V. esp cm ³ /g _{ss}	$\frac{V}{V_o}$	m_s+m_w g	ρ_{apa} g/cm ³
0,87	6,49	26,75	3,23	1,000	21,05	0,787
0,83	5,03	21,32	2,58	0,831	16,95	0,795
0,79	3,71	17,25	2,08	0,672	13,22	0,767
0,70	2,38	12,41	1,50	0,483	9,49	0,765
0,57	1,30	9,02	1,09	0,352	6,47	0,717
0,37	0,59	7,32	0,89	0,285	4,47	0,610
0,30	0,43	6,90	0,83	0,269	4,02	0,583

Testou-se, então, o modelo empírico desenvolvido por LOZANO et al., (1983), dado pela equação (2.20). Verificou-se que, embora esta equação se ajustasse melhor que a polinomial, ainda não reproduzia o máximo de densidade aparente apresentado por todas as curvas experimentais. A melhor representação dessas curvas foi obtida fazendo-se uma modificação na equação (2.20), introduzindo-se uma variável independente multiplicando o termo exponencial, de acordo com a equação (4.2), obtendo-se os parâmetros α (0,464780) , β (0,255833), γ (1,860973) e δ (3,245305).

$$\rho_{apa} = \alpha + \beta \left(\frac{X}{X_o} \right) + \gamma \left(\frac{X}{X_o} \right) \exp \left(- \delta \frac{X}{X_o} \right) \quad (4.2)$$

O coeficiente de encolhimento da equação (2.21), foi obtido pela regressão linear de V/V_o versus X em base seca. O valor de coeficiente de encolhimento (b) é 0,797510, e o valor de (a) é 0,206353, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,99924, nível de significância (P) <0,05, com secagem na temperatura de

60°C para os figos in natura e em rodela. Nota-se na Figura 4.11, a densidade aparente cai conforme a remoção de água presente no figo na forma de rodela, e acontece ao contrário do comportamento da densidade aparente do figo inteiro com tratamento branqueado sem casca (BS) apresentado na Figura 4.9. O comportamento é típico dos produtos cuja matriz insolúvel não é elástica, e o material torna-se poroso na medida que avança a secagem.

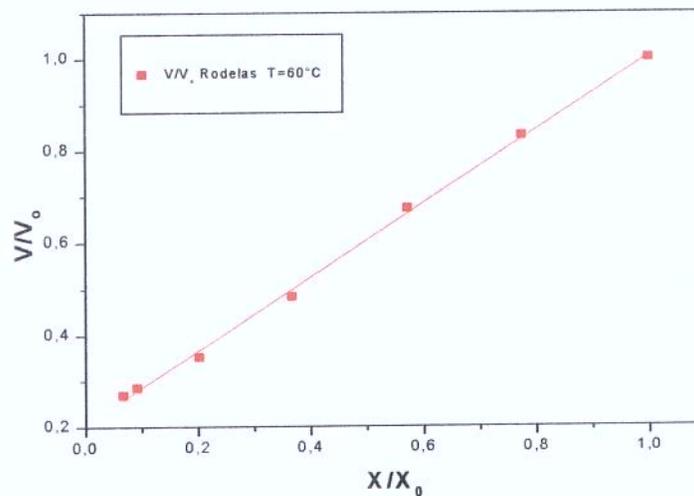


Figura 4.10: Encolhimento volumétrico versus umidade adimensional do figo em rodela ($T=60^\circ\text{C}$)

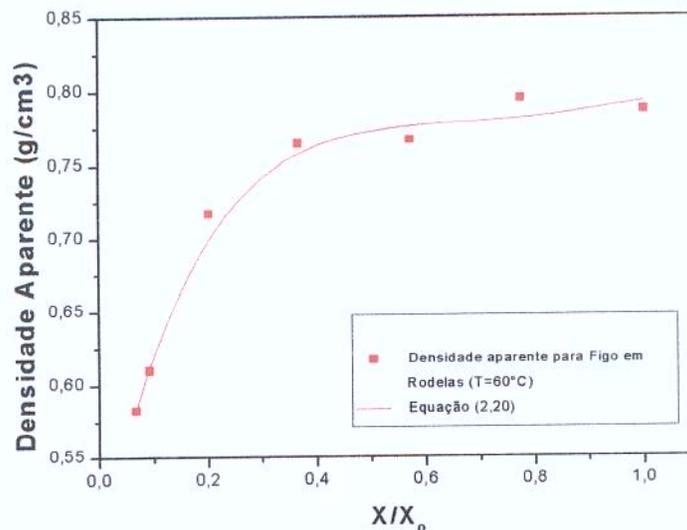


Figura 4.11: Densidade aparente versus umidade adimensional em função da temperatura do ar para o figo em rodela ($T= 60^\circ\text{C}$).

4.4. Cinética de secagem

A cinética de secagem do figo foi estudada para três temperaturas (45, 60 e 75°C), quatro tratamentos: inteiro in natura (T), inteiro in natura e perfurado (P), inteiro e branqueado com casca (BC) e branqueado sem casca (BS), e com velocidade de ar de secagem constante de 1 m/s.

Analizou-se a influência dos pré-tratamentos e da temperatura do ar de secagem. A partir das Figuras 4.12 a 4.14, observou-se que não houve o período de secagem a taxa constante bem definido, ocorrendo somente o período decrescente. Isto demonstra que a difusão é provavelmente o mecanismo físico que governa o movimento de umidade desta fruta, ou seja a velocidade de secagem é controlada pela velocidade de difusão do líquido através do sólido da polpa e da casca, desprezando-se a resistência externa, além disto a presença de sólidos solúveis decresce a atividade de água para toda a faixa de umidade utilizada. Assim para a umidade inicial ($X_0=86\%$ b.u.) a atividade de água determinada com um medidor de atividade de água (Decagon) foi de 0,984, menor que a unidade.

4.4.1..Efeito dos pré-tratamentos

4.4.1.1. Efeito dos pré-tratamentos para figos inteiros e in natura

As Figuras 4.12 a 4.14, apresentam a variação de umidade adimensional em função do tempo de secagem do figo submetidos aos diversos pré-tratamentos. Devido às mudanças físicas e químicas ocorridas durante o pré-tratamento do figo, foram observadas diferenças de secagem. Houve um aumento da taxa de secagem em relação ao figo in natura (T), para todos os tratamentos. Esta tendência aumenta com o decréscimo da temperatura. Na Figura 4.12 é possível observar que para os tratamentos do figo *in natura* inteiro com casca (T), inteiro perfurado (P), branqueado com casca (BC) e branqueado sem casca (BS) secas a temperatura de 45°C, resultou em curvas de secagem similares àquelas em que a temperatura do ar foi de 60°C (Figura 4.13).

As taxas de secagem aumentam segundo a seguinte relação: a taxa do BS>BC>P>T. Portanto, para 45 e 60°C, as taxas de secagem do figo branqueado com e sem casca (BC, BS) são maiores que as anteriores (T, P), refletindo o efeito da presença casca e do branqueamento sobre a permeabilidade da mesma.

Entretanto para 75°C, o figo branqueado com casca (BC) apresenta tendências diversas nas taxas de secagem quando se comparam com as determinadas temperaturas de 45 e 60°C. Neste caso as taxas para (BC) são menores que as do tipo in natura (T) e perfurado (P). Isto pode ter resultado pelo fato de que os figos *in natura* (T) e perfurado (P) ao longo da secagem liberarem suco através das fissuras indesejáveis na casca do figo causadas pela alta temperatura no ar de secagem, por isso as taxas de secagem foram maiores que as taxas da secagem do figo branqueado com casca (BC). O figo branqueado sem casca (BS) apresentou o mesmo comportamento nas distintas temperaturas, com maior taxa de secagem que os demais tratamentos.

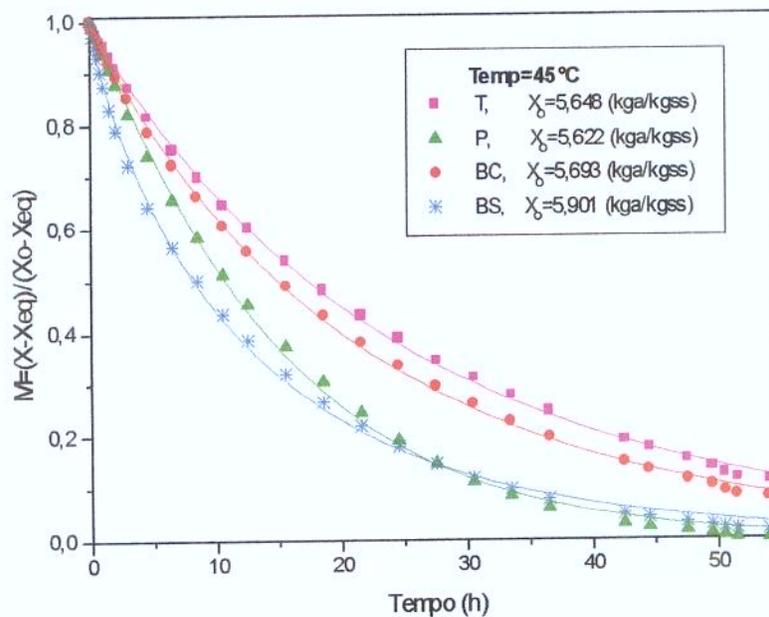


Figura 4.12: Curvas de secagem de figo a 45°C ($X_{eq}=0,09$, b.s.)

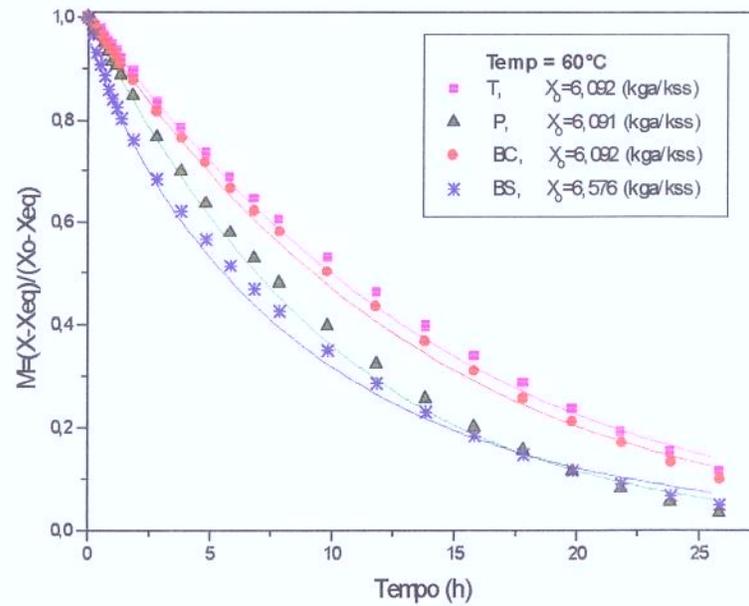


Figura 4.13: Curva de secagem de figo a 60°C ($X_{eq}=0,07$, b.s.)

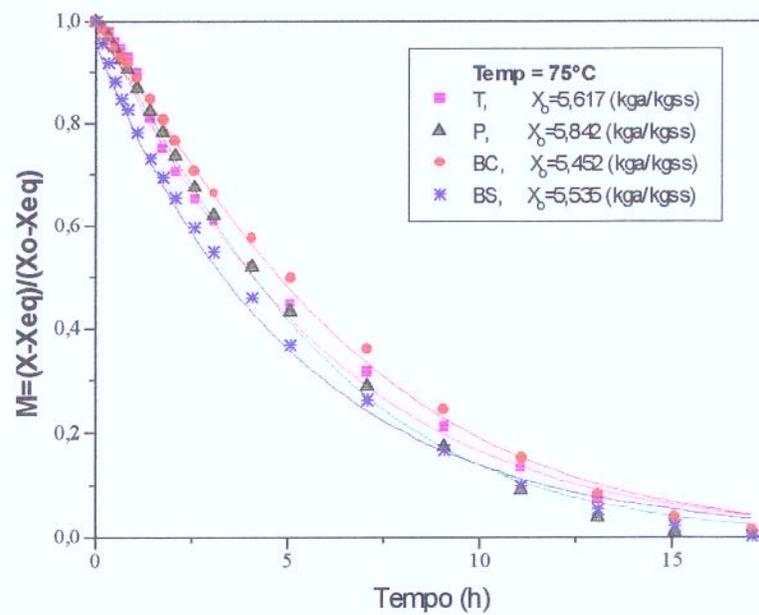


Figura 4.14: Curvas de secagem de figo a 75°C ($X_{eq}=0,06$ b.s.).

No Apêndice B, são apresentados os dados de cinética da secagem para os quatro pré-tratamentos dos figos inteiros.

4.4.2. Efeito da temperatura do ar de secagem

Pesquisas em secagem de alimentos consideram a temperatura do ar de secagem como a variável de maior influência na cinética e na qualidade do produto final. Temperaturas acima de 70°C provocam a caramelização dos açúcares presentes na fruta, causando um maior escurecimento das amostras, afetando a aceitação do produto. No entanto, processos realizados a temperaturas abaixo de 60°C levam a longos períodos de secagem (YOSHIDA 1997).

No estudo da secagem de uva Itália GABAS (1998), utilizou temperaturas do ar de secagem de 50, 60, 70 e 80°C, com velocidades do ar de secagem de 0,5 m/s. O aumento de temperatura favoreceu a secagem, devido ao aumento do coeficiente de difusão. Nos estudos da cinética de secagem de tomate cereja in natura, AZOUBEL (1999), utilizou temperaturas de ar de secagem de 50, 60 e 70°C, com velocidade do ar de 0,75 e 2,60 m/s, obtendo o resultado de que com o aumento destas variáveis, a taxa de remoção de umidade do produto foi maior.

Baseado nestes estudos optou-se as temperaturas de 45, 60 e 75°C, com velocidade constante do ar de secagem de 1 m/s como condições do processo para os ensaios de secagem do figo. Os dados de secagem obtidos experimentalmente e as razões de umidade correspondentes são mostrados nas Figuras 4.15 a 4.18 para os quatro tratamentos. Essas Figuras traduzem o efeito da temperatura na cinética de secagem do figo. O aumento da temperatura do ar de secagem ocasiona maior taxa de remoção de umidade em todos os tratamentos realizados. Os adimensionais $(X-X_{eq})/(X_0-X_{eq})$ foram calculados utilizando conteúdos de umidade em base seca. Os valores de X_{eq} foram determinados a partir dos dados de umidade relativa do ar de secagem, conforme a Tabela 4.6, e os dados de isotermas de sorção.

Tabela 4.6 Valores de umidade relativa do ar de secagem para as diferentes condições de temperatura e de velocidade para o figo.

Temperatura (°C) do ar de secagem	Velocidade (m/s)	Umidade relativa (%)
45	1,00	25
60	1,00	08
75	1,00	05

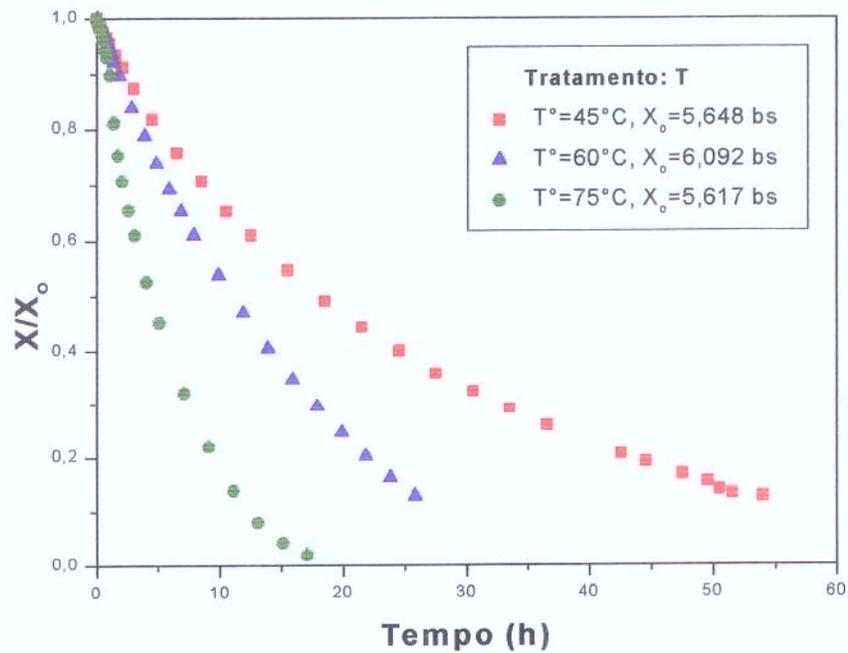


Figura 4.15: Efeito da temperatura do ar de secagem para o tratamento T

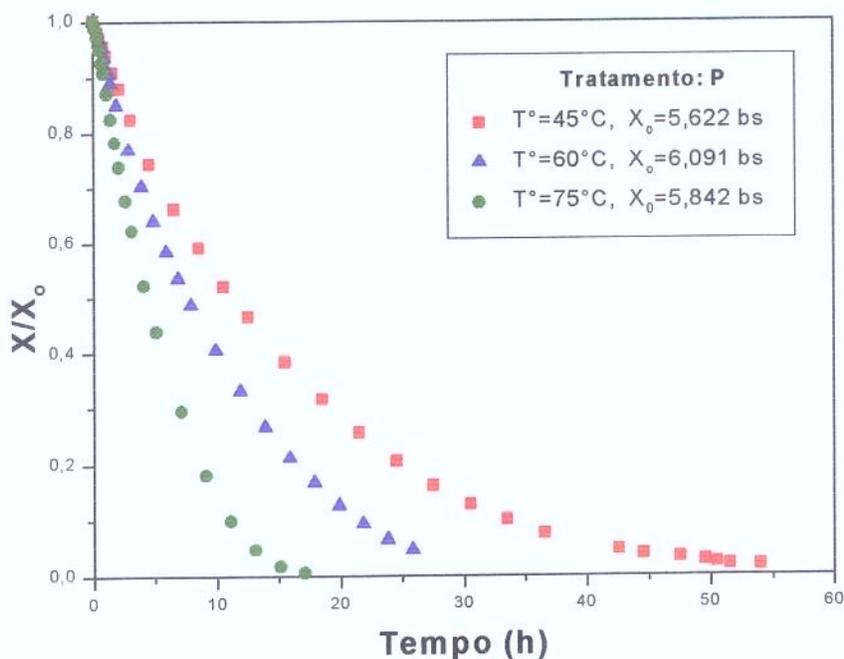


Figura 4.16: Efeito da temperatura do ar de secagem para o tratamento P

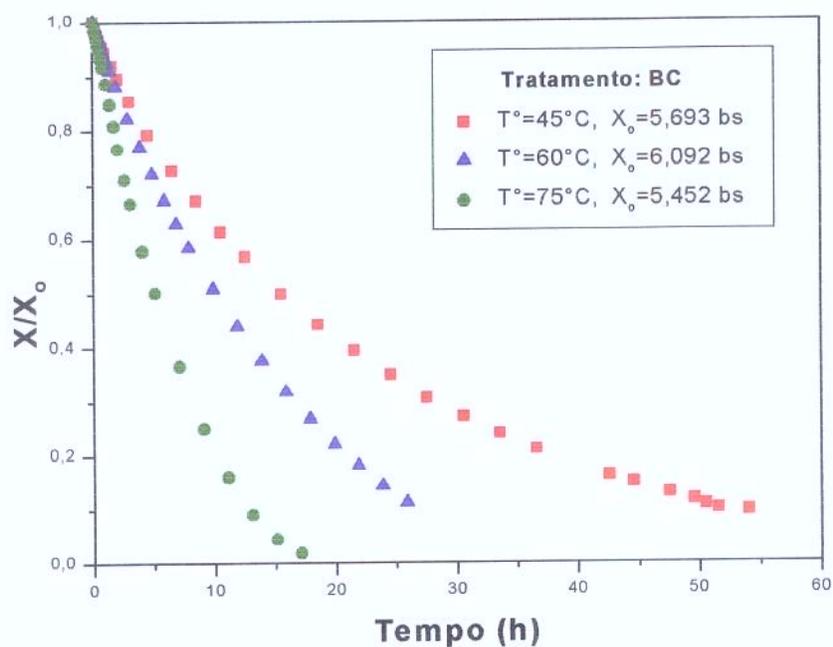


Figura 4.17: Efeito da temperatura do ar de secagem para o tratamento BC

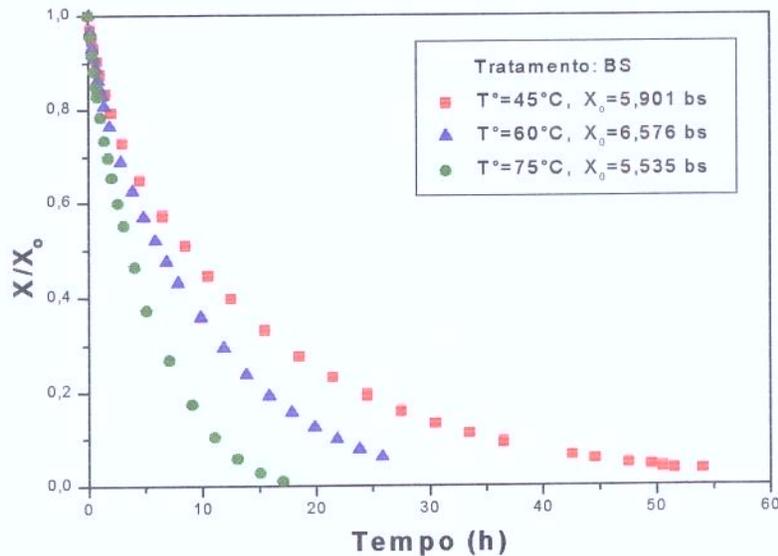


Figura 4.18: Efeito da temperatura do ar de secagem para o tratamento BS

4.4.3. Equações de secagem

Os modelos selecionados para correlacionar os dados experimentais da secagem do figo foram: Modelo Exponencial (2.46), Equação de Page (2.48) e o Modelo Exponencial com dois termos (2.49).

Segundo Pinto & Tobinaga, citado por PEDROSO (1997), o modelo exponencial é uma correlação semi-empírica importante na secagem de alimentos, sendo utilizada por diversos pesquisadores. GABAS (1998), no estudo da secagem de uva Itália, concluiu que a Equação de Page ajustou bem aos dados experimentais, representando satisfatoriamente as curvas de secagem.

Os testes de ajuste dos modelos matemáticos foram realizados através do Software Estatística 5.0, utilizando-se a rotina de regressão não-linear, obtendo-se os valores dos parâmetros estimados, coeficiente de determinação (R^2) e a porcentagem de confiança (P) para cada modelo testado, assim como, para cada condição de processo trabalhada.

Nas Figuras 4.19, 4.20 e 4.21, tem-se o ajuste para os três modelos selecionados, nas condições de processo de temperatura igual à 45, 60 e 75°C para o tratamento do figo inteiro branqueado e sem casca.

A determinação do modelo matemático que melhor se ajustou as curvas de secagem do figo, foi baseado no menor qui-quadrado, no maior coeficiente de determinação e na maior porcentagem de confiança, ambos calculados pelo Software Estatística 5.0. A Tabela 4.7, exemplifica os resultados obtidos para o ensaio à diferentes temperaturas e tratamentos.

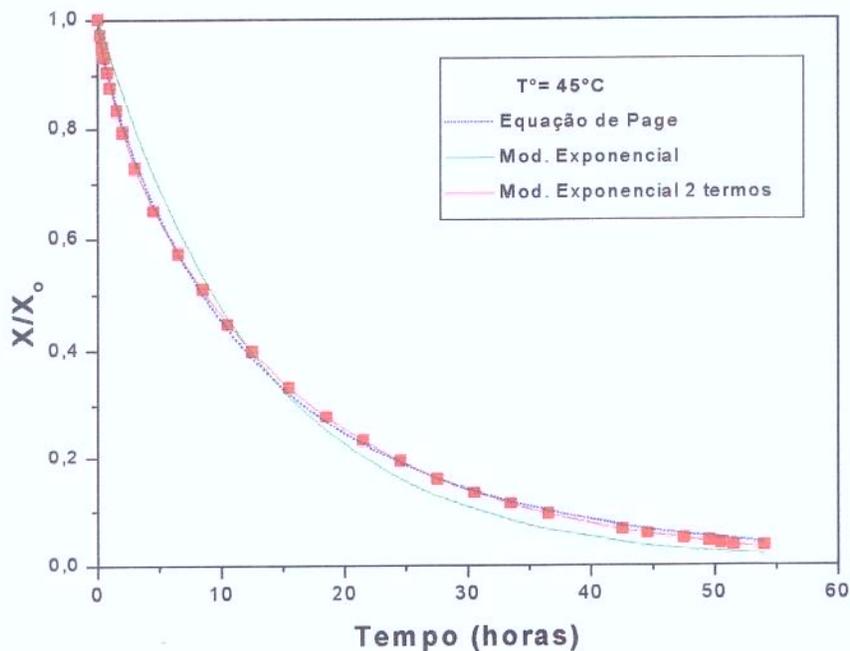


Figura 4.19: Curva de secagem do figo à temperatura de 45°C e ajustado por diferentes modelos matemáticos

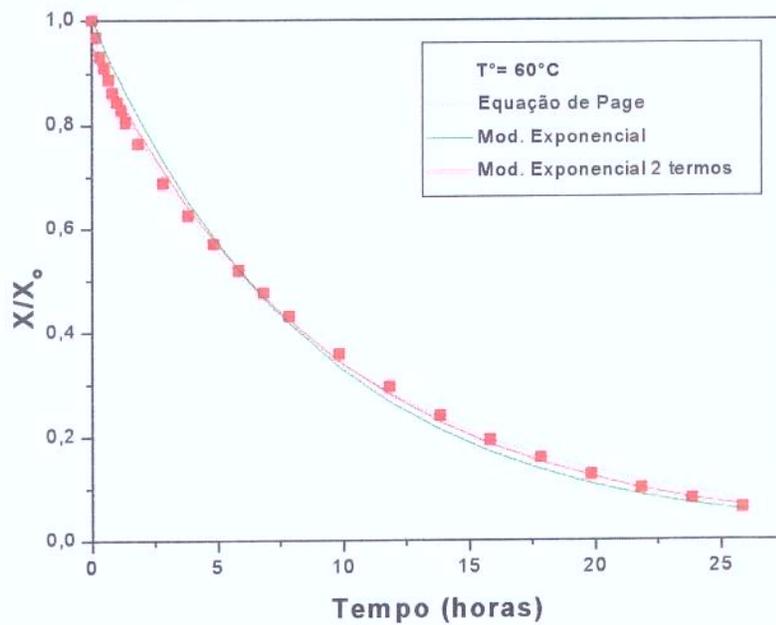


Figura 4.20: Curva de secagem do figo à temperatura de 60°C e ajustado por diferentes modelos matemáticos

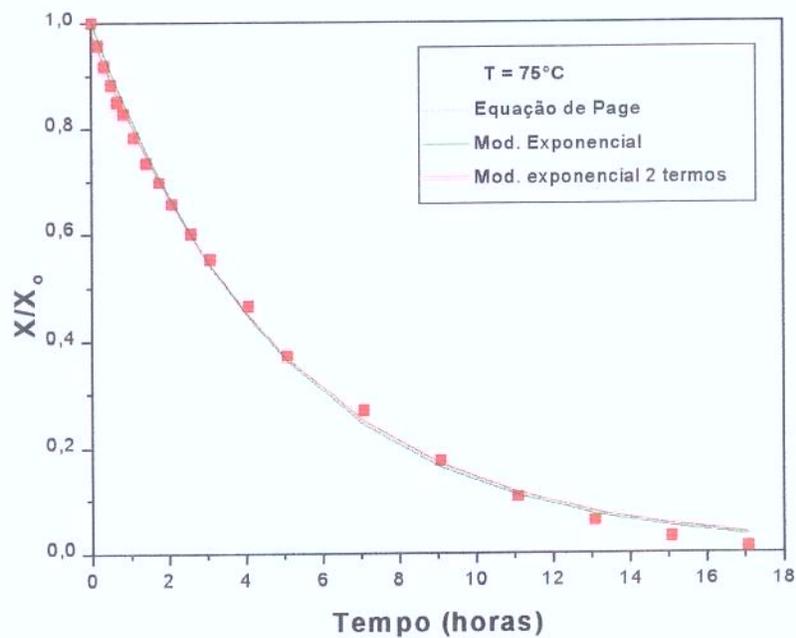


Figura 4.21: Curva de secagem do figo à temperatura de 75°C e ajustado por diferentes modelos matemáticos

Tabela 4.7: Coeficiente de determinação (R^2), χ^2 (χ^2), percentagem de confiança (P) dos testes de ajuste dos modelos matemáticos de cinética de secagem do figo, a diferentes temperaturas para o tratamento BS

Modelos	T=45°C			T=60°C			T=75°C		
	$\chi^2 10^3$	R^2	P(%)	$\chi^2 10^3$	R^2	P(%)	$\chi^2 10^3$	R^2	P(%)
Exp. 2	0,067	0,999	99,99	0,685	0,998	99,72	3,726	0,9991	99,82
Page	2,013	0,999	99,94	3,686	0,999	99,85	3,717	0,9991	99,82
Exponencial	35,87	0,994	98,99	23,95	0,995	99,04	5,799	0,9986	99,73

A melhor correlação encontrada nos testes de ajuste, foi obtido pelo Modelo Exponencial com 2 termos, seguido da Equação de Page e Modelo Exponencial, respectivamente. Os parâmetros do Modelo Exponencial com 2 termos, calculados por regressão não-linear, para as condições de processo, encontra-se na Tabela 4.8.

Na Tabela 4.8, pode-se perceber que os valores das constantes são função da temperatura, com funcionalidades diversas para cada constante (C_1 cai com a temperatura e K_1 aumenta).

Tabela 4.8: Parâmetros do Modelo Exponencial com 2 termos ajustados para os ensaios de secagem a diferentes temperaturas do ar de secagem para o tratamento BS.

T (°C)	C_1	K_1 (min ⁻¹)	C_2	K_2 (min ⁻¹)
45	0,843	0,060	0,154	0,625
60	0,476	0,104	0,476	0,104
75	0,490	0,193	0,490	0,193

As curvas da cinética de secagem para todos os tratamentos foram ajustados pela Equação de Page e os resultados do modelo encontram-se na Tabela 4.9. Os pontos experimentais se ajustam bem para quase todos os

tratamentos. Para uma mesma temperatura e tempo do processo, as amostras branqueadas e sem casca (BS) apresentam maior taxa de secagem, e isto se reflete em maiores valores do parâmetro K_1 .

Tabela 4.9: Parâmetros do modelo de Page, χ^2 (χ^2) e coeficiente de determinação (R^2), calculados pelo ajuste dos dados experimentais da cinética de secagem do figo a temperaturas indicadas e diferentes pré-tratamentos.

T°C	Tratament o	Parâmetros do Modelo*			$\chi^2 (10^{-5})$	R^2
		C_1	$K_1(10^3)$	n		
45	T	0,993	42,32	0,977	7,0	0,9994
	P	0,986	49,88	1,101	17,0	0,9989
	BC	0,989	48,96	0,975	6,0	0,9995
	BS	0,986	111,63	0,857	14,0	0,9990
60	T	0,987	53,79	1,105	16,0	0,9984
	P	0,986	85,36	1,075	20,0	0,9985
	BC	0,982	59,97	1,091	16,0	0,9985
	BS	0,963	142,68	0,891	32,0	0,9973
75	T	0,999	152,77	1,072	56,0	0,9961
	P	0,978	122,29	1,207	36,0	0,9974
	BC	0,974	100,61	1,212	40,0	0,9970
	BS	0,952	196,41	0,994	67,0	0,9945

* Todos os ajustes apresentaram níveis de significância menores que 5%.

T: *in natura*; P: perfurado; BC: branqueado com casca; BS: branqueado sem casca.

4.4.4. Figos em rodela e *in natura* secos a diferentes temperaturas

Para o secagem dos figos semi-maduros e em rodela, foram utilizadas três temperaturas do ar de secagem: 45, 60 e 75°C, com a velocidade de ar constante de 1 m/s, e a umidade relativa do ar de secagem, variando de acordo com a Tabela 4.10. Estes valores foram obtidos através das leituras das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do psicrômetro. Com os dados obtidos experimentalmente, foram construídas curvas de secagem para condições controladas de temperatura (Figura 4.22). Os adimensionais X/X_0 foram calculados utilizando os conteúdos de umidade em base seca.

Tabela 4.10: Valores de umidade relativa do ar de secagem para as diferentes condições de temperatura e de velocidade para o figo em rodela.

Temperatura (°C) do ar de secagem	Velocidade (m/s)	Umidade relativa (%)
45	1,00	25
60	1,00	12
75	1,00	6,5

A Figura 4.22 apresenta a variação da umidade adimensional em função do tempo de secagem para as rodela do figo in natura.

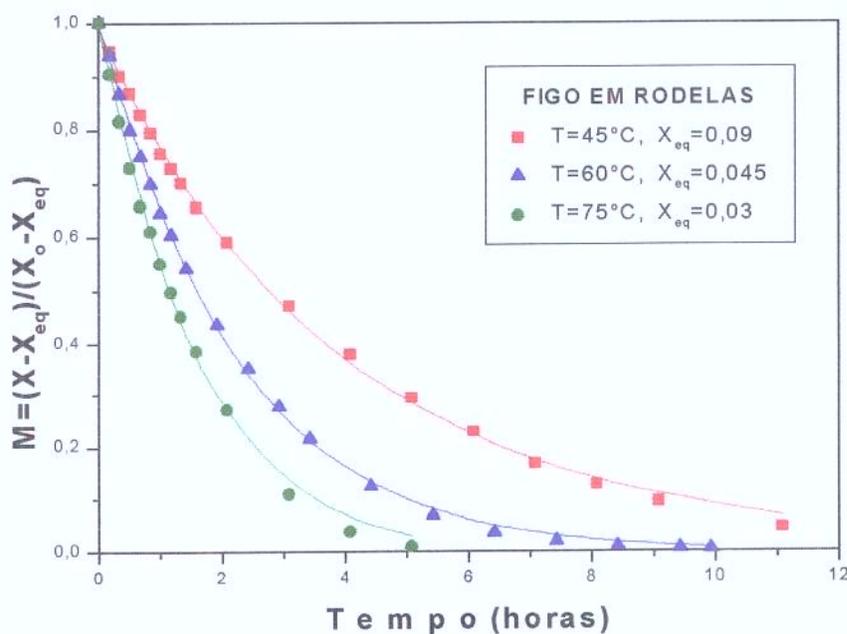


Figura 4.22: Curva de secagem do figo em rodela a diferentes temperaturas ajustado pela equação de Page.

Pode-se perceber que para um mesmo tempo de residência do produto no secador, o aumento da temperatura do ar, conduziu a uma redução mais acentuada da umidade, sendo um indicativo do aumento do potencial de secagem em função da temperatura.

Comparando com a secagem dos figos inteiros observa-se uma redução nos tempos de secagem. Os dados experimentais da cinética de secagem foram correlacionados com o modelo difusional simplificado baseado na Segunda Lei de Fick (equação 2.43) e com a equação de Page (2.44). Pode-se observar que não existe desvios consideráveis dos pontos experimentais em relação ao modelo Page nos figos em rodela secos às temperaturas de 45, 60 e 75°C.

Considerando as amostras do figo como uma placa plana infinita com espessura de 9 mm (valor médio da espessura das amostras no início da secagem) com ambas as faces expostas ao ar de secagem, e aplicando o modelo difusional simplificado foi possível calcular os valores de difusividade efetiva. Esta equação mostra que D_{ef} pode ser obtido da inclinação da reta, quando se constrói

o gráfico de $\ln\left(\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}\right)$ em função do tempo de secagem. Na Figura 4.23 se

mostra o gráfico de $\ln\left(\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}\right)$ em função do tempo e na Tabela 4.11 são

apresentados os valores da difusividade efetiva (D_{ef}), χ^2 (χ^2), o coeficiente de determinação (R^2) e porcentagem de confiança (P). Os valores de D_{ef} aumentam com o aumento da temperatura no ar de secagem. AZOUBEL (1999), analisando a cinética de secagem de tomate cereja, nas temperatura de 50, 60 e 70°C, obteve valores de difusividade efetiva na faixa de $3,010 \times 10^{-11}$ a $9,442 \times 10^{-11}$ m^2/s utilizando o mesmo modelo difusional simplificado baseado na 2ª Lei de Fick.

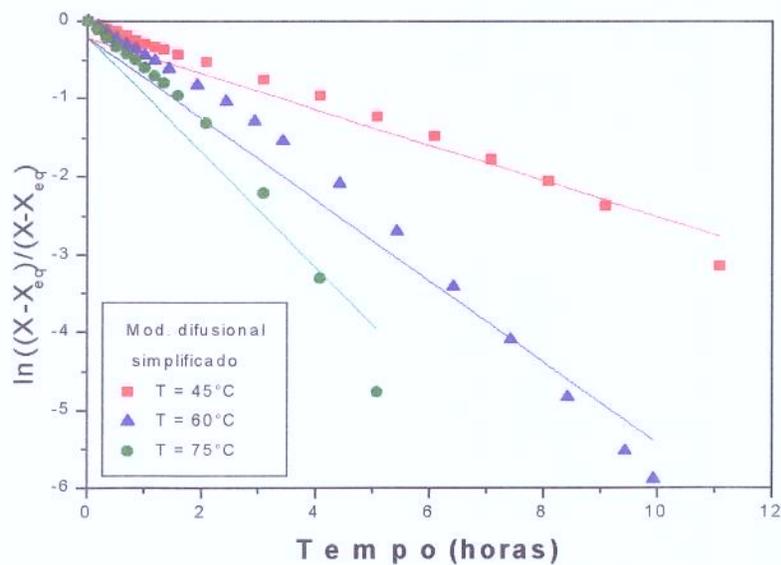


Figura 4.23: Ajuste dos dados experimentais da cinéticas de secagem do figo em rodelas in natura pelo modelo difusional simplificado.

Tabela 4.11: Valores da difusividade efetiva estimada pelo modelo difusional para o figo em rodelas

Temp. (C°)	$D_{ef} \times 10^3$ (m ² /s)	$\chi^2 \cdot 10^2$	R ²	P(%)
45	6,808	59,095	0,979	96,026
60	15,423	217,239	0,985	96,953
75	21,788	193,403	0,959	92,109

4.5. Avaliação da cor instrumental do figo

4.5.1. Avaliação da cor em figos in natura e inteiros

Os figos secos às temperaturas de **45**, **60** e **75**°C e com diferentes tratamentos: figo inteiro in natura (**T**), figo inteiro in natura e perfurado (**P**), figo inteiro branqueado com casca (**BC**) e figo inteiro in natura branqueado sem casca (**BS**), foram submetidos a avaliação de cor para se analisar os efeitos dos tratamentos e das temperaturas de secagem.

Leituras de cor do sistema L*, a* e b* CIELAB foram realizadas, com a finalidade de observar as alterações sofridas durante os diferentes processos aos quais as amostras do figo foram submetidas, tendo como amostra padrão o figo branqueado e descascado (BS). Este padrão foi tomado em consideração que o figo no processo de secagem a temperatura de 60°C apresentou melhores características visuais em comparação com os outros figos secos a temperaturas de 45 e 75°C (Figura 4.24).

O parâmetro a* define a mudança do componente vermelho ao verde (vermelho para valores positivos e verde para valores negativos), o parâmetro b* refere-se ao componente amarelo-azul e L* a luminosidade que variam de valores de 0 (preto) até 100 (branco). Assim um aumento no valor de luminosidade representa cores mais claras (CALVO & DURAN 1997). Pela observação visual do figo (Figura 4.24), e valores da Tabela 4.12, os melhores atributos de cor foram obtidos para secagem a 60°C para figo branqueado e sem casca. Utilizando este tratamento como referência, um comportamento diferenciando entre as amostras analisadas, verifica-se que o ensaio **45T** (onde 45 é a temperatura, T é o tratamento) foi o que mais sofreu redução na luminosidade L* (61,48%), seguido dos tratamentos **45P** (P é perfurado) e **75T** (56,36 e 37,67% respectivamente). O menor valor de cromaticidade a* (produto menos vermelho) foi obtido para o tratamento **45P** (52,88%). Por outro lado observe-se na mesma Tabela para o tratamento **45P** (91,01%) ocorreu o maior redução do componente amarelo com diferença significativa em relação com outros tratamentos. Verificou-se que os valores da diferença de cor (ΔE^*) calculado pela equação (4.3) para as amostra foram positivos. Diferentemente para a diferença de croma (ΔC^*) calculado pela equação (4.4) foram negativos exceto para amostra **75BS** (BS é branqueado sem casca e 75 é temperatura) o qual é positivo. Estes valores foram calculados em relação ao tratamento **60BS** utilizado como referência, o valor negativo refere em cores menos intensos, ou cores menos vividos.

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (4.3)$$

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (4.4)$$

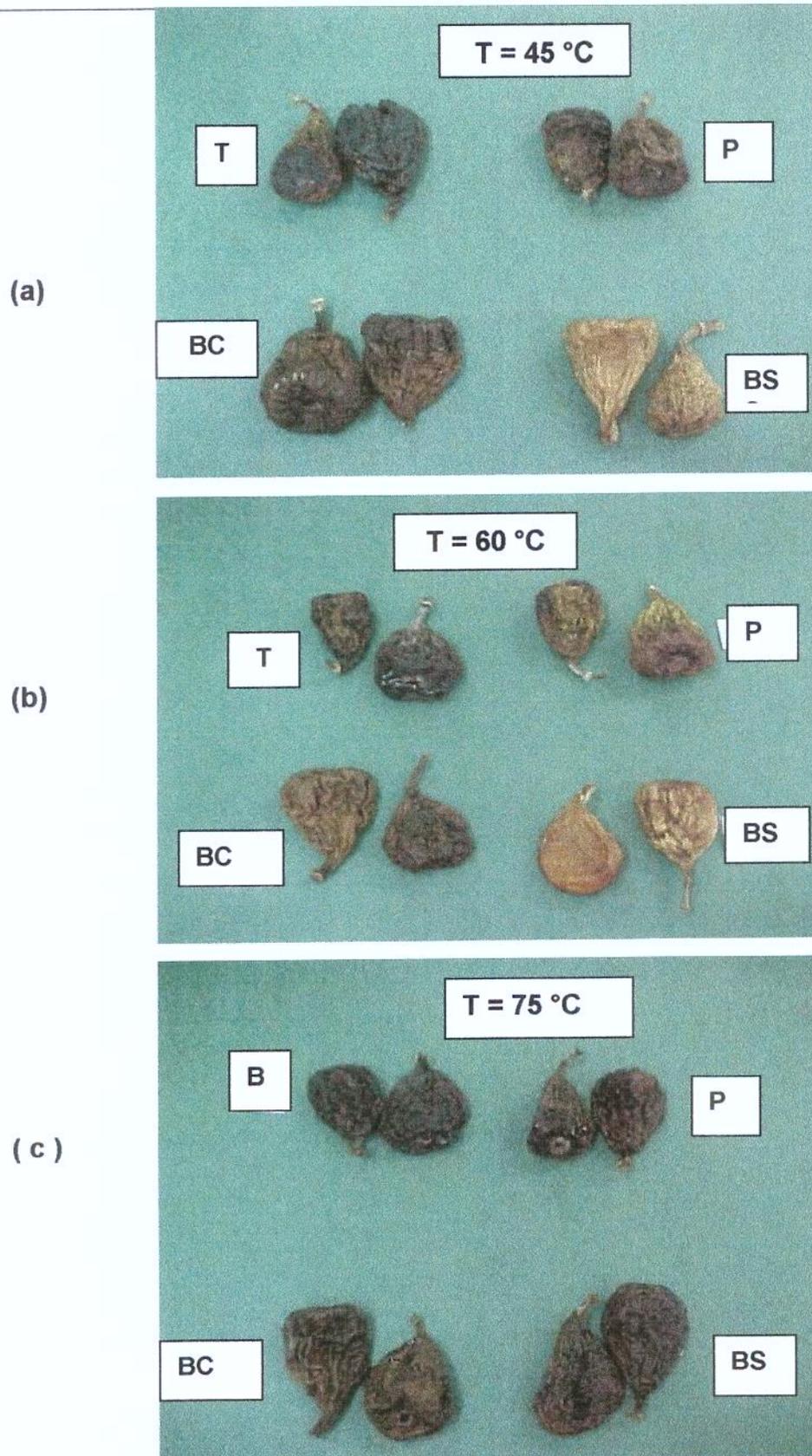


Figura 4.24: Avaliação da cor nos pré-tratamentos; (a) secos a 45°C, (b) secos a 60°C e (c) secos a 75°C.

TABELA 4.12: Valores de L*, a*, b*, ΔE^* e ΔC^* do Figo SM (semi maduro) com diferentes tratamentos secos a 45, 60 e 75°C

AMOSTRA	L*	a*	b*	ΔE^*	ΔC^*	$X_{f,b.u.}(\%)$
45T	17,60	7,47	6,05	36,29	-20,32	41,43
45P	19,94	3,43	2,61	37,09	-25,62	8,75
45BC	34,16	8,62	15,84	17,56	-11,89	34,88
45BS	49,18	8,08	27,76	3,800	-1,02	16,59
60T	33,16	7,68	14,09	19,49	-13,88	43,48
60P	32,15	4,73	14,25	20,20	-14,91	21,25
60BC	36,42	6,27	16,57	15,56	-12,21	40,11
60BS	45,69	7,28	29,03	0,00	0,00	28,49
75T	28,48	9,06	12,60	23,85	-14,40	9,53
75P	32,57	7,26	12,67	20,97	-15,33	2,63
75BC	32,91	10,68	18,98	16,60	-8,14	8,98
75BS	47,08	14,00	33,74	8,33	6,61	4,92

4.5.2. Avaliação da cor dos figos em rodela

Os figos in natura cortados em rodela secos nas temperaturas de 45, 60 e 75°C após resfriados a temperatura ambiente e armazenados em potes de vidro, fechados hermeticamente, foram submetidos a avaliação de cor para se analisar os efeitos das temperaturas de secagem.

Leituras de cor do sistema L*, a* e b* CIELAB, foram realizadas, com a finalidade de observar as alterações sofridas durante os diferentes processos aos quais as amostras do figo foram submetidas, tendo como amostra padrão o figo "in natura" e em rodela com uma espessura média de 10 milímetros. Neste padrão foi escolhido, já que o figo in natura cortado em rodela apresenta cor característica do figo fresco (Tabela 4.13).

Amostra de figo in natura e em rodela submetidas a secagem apresentaram maior variação de cor: o valor (6,86%) de luminosidade L* aumentou ou foi melhor para a amostra 60R (60 é temperatura de secagem e R é

o figo cortados em rodela), comparado com a amostra padrão (SM fresco). O valor de L^* diminuiu respeito ao a amostra padrão em 2,58% para 45R (produto menos luminoso). O valor de a^* (vermelho) diminuiu mais (41,6%) para a amostra 45R respeito ao padrão (SM fresco), e sendo melhor para a amostra 60R, por estar mais próximo a amostra padrão. O valor de b^* (amarelo) diminuiu também para a amostra 45R, e aumentou (22,57%) para a amostra 75R em relação a amostra padrão. Este comportamento indica que houve maior degradação dos carotenóides (cor vermelha) provavelmente devido à maior temperatura de secagem.

Pelo resultado da diferença de cor (ΔE^*), pode-se concluir que a amostra que mais sofreu modificações, foi a 45R seca na temperatura de 45°C. Verificou-se que os valores da diferença de cor (ΔE^*) calculado pela equação (4.2) para as amostra foram positivos. Diferentemente para a diferença de croma (ΔC^*) calculado pela equação (4.2) foram negativos. Estes valores foram calculados em relação ao figo in natura em rodela utilizado como referência, o valor negativo refere em cores menos intensos, ou cores menos vividos.

TABELA 4.13: Valores de L^* , a^* , b^* , ΔE^* e ΔC^* do Figo SM em rodela secos a temperaturas de 45°C, 60°C e 75°C

AMOSTRA	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	ΔC^*	$X_{f.b.u.} (\%)$
SM fresco	47,25	25,00	19,01	0,00	0,00	86,12
45R	46,03	14,60	18,45	10,49	-7,88	21,76
60R	50,49	17,13	18,53	8,52	-6,17	12,65
75R	48,63	16,23	23,30	9,86	-3,01	5,02

5. CONCLUSÕES

Foi estudado o processo de obtenção de figo seco, utilizando a variedade "Gigante de Valinhos" e foram determinadas diversas propriedades necessárias ao projeto de secadores.

Foram testados figos com dois graus de maturação e com diversas pré-tratamentos. Os melhores resultados foram obtidos para o figo semi-maduro.

Após a secagem, os figos branqueados sem casca apresentaram a coloração mais desejável.

Os melhores atributos de qualidade foram obtidos para a secagem a 60°C.

Os figos inteiros apresentam boa aparência, ainda que sofressem uma apreciável redução de volume na secagem (78% a $0,1X/X_0$).

Foi também realizada a secagem de figo em rodela. Este produto tem taxas de secagem muito maiores que as do figo inteiro.

Em figo inteiro, a secagem até umidade residual de 0,4 kga/kgss (b.s.), envolve secagem de 26 horas, em figo em rodela, o tempo se reduz a 5:30 horas para atingir umidade residual de 0,4 kga/kgss (b.s.).

O figo em rodela sofre menor redução de tamanho (70% a $0,1X/X_0$) que o figo inteiro, podendo resultar em produto interessante para comercialização.

Diversos dados foram medidos; a cinética de secagem, propriedades termodinâmicas; densidade em função da umidade do produto. Todos os dados

foram correlacionados com as equações usuais com um grau de precisão adequada para seu uso no projeto de secadores.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Modelagem da cinética de secagem do figo considerando o encolhimento, através de solução numérica para as equações diferenciais de transferência de calor e massa.

Estudo da influência das condições de secagem sobre as propriedades reológicas (textura) do figo, procurando correlacionar os resultados com dados obtidos a partir de análises sensoriais do produto.

Aprofundar os estudos sobre a cinética de secagem com temperatura fixa no produto, comparando-os com o método tradicional (temperatura fixa do ar), o que pode ser feito enfocando diversos aspectos do problema, como por exemplo: estratégias de controle, influência sobre a textura do produto, consumo energético, eficiência, etc.

Realizar o análise sensorial do produto final em função das condições de processo de pré-tratamentos e temperaturas da secagem do figo da variedade estuda.

Realizar o estudo da otimização econômica da secagem dos figos.

Estudar a mudança da cor do figo durante a armazenagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERRE, F.J., SUAREZ, C. & VIOLLAZ, P.E. Drying kinetics of rough rice grain. **Journal of Food Technology**, 17: 679-686. 1982

ANÚARIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro. IBGE, v.56.1996.

ANZALDUA – MORALES, A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica, cap.2p.11-44, 1996.

ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods analysis**. 14 ed. Arlington, Virginia, 1v, 1984.

ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods analysis**. Washintong D.C., 11 th ed..-31.030, 1970.

AZOUBEL, M. P, Estudo da cinética de desidratção por imersão e secagem de tomate cereja. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos Unicamp. Campinas, Brasil, 1999.

AYRANCI, E.; AYRANCI, g. & ZAFER,D. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at 20°C and 38°C. **Journal of Food Science**, 55: n 6, 1990.

BARROS, H.; DE GRAÇA, L.Q. Árvores de fruto. Lisboa Clássica, p. 300-445, (Coleção Fonte de riqueza, 4) 1936.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying cereal grains**. Westport, Cown, AVI, 1974.

CALVO, C & DURAN, L. Propedades Físicas II – Ópticas y Color. Temas em Tecnologia de Alimentos. CYTED – Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo, v.1, 1997.

CARBONELL, J., PIÑAGA, F., YUSÁ, V. & PEÑA, J.L. The dehydration of paprika with ambient and heated air and the kinetics of colour degratation during storage. **Journal of Food Science**, 5: 179-193. 1986.

COHEN, J. S.; YANG, C.S. Progress in food dehydration. Trends in Food Science and Technology, v.6. p.20-24, 1995.

CONDIT, J. The fig Waltham, Massachussets; chronica botánica, p. 222. 1947.

CONDIT,J., The struture and develoment of flowers in Ficus carica. Hilgardia, n.6,p. 443-481, 1932.

CORNEJO, F. E. P.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T. **Drying behavior in a continuous vertical annular static mixer dryer.** In: DRYING'98 - PROCEEDINGS OF THE 11th INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS198), C., 1998, Halkidiki. Anais p.2032-2038.

COSTA, G. Y., La higuera – Albaterra: La higuera (2001). Disponível em <<http://www.gva.es/albaterra/informacion/higuera.html>>. Acesso em : 23 out.2001.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. **Advances in Drying.** 73-102, 1983.

CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. 2^o ed. Clarendon Press-Oxford, p.414, 1975.

CRUICKSHANK, W. V. Produtos industriais de frutas e hortaliças. São Paulo: Edgard Blucher, v. 2. 1973

DĂSCĂLESCU, A. L'è sechege et s'è application industrielles, Traduit para PANAITESTO, DUNOD, Paris, Francia, 1969.

DAUDIN, J.D. *Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides.* **Sciences des Aliments.** 3(1): 1-36. 1983.

DINCER, I. & DOST, S. Na analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. *Drying Technology*, 13 (1 & 2): 425-435, 1995.

FRANCIS, F.J. Color measurement and interpretation. In: FUNG, D.Y.C.;

FERREIRA, V. L. P. **Colorimetria em alimentos.** ITAL, Campinas, S.P. p.43 (apostila), 1991

FORTES, M. & OKOS, M.R. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. **Advances in Drying**, v.1, p.119-153,1980.

GABAS, A.L. Secagem de uva Itália em leito fixo, Dissertação de mestrado Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp. Brasil, 1998.

GABAS, A.L., TELIS-ROMERO, J. & MENEGALLI, F. Thermodynamic models for water sorption by grape skin and pulp. **Drying Technology**, 17(4&5):961-974. 1999.

GAL, S. Recent developments in techniques for the determination of sorption isotherms. In: DUCKWORTH, R. B. (Ed.) **water relations of foods.** London, Academic, 1972.

GOMES, R. P. Fruticultura Brasileira. São Paulo. Nobel, 446p, 1989.

- GREULACH, V. & SDAMS, J.E. Plants- an introduction to moder botany. 3 ed. New york; John Wiley e sons p. 586. 19976.
- HOLDSWORTH, S.D. Dehydration o food products. A review. **Journal of Food Technology**, 6: 331-370. 1971.
- HUNTERLAB, THE COLOR MANAGEMENT COMPANY. **Universal software versions 3.2 and above user's manual**. Reston, (catálogo), 1997.
- IGLESIAS, H.A. & CHIRIFE, J. **Handbook of food isotherms: water sorption parameters for food components**. New York: academic Press,. p.1-10. 1982.
- JOWITT, R.; ESCHER, F.; HALLSTOM, B.; MEFFERT, H.F.T.; SPIESS, W.E.L.& VOS, G. **Physical Properties of foods**. Applied Science Publishers, London and New York, 1983.
- KALWAR, M. I.; KUDRA, T.;RAGHAVAN, G.S. V.; MUJUMDAR, A. S. Drying of grains in a drafted two dimensional spouted bed. **Journal of Food Process and Engineering**,v.13, p.321-332, 1991.
- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, 22 (3): 263-272, 1968.
- LABUZA, T. P. ; KAAANANA, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isoteherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**, v.50, p.388-391, 1985.
- LANGMUIR, I. The adsorption of gases and plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of American Chemistry society**, v.46, p.1361-1403, 1918.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Eng. Chemistry.**, 13(5): 427-432, 1921.
- LOZANO, J.E., ROTSTEIN, E. & URBICAIN, M.J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal off Food Science**, 48: 1497-1502. 1983.
- LOZANO, J.E. & IBARZA, A. Colour changes in Concentrated Frut pulp during Heating at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, v.31,p. 365-373, 1997.
- MABROUK, B.S & BELGHITH A.,Numerical simulation of the drying of a deformable material: evaluation of the diffusion coefficient. **Drying technology** 13(8-9), 1789-1005, 1995.
- MADAMBA, P.S., DRISCOL, R.H. & BYCKLE, K.A. Shrinkage, density and porosity of garlic during drying. **Journal of Food Engineering**. 13:199-220 1994.

MAZZA, G. & LEMAGUER, M. Dehydration of onion: some theoretical and practical considerations. **Journal of Technology**, 15: 181-194, 1980.

MAZZA, G. & LEMAGUER, M. Water sorption properties of yellow globe onion (*Allium Cepa* L). **Canada Institute Science Technology Journal**, 11(4): 189-193, 1978.

Mc CORMICK, P.Y. Solids Drying Fundamentals. In: PERRY, R.H. & CHILTON, C.H., **Chemical Engineer's handbook**. Mc Graw-Hill Co., 5ed., Sec.20-4. 1983.

MEDINA, J,C, et al. Frutas tropicais 2.- ITAL- Instituto de Tecnologia de Alimentos.São Paulo, Brasil 19978.

MINOLTA CAMERA CO., LTD. **Precise color communication: color control from feeling to instrumental**. Osaka, (catálogo) p.19, 1993.

MISRA, M.K. & BROOKER, D.B.Thin layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. **Transactions of the ASAE**, 23(5): 1254-1260. 1980.

MORTON, JULIA, Fruits of warm climates. Fig. p.47-50, Miami Fl.1987. Disponível em:<<http://www.newcrop.hot.purdue.edu/newcrop/morton/fig.>>. Acesso em: 25 out. 2001. Artigo científico.

OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF THE ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, 13th Ed., 1978.

PARRY, J.L. Mathematical modelling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: a review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 32: 1-29. 1985.

PARTI, M. & DUGMANICS, I. Diffusion coefficient for corn drying. **Transactions of the ASAE**, 33: 1652-1656. 1990.

PATHAK, P.K., AGRAWAL, Y. & SINGH, B.P. Thin-layer drying model for rapessed, **Transactions of the ASAE**, 34: 2505-2508. 1991.

PEDROSO,C.Y. Estudo da cinética de secagem do milho superdoce. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia de Alimentos,Faculdade de Engenharia de Alimentos FEA/UNICAMP. Brasil. 1997.

PERRY S. Chemical engineer Handbook. 6 ed. New York: Mc Graw Hill, 1984.

PRACHAYAWARAKORN, S, et al. Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air. **Drying technology** 20(3), 669-684, 2002.

- RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, 23(1):91-105. 1994
- RANGANA, S. **Central Food Technological Research Institute Mysore**. McGraw-Hill Publishing Company Limited – New Delhi, p. 2-3, 1977.
- RANGANNA, S. **Manual of analysis of fruit an vegetables products**. New Delhi: Mc-Graw Hill Publishing Company, 1977. 634p.
- ROMAN, G.N.; URBICAIN, M.J. & ROTSTEIN E. Moisture equilibrium in apples data and theoretical considerations. **Journal of Food Science**, v.47: p.1484-1488 e 1507, 1982.
- RODRIGUES, D.S.R. Saturação continua, a vácuo de figo. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas R.G.S. Brasil, 1992.
- RIZVI, S.S.H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. **Engineering Properties of Foods**, (M.A. Rao e S.S.H Rizvi, eds.) pp. 155-165, Academic Press, New York, 1986.
- SÁ, M.M. & SERENO, A.M. Effect of temperature on sorption isotherms and heats os sorption of quince jam. **International Journal of Food Science and Technology**, 28; 241-248, 1993.
- SANJINÉZ, E.J.A. Desidratação de goiaba por imersão e secagem. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Alimentos Unicamp. Campinas, Brasil, 1999.
- SARAVACOS, G.D., TSIIOUVARS & TSAMI, E., Effect of Temperature on the water adsorption Isotherms of Sultana raisins. **Journal of Food Science**, vol. 51, n.2, p.381-383 e 387, 1986.
- SARAVACOS, G.D & RAOUZEDS, G.S. Difusivity of moisture in air drying of raisins. In: **Drying** ed. Arum S. Mujumdar Hemisphere Publishing Corporation, 2:486-491. 1986
- SHERWOOD, T.K. The drying of solids II. **Industrial an engineering chemistry**, 21(10): 976-980, 1929.
- SIMÃO. S. Manual de fruticultura. Soa Paulo. Ceres. P.530. 19971.
- TOBINAGA, S. & PINTO, L.A.A. Secagem de materiais fibrosos: músculos depeixes. In: **Tópicos Especiais em Secagem**, ed. J.T. Freire & D.J.M. Sartori, UFSCar, .1: 211-251. 1992.
- TRAVAGLINI, D. A. AGUIRRE, J.M., SILVEIRA, E.T., Desidratação de frutas, Manual técnico, ITAL, Campinas, Brasil. 2001.

TREYBAL, R.E. Drying. In: Mass transfer operations. New York, McGraw-Hill, p.569-575. 1963.

TSAMI, E., MAROULIS, Z.B., MARINOS-KOURIS, D. & SARAVACOS, G.D. Heat of sorption of water in dried fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, 25: 350-359, 1990.

VACAREZZA, L.J., LOMBARDI, J.L. & CHIRIFE, J. Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. **Journal of Food Technology**, 9: 317-327. 1974.

VAGENAS, G.K., MARINOS-KOURIS, D. & SARAVACOS, G.D. An analysis of mass transfer in air-drying of foods. **Drying Technology**, 8: 323-342. 1990.

VAN ARSDEL, W.B., COPLEY, M.J. & MORGAN, A.I. Food Dehydration, Second Edition, v.2, The AVI publishing Company, Inc., Westport, USA, 1973.

VIAL, C.; S. GUILBERT & J.L. CUQ, Osmotic dehydration of kiwi fruits: Influence of process variables on the color and ascorbic Acid content. *Science des Aliments*, v 11 (1), p. 63-84, 1991.

YOUNG, J.H.; Sorption and desorption equilibrium moisture content isotherms of Virginia type peanuts. **Transactions of the ASAE**, Oklahoma State University Atillwater, Oklahoma, 1974.

YOUNG, J.H.; NELSON, G.L. Theory of hysteresis between sorption and desorption isotherms in biological materials. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, Michigan, v.10, n.2 p.260-263, 1976.

YOSHIDA, C.M. Estudo da cinética de secagem do milho superdoce. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos UNICAMP Brasil. 1997.

YUSHENY, Z. & POULSEN, K.P. Diffusion in potato drying. **Journal of Food Engineering**, 7: 249-262. 1988.

WANG, N. & BRENNAN, J.G. Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.24: 61-76, 1995.

WOLF, W.; SPIESS, W. E. L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. London: Elsevier Science Publishing Co., 1985.

ZHANG, X.; LIU, X.; GU, D.; ZHOU, WANG, R. & LIU, P. Desorption isotherms of some vegetables. **Journal of the Science and Food Agriculture**, 70:303-306, 1996.

ZOGZAS, N.P., MAROULIS, Z.B. & MARINOS-KOURIJ.D. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. **Drying technology** 12(7):1653-1666, 1994.

APÊNDICE A: TEOR DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Tabela A-1: Teor de umidade de equilíbrio de desorção da polpa de figo, em base seca (X,b.s.) e seus respectivos valores de atividade de água (a_w) a diferentes temperaturas.

Solução Salina	T = 25°C		T = 40°C		T = 60°C	
	a_w	X(b.s.)	a_w	X(b.s.)	a_w	X(b.s.)
NaOH	0,07	0,0655	0,065	0,0664	0,045	0,05385
LiCl	0,113	0,0789	0,1121	0,0695	0,1095	0,0828
MgCl ₂	0,3278	0,1285	0,316	0,0926	0,2976	0,10412
K ₂ CO ₃	0,4316	0,1211	0,432	0,1084	0,432	0,10403
Mg(NO ₃) ₂	0,5289	0,1276	0,4842	0,1518	0,473	0,08911
NaBr	0,5757	0,1354	0,5317	0,1792	0,4966	0,12266
NaNO ₂	0,657	0,1921	0,615	0,1829	0,59	0,15851
NaCl	0,751	0,3975	0,7468	0,2678	0,745	0,18976
KCl	0,842	0,4525	0,82	0,4374	0,8	0,36364
BaCl ₂	0,903	0,6294	0,893	0,4516	0,875	0,4787

Tabela A-2: Teor de umidade de equilíbrio de adsorção da polpa de figo, em base seca (X,b.s.) e seus respectivos valores de atividade de água (a_w) a diferentes temperaturas.

Solução Salina	T = 25°C		T = 40°C		T = 60°C	
	a_w	X(b.s.)	a_w	X(b.s.)	a_w	X(b.s.)
NaOH	0,07	0,0566	0,065	0,059	0,045	0,0434
LiCl	0,113	0,0741	0,1121	0,0582	0,1095	0,0484
MgCl ₂	0,3278	0,1153	0,316	0,0902	0,2976	0,0739
K ₂ CO ₃	0,4316	0,1197	0,432	0,1024	0,432	0,0774
Mg(NO ₃) ₂	0,5289	0,1244	0,4842	0,1346	0,473	0,092
NaBr	0,5757	0,1276	0,5317	0,1402	0,4966	0,097
NaNO ₂	0,657	0,1866	0,615	0,1673	0,59	0,1063
NaCl	0,751	0,3716	0,7468	0,2535	0,745	0,1831
KCl	0,842	0,4141	0,82	0,3655	0,8	0,2676
BaCl ₂	0,903	0,6309	0,893	0,4381	0,875	0,4789

APÊNDICE B: ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DO FIGO

Tabela B-1: Dados experimentais de cinética de secagem de figo com tratamento "T", seco a **45°C**, com umidade absoluta (y) = 0,0149 $\text{kg}_{\text{va}}/\text{kg}_{\text{as}}$, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X (b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) ($\text{kg}_a/\text{kg}_{ss}$)	X(b.u.) ($\text{kg}_a/\text{kg}_{ss}$)	X/X_0	$M = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	252,97	5,648	0,850	1,000	1,000
0,17	250,67	5,588	0,848	0,989	0,989
0,33	249,17	5,548	0,847	0,982	0,982
0,50	247,77	5,512	0,846	0,976	0,975
0,75	245,17	5,443	0,845	0,964	0,963
1,00	242,77	5,380	0,843	0,953	0,952
1,50	238,27	5,262	0,840	0,932	0,931
2,00	233,77	5,144	0,837	0,911	0,909
3,00	225,57	4,928	0,831	0,873	0,871
4,50	213,57	4,613	0,822	0,817	0,814
6,50	200,77	4,276	0,810	0,757	0,753
8,50	189,67	3,985	0,799	0,705	0,701
10,50	178,37	3,688	0,787	0,653	0,647
12,50	168,97	3,441	0,775	0,609	0,603
15,50	155,37	3,083	0,755	0,546	0,539
18,50	143,37	2,768	0,735	0,490	0,482
21,50	132,97	2,495	0,714	0,442	0,433
24,50	123,67	2,250	0,692	0,398	0,389
27,50	114,67	2,014	0,668	0,357	0,346
30,50	107,27	1,819	0,645	0,322	0,311
33,50	100,27	1,635	0,621	0,290	0,278
36,50	93,57	1,459	0,593	0,258	0,246
42,50	82,17	1,160	0,537	0,205	0,192
44,50	78,97	1,075	0,518	0,190	0,177
47,50	73,97	0,944	0,486	0,167	0,154
49,50	70,97	0,865	0,464	0,153	0,139
50,50	67,97	0,786	0,440	0,139	0,125
51,50	66,07	0,736	0,424	0,130	0,116
54,00	64,97	0,707	0,414	0,125	0,111

Tabela B-2: Dados experimentais de cinética de secagem de figo com tratamento “P”, seco a 45°C, com umidade absoluta (y) = 0,0149 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X (b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional

Tempo (h)	Massa (g)	X (b.s) (kg _a /kg _{ss})	X (b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X_0	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	0:00	235,47	5,622	0,849	1,000
0,17	0:10	233,17	5,557	0,847	0,988
0,33	0:20	231,37	5,506	0,846	0,979
0,50	0:30	229,27	5,447	0,845	0,968
0,75	0:45	225,97	5,355	0,843	0,952
1,00	1:00	222,77	5,265	0,840	0,935
1,50	1:30	216,97	5,102	0,836	0,906
2,00	2:00	211,17	4,938	0,832	0,876
3,00	3:00	200,07	4,626	0,822	0,820
4,50	4:30	184,07	4,176	0,807	0,739
6,50	6:30	167,67	3,715	0,788	0,655
8,50	8:30	153,67	3,321	0,769	0,584
10,50	10:30	139,37	2,919	0,745	0,511
12,50	12:30	128,27	2,607	0,723	0,455
15,50	15:30	112,17	2,154	0,683	0,373
18,50	18:30	98,57	1,772	0,639	0,304
21,50	21:30	86,77	1,440	0,590	0,244
24,50	24:30	76,47	1,150	0,535	0,192
27,50	27:30	67,47	0,897	0,473	0,146
30,50	30:30	60,77	0,709	0,415	0,112
33,50	33:30	55,37	0,557	0,358	0,084
36,50	36:30	50,47	0,419	0,295	0,060
42,50	42:30	44,67	0,256	0,204	0,030
44,50	44:30	43,27	0,217	0,178	0,023
47,50	47:30	41,97	0,180	0,153	0,016
49,50	49:30	40,77	0,147	0,128	0,010
50,50	50:30	39,97	0,124	0,110	0,006
51,50	51:30	39,37	0,107	0,097	0,003
54,00	54:00	38,97	0,096	0,088	0,001

Tabela B-3: Dados experimentais de cinética de secagem de figo inteiro branqueado com casca "BC", seco a 45°C, com umidade absoluta (y) = 0,0149 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X (b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X (b.s) (kg _a /kg _{ss})	X (b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X_0	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	215,30	5,693	0,851	1,000	1,000
0,17	212,60	5,609	0,849	0,985	0,985
0,33	211,00	5,559	0,848	0,977	0,976
0,50	209,40	5,509	0,846	0,968	0,967
0,75	206,40	5,416	0,844	0,951	0,951
1,00	204,60	5,360	0,843	0,942	0,941
1,50	200,30	5,226	0,839	0,918	0,917
2,00	196,10	5,096	0,836	0,895	0,893
3,00	188,50	4,859	0,829	0,854	0,851
4,50	177,10	4,505	0,818	0,791	0,788
6,50	165,20	4,135	0,805	0,726	0,722
8,50	154,80	3,812	0,792	0,670	0,664
10,50	144,30	3,486	0,777	0,612	0,606
12,50	135,90	3,224	0,763	0,566	0,559
15,50	123,60	2,842	0,740	0,499	0,491
18,50	113,10	2,516	0,716	0,442	0,433
21,50	103,90	2,230	0,690	0,392	0,382
24,50	95,70	1,975	0,664	0,347	0,336
27,50	88,00	1,735	0,634	0,305	0,294
30,50	81,80	1,543	0,607	0,271	0,259
33,50	76,00	1,362	0,577	0,239	0,227
36,50	70,50	1,191	0,544	0,209	0,197
42,50	61,50	0,912	0,477	0,160	0,147
44,50	59,10	0,837	0,456	0,147	0,133
47,50	55,50	0,725	0,420	0,127	0,113
49,50	53,40	0,660	0,398	0,116	0,102
50,50	51,40	0,598	0,374	0,105	0,091
51,50	50,10	0,557	0,358	0,098	0,083
54,00	49,40	0,536	0,349	0,094	0,080

Tabela B-4: Dados experimentais de cinética de secagem de figo inteiro branqueado sem casca "BS", seco a 45°C, com umidade adimensional $(y) = 0,0149 \text{ kg}_{va}/\text{kg}_{as}$, e com $X \text{ (b.s.)}$ = umidade em base seca; $X \text{ (b.u.)}$ = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X ₀	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	214,70	5,901	0,855	1,000	1,000
0,17	209,40	5,731	0,851	0,971	0,971
0,33	205,50	5,606	0,849	0,950	0,949
0,50	202,00	5,493	0,846	0,931	0,930
0,75	197,00	5,332	0,842	0,904	0,902
1,00	191,70	5,162	0,838	0,875	0,873
1,50	183,90	4,911	0,831	0,832	0,830
2,00	176,70	4,680	0,824	0,793	0,790
3,00	164,70	4,294	0,811	0,728	0,723
4,50	150,20	3,828	0,793	0,649	0,643
6,50	136,20	3,378	0,772	0,572	0,566
8,50	124,50	3,002	0,750	0,509	0,501
10,50	112,90	2,629	0,724	0,446	0,437
12,50	103,90	2,340	0,701	0,396	0,387
15,50	92,00	1,957	0,662	0,332	0,321
18,50	82,00	1,636	0,621	0,277	0,266
21,50	73,60	1,366	0,577	0,231	0,220
24,50	66,60	1,141	0,533	0,193	0,181
27,50	60,30	0,938	0,484	0,159	0,146
30,50	55,50	0,784	0,439	0,133	0,119
33,50	51,60	0,659	0,397	0,112	0,098
36,50	48,10	0,546	0,353	0,093	0,078
42,50	43,00	0,382	0,277	0,065	0,050
44,50	41,70	0,340	0,254	0,058	0,043
47,50	40,00	0,286	0,222	0,048	0,034
49,50	39,10	0,257	0,204	0,044	0,029
50,50	38,20	0,228	0,186	0,039	0,024
51,50	37,60	0,209	0,173	0,035	0,020
54,00	37,30	0,199	0,166	0,034	0,019

Tabela B-5: Dados experimentais de cinética de secagem de figo com tratamento "T", seco a 60°C, com umidade absoluta (y) = 0,0112 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X (b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X ₀	$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	270,35	6,092	0,859	1,000	1,000
0,17	268,75	6,050	0,858	0,993	0,993
0,33	266,55	5,992	0,857	0,984	0,983
0,50	264,75	5,945	0,856	0,976	0,976
0,67	262,45	5,885	0,855	0,966	0,966
0,83	259,55	5,809	0,853	0,953	0,953
1,00	257,95	5,767	0,852	0,947	0,946
1,17	255,15	5,693	0,851	0,935	0,934
1,33	251,45	5,596	0,848	0,919	0,918
1,83	245,55	5,442	0,845	0,893	0,892
2,83	232,35	5,095	0,836	0,836	0,834
3,83	220,65	4,788	0,827	0,786	0,784
4,83	209,25	4,489	0,818	0,737	0,734
5,83	198,75	4,214	0,808	0,692	0,688
6,83	189,25	3,965	0,799	0,651	0,647
7,83	179,55	3,710	0,788	0,609	0,604
9,83	162,45	3,262	0,765	0,535	0,530
11,83	146,65	2,847	0,740	0,467	0,461
13,83	131,75	2,456	0,711	0,403	0,396
15,83	118,25	2,102	0,678	0,345	0,337
17,83	106,45	1,792	0,642	0,294	0,286
19,83	94,95	1,491	0,599	0,245	0,236
21,83	84,65	1,221	0,550	0,200	0,191
23,83	75,35	0,977	0,494	0,160	0,151
25,83	67,45	0,769	0,435	0,126	0,116

Tabela B-6: Dados experimentais de cinética de secagem de figo inteiro perfurado "P", seco a 60°C, com umidade absoluta (y) = 0,0112kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X (b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X (b.s.) (kg _a /kg _{ss})	X (b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X_0	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	274,08	6,091	0,859	1,000	1,000
0,17	272,08	6,040	0,858	0,992	0,991
0,33	268,58	5,949	0,856	0,977	0,976
0,50	265,88	5,879	0,855	0,965	0,965
0,67	262,48	5,791	0,853	0,951	0,950
0,83	258,28	5,683	0,850	0,933	0,932
1,00	253,98	5,571	0,848	0,915	0,914
1,17	251,88	5,517	0,847	0,906	0,905
1,33	247,58	5,406	0,844	0,887	0,886
1,83	238,28	5,165	0,838	0,848	0,846
2,83	219,58	4,681	0,824	0,769	0,766
3,83	203,78	4,272	0,810	0,701	0,698
4,83	189,18	3,895	0,796	0,639	0,635
5,83	175,88	3,551	0,780	0,583	0,578
6,83	164,18	3,248	0,765	0,533	0,528
7,83	152,88	2,955	0,747	0,485	0,479
9,83	133,48	2,454	0,710	0,403	0,396
11,83	116,28	2,009	0,668	0,330	0,322
13,83	100,88	1,610	0,617	0,264	0,256
15,83	87,98	1,276	0,561	0,210	0,200
17,83	77,48	1,005	0,501	0,165	0,155
19,83	67,98	0,759	0,431	0,125	0,114
21,83	60,38	0,562	0,360	0,092	0,082
23,83	53,88	0,394	0,283	0,065	0,054
25,83	49,08	0,270	0,213	0,044	0,033

Tabela B-7: Dados experimentais de cinética de secagem de figo inteiro branqueado com casca "BC", seco a 60°C, com umidade absoluta $(y) = 0,0112 \text{ kg}_{va}/\text{kg}_{as}$, e com $X \text{ (b.s.)} = \text{umidade em base seca}$; $X \text{ (b.u.)} = \text{umidade em base úmida}$, $X/X_0 = \text{umidade adimensional}$.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X ₀	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	273,10	6,092	0,859	1,000	1,000
0,17	270,70	6,029	0,858	0,990	0,990
0,33	267,80	5,954	0,856	0,977	0,977
0,50	265,70	5,900	0,855	0,968	0,968
0,67	263,10	5,832	0,854	0,957	0,957
0,83	259,90	5,749	0,852	0,944	0,943
1,00	257,40	5,684	0,850	0,933	0,932
1,17	255,10	5,624	0,849	0,923	0,922
1,33	251,60	5,533	0,847	0,908	0,907
1,83	245,00	5,362	0,843	0,880	0,879
2,83	231,00	4,998	0,833	0,821	0,818
3,83	218,70	4,679	0,824	0,768	0,765
4,83	206,90	4,373	0,814	0,718	0,714
5,83	195,70	4,082	0,803	0,670	0,666
6,83	185,50	3,817	0,792	0,627	0,622
7,83	175,40	3,555	0,780	0,584	0,579
9,83	157,60	3,092	0,756	0,508	0,502
11,83	141,30	2,669	0,727	0,438	0,432
13,83	126,00	2,272	0,694	0,373	0,366
15,83	112,60	1,924	0,658	0,316	0,308
17,83	101,10	1,625	0,619	0,267	0,258
19,83	90,10	1,340	0,573	0,220	0,211
21,83	80,50	1,090	0,522	0,179	0,169
23,83	71,70	0,862	0,463	0,141	0,131
25,83	64,30	0,670	0,401	0,110	0,100

Tabela B-8: Dados experimentais de cinética de secagem de figo inteiro branqueado sem casca "BS", seco a 60°C, com umidade absoluta (y) = 0,0112 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X (b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X ₀	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	262,20	6,576	0,868	1,000	1,000
0,17	254,70	6,359	0,864	0,967	0,967
0,33	246,80	6,131	0,860	0,932	0,932
0,50	241,60	5,981	0,857	0,909	0,908
0,67	236,50	5,833	0,854	0,887	0,886
0,83	230,70	5,666	0,850	0,862	0,860
1,00	226,30	5,539	0,847	0,842	0,841
1,17	222,90	5,440	0,845	0,827	0,825
1,33	217,80	5,293	0,841	0,805	0,803
1,83	208,40	5,021	0,834	0,764	0,761
2,83	191,10	4,522	0,819	0,688	0,684
3,83	177,00	4,114	0,804	0,626	0,622
4,83	164,20	3,744	0,789	0,569	0,565
5,83	152,70	3,412	0,773	0,519	0,514
6,83	142,70	3,123	0,757	0,475	0,469
7,83	132,70	2,834	0,739	0,431	0,425
9,83	115,90	2,349	0,701	0,357	0,350
11,83	101,40	1,930	0,659	0,293	0,286
13,83	88,80	1,566	0,610	0,238	0,230
15,83	78,50	1,268	0,559	0,193	0,184
17,83	70,40	1,034	0,508	0,157	0,148
19,83	63,20	0,826	0,452	0,126	0,116
21,83	57,20	0,653	0,395	0,099	0,090
23,83	52,30	0,511	0,338	0,078	0,068
25,83	48,40	0,398	0,285	0,061	0,050

Tabela B-9: Dados experimentais da cinética de secagem de figo com tratamento "T", seco a 75°C, com umidade absoluta (y) = 0,0153 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X (b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X ₀	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	294,61	5,617	0,849	1,000	1,000
0,17	291,81	5,555	0,847	0,989	0,989
0,33	288,61	5,483	0,846	0,976	0,976
0,50	284,71	5,395	0,844	0,960	0,960
0,67	280,11	5,292	0,841	0,942	0,942
0,83	276,71	5,215	0,839	0,928	0,928
1,08	268,51	5,031	0,834	0,896	0,895
1,42	247,21	4,553	0,820	0,810	0,809
1,75	232,61	4,225	0,809	0,752	0,750
2,08	221,01	3,964	0,799	0,706	0,703
2,58	208,01	3,672	0,786	0,654	0,651
3,08	196,91	3,423	0,774	0,609	0,606
4,08	175,81	2,949	0,747	0,525	0,521
5,08	157,01	2,527	0,716	0,450	0,445
7,08	124,81	1,803	0,643	0,321	0,315
9,08	99,11	1,226	0,551	0,218	0,211
11,08	78,81	0,770	0,435	0,137	0,129
13,08	64,41	0,447	0,309	0,080	0,071
15,08	54,71	0,229	0,186	0,041	0,032
17,08	49,21	0,105	0,095	0,019	0,010

Tabela B-10: Dados experimentais de cinética de secagem de figo com tratamento "P", seco a 75°C, com umidade absoluta (y) = 0,0153 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X(b.u.) = umidade em base úmida, X/X_o = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) (kg _{va} /kg _{as})	X(b.u.) (kg _{va} /kg _{us})	X/X _o	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}}$
0,00	304,40	5,842	0,854	1,000	1,000
0,17	301,10	5,768	0,852	0,987	0,987
0,33	296,50	5,664	0,850	0,970	0,969
0,50	291,00	5,541	0,847	0,948	0,948
0,67	284,80	5,401	0,844	0,925	0,924
0,83	280,10	5,296	0,841	0,907	0,906
1,08	270,70	5,085	0,836	0,870	0,869
1,42	258,70	4,815	0,828	0,824	0,823
1,75	248,10	4,577	0,821	0,783	0,782
2,08	236,50	4,316	0,812	0,739	0,736
2,58	220,30	3,952	0,798	0,676	0,674
3,08	206,40	3,639	0,784	0,623	0,620
4,08	180,40	3,055	0,753	0,523	0,519
5,08	158,40	2,560	0,719	0,438	0,433
7,08	120,80	1,715	0,632	0,294	0,288
9,08	91,40	1,054	0,513	0,180	0,173
11,08	70,10	0,576	0,365	0,099	0,091
13,08	56,60	0,272	0,214	0,047	0,038
15,08	49,10	0,104	0,094	0,018	0,009
17,08	45,69	0,027	0,026	0,005	(0,004)

Tabela B-11: Dados experimentais de cinética de secagem de figo inteiro branqueado com casca "BC", seco a 75°C, com umidade absoluta (y) = 0,0153 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X(b.u.) = umidade em base úmida, X/X_o = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) (kg _{va} /kg _{as})	X(b.u.) (kg _{va} /kg _{us})	X/X _o	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}}$
0,00	294,20	5,452	0,845	1,000	1,000
0,17	290,10	5,362	0,843	0,984	0,983
0,33	286,10	5,274	0,841	0,967	0,967
0,50	281,70	5,178	0,838	0,950	0,949
0,67	276,90	5,072	0,835	0,930	0,930
0,83	273,30	4,993	0,833	0,916	0,915
1,08	265,90	4,831	0,829	0,886	0,885
1,42	256,60	4,627	0,822	0,849	0,847
1,75	246,40	4,404	0,815	0,808	0,806
2,08	235,90	4,173	0,807	0,765	0,763
2,58	221,90	3,866	0,795	0,709	0,706
3,08	210,90	3,625	0,784	0,665	0,662
4,08	189,40	3,154	0,759	0,578	0,575
5,08	170,20	2,732	0,732	0,501	0,497
7,08	136,10	1,985	0,665	0,364	0,358
9,08	107,90	1,366	0,577	0,251	0,244
11,08	85,00	0,864	0,464	0,158	0,151
13,08	68,20	0,496	0,331	0,091	0,082
15,08	56,80	0,246	0,197	0,045	0,036
17,08	50,10	0,099	0,090	0,018	0,009

Tabela B-12: Dados experimentais de cinética da secagem de figo inteiro branqueado sem casca "BS", seco a 75°C, com umidade absoluta (y) = 0,0153 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X(b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X ₀	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	270,30	5,535	0,847	1,000	1,0001
0,17	260,30	5,294	0,841	0,956	0,9560
0,33	251,40	5,078	0,835	0,917	0,9167
0,50	243,10	4,878	0,830	0,881	0,8802
0,67	235,70	4,699	0,825	0,849	0,8475
0,83	230,70	4,578	0,821	0,827	0,8255
1,08	220,70	4,336	0,813	0,783	0,7814
1,42	209,20	4,058	0,802	0,733	0,7307
1,75	200,60	3,850	0,794	0,696	0,6928
2,08	191,40	3,628	0,784	0,655	0,6523
2,58	178,50	3,316	0,768	0,599	0,5954
3,08	167,80	3,057	0,754	0,552	0,5482
4,08	147,70	2,571	0,720	0,464	0,4596
5,08	126,70	2,063	0,674	0,373	0,3671
7,08	102,90	1,488	0,598	0,269	0,2622
9,08	81,30	0,966	0,491	0,174	0,1669
11,08	65,60	0,586	0,370	0,106	0,0977
13,08	55,10	0,332	0,249	0,060	0,0515
15,08	47,90	0,158	0,137	0,029	0,0197
17,08	43,50	0,052	0,049	0,009	0,0003

Tabela B-13: Dados experimentais de cinética de secagem de figo em rodela com espessura de 10 mm, seco a 45°C, com umidade absoluta (y) = 0,0152 kg_{va}/kg_{as}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X(b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X ₀	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	339,50	5,042	0,834	1,000	1,000
0,17	324,70	4,779	0,827	0,948	0,947
0,33	311,50	4,544	0,820	0,901	0,899
0,50	302,50	4,384	0,814	0,869	0,867
0,67	291,40	4,186	0,807	0,830	0,827
0,83	282,20	4,022	0,801	0,798	0,794
1,00	271,00	3,823	0,793	0,758	0,754
1,17	263,40	3,688	0,787	0,731	0,727
1,33	256,10	3,558	0,781	0,706	0,700
1,58	243,60	3,335	0,769	0,662	0,655
2,08	225,50	3,013	0,751	0,598	0,590
3,08	192,70	2,429	0,708	0,482	0,472
4,08	166,60	1,965	0,663	0,390	0,379
5,08	142,70	1,540	0,606	0,305	0,293
6,08	124,40	1,214	0,548	0,241	0,227
7,08	108,10	0,924	0,480	0,183	0,168
8,08	96,70	0,721	0,419	0,143	0,127
9,08	87,10	0,550	0,355	0,109	0,093
11,08	73,20	0,303	0,232	0,060	0,043

Tabela B-14: Dados experimentais de cinética de secagem de figo em rodela com espessura de 10 mm, seco a 60°C, com umidade absoluta (y) = 0,0135 kg_{v_a}/kg_{ss}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X(b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X_0	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	383,40	5,907	0,855	1,000	1,000
0,17	363,10	5,541	0,847	0,938	0,938
0,33	339,50	5,116	0,836	0,865	0,865
0,50	317,60	4,721	0,825	0,798	0,798
0,67	301,40	4,430	0,816	0,748	0,748
0,83	284,80	4,131	0,805	0,697	0,697
1,00	267,70	3,823	0,793	0,645	0,644
1,17	254,20	3,579	0,782	0,604	0,603
1,42	233,80	3,212	0,763	0,541	0,540
1,92	199,40	2,592	0,722	0,435	0,435
2,42	172,20	2,102	0,678	0,352	0,351
2,92	147,90	1,664	0,625	0,277	0,276
3,42	127,90	1,304	0,566	0,216	0,215
4,42	97,90	0,764	0,433	0,124	0,123
5,42	79,70	0,436	0,304	0,068	0,067
6,42	68,70	0,238	0,192	0,034	0,033
7,42	63,40	0,142	0,124	0,018	0,017
8,42	60,60	0,092	0,084	0,009	0,008
9,42	59,30	0,068	0,064	0,005	0,004
9,92	58,90	0,061	0,058	0,004	0,003

Tabela B-15: Dados experimentais de cinética de secagem de figo em rodela com espessura de 10 mm, seco a 75°C, com umidade absoluta (y) = 0,0185 kg_{v_a}/kg_{ss}, e com X (b.s.) = umidade em base seca; X(b.u.) = umidade em base úmida, X/X_0 = umidade adimensional.

Tempo (h)	Massa (g)	X(b.s.) (kg _a /kg _{ss})	X(b.u.) (kg _a /kg _{ss})	X/X_0	$\bar{M} = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$
0,00	425,90	5,553	0,847	1,000	1,000
0,17	391,00	5,016	0,834	0,903	0,903
0,33	359,30	4,529	0,819	0,815	0,815
0,50	328,40	4,053	0,802	0,730	0,728
0,67	303,20	3,665	0,786	0,660	0,658
0,83	286,00	3,401	0,773	0,612	0,610
1,00	264,20	3,065	0,754	0,552	0,550
1,17	245,30	2,774	0,735	0,500	0,497
1,33	228,80	2,521	0,716	0,454	0,451
1,58	204,70	2,150	0,683	0,387	0,384
2,08	164,00	1,523	0,604	0,274	0,270
3,08	106,20	0,634	0,388	0,114	0,109
4,08	80,10	0,232	0,189	0,042	0,037
5,08	70,00	0,077	0,072	0,014	0,009