



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Diego Canizares

Efeito da adição de revestimentos comestíveis sobre a
qualidade de mamão desidratado após a secagem e durante o
armazenamento

São José do Rio Preto

2013

Diego Canizares

Efeito da adição de revestimentos comestíveis sobre a
qualidade de mamão desidratado após a secagem e durante o
armazenamento

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, Área de Concentração – Engenharia de Processos na Indústria de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro

São José do Rio Preto

Março/2013

Diego Canizares

Efeito da adição de revestimentos comestíveis sobre a
qualidade de mamão desidratado após a secagem e durante o
armazenamento

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação de
Engenharia e Ciências de Alimentos, Área de
Concentração – Engenharia de Processos na Indústria
de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e
Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro

Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti Telis

Prof. Dr. Gustavo César Dacanal

Prof. Dr. Joel Fernando Nicoletti

Prof. Dr. João Cláudio Thoméo

São José do Rio Preto

Março/2013

Dedico

À minha mãe, Neusa Aparecida
Pereira, que tanto lutou pela
minha educação.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sorte de ter colocado em minha vida inúmeras pessoas de bem, proporcionado tantas oportunidades e me dado saúde para buscar meus sonhos.

À minha mãe, Neusa Aparecida Pereira, pelo amor, carinho e compreensão. Além de ser meu grande apoio nas horas difíceis. Devo a ela minha educação e tudo o que tenho hoje. Sem ela nada seria possível;

À minha orientadora, Dra. Maria Aparecida Mauro, que é um exemplo de profissional, ser humano e de dedicação. Fico muito feliz por ter conhecido e participado da vida de uma pessoa tão especial, que prezo muito e por quem tenho um imenso carinho;

À Lilian Ponce Birolim pela compreensão e respeito durante esse período de luta e dedicação, sendo muito paciente e companheira;

À CAPES pelo apoio financeiro à pesquisa;

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da UNESP de São José do Rio Preto pela estrutura, que proporcionou o desenvolvimento da pesquisa;

Às famílias Locci e Loureiro pelos muitos encontros para alegrar os finais de semana, pelo apoio e pelo carinho;

À tia Sirlei e família que mesmo não tão perto torcem e rezam pelo meu sucesso, assim como eu pelo deles;

A todos meus familiares, que estão sempre presente em minha vida e nas minhas preces;

Ao meu pai, José Canizares Filho, que mesmo de longe torceu pelo meu sucesso e me ajudou em vários momentos com sugestões valiosas;

À minha irmã Meiling Canizares que sempre me apoiou e mesmo ocupadíssima sempre tem um momento para se preocupar com os irmãos mais novos;

Aos amigos queridos Alessio Arroio Capati, Gustavo Tonin, Henrique Vollet, Manoel Alves Parreira Neto, Marcelo Paladino de Jesus, Paulo Vollet e Thiago R. Silvestrini, pela amizade honesta de tantos anos;

Às noivas e esposas de meus amigos, Bruna, Luana, Uily, Aline e Beatriz que animam ainda mais nossos encontros e estão colocando juízo na cabeça dessa galera;

Ao Dr. Francisco Lopes Filho, por ter me influenciado a fazer Engenharia de Alimentos, quando eu tinha 18 anos. Muito obrigado pelos conhecimentos passados durante a graduação e mestrado e, também, por ter participado da Banca da Qualificação e ter feito inúmeras sugestões e correções valiosas;

Ao Dr. João Cláudio Thoméo pelo conhecimento transferido, conselhos e orientações antes e durante o mestrado;

Ao Dr. Vanildo Del-Bianchi por auxiliar, acima de tudo, no desenvolvimento de um raciocínio crítico e mais humano;

Ao Dr. Roger Darros-Barbosa. A quem devo grande parte da minha formação como engenheiro, e que hoje percebo ter sido fundamental;

Ao orientador, mentor e amigo Dr. Pedro Fernando Romaneli por ter confiado em mim como estagiário e ter me auxiliado com diversos conselhos. Tenho muito orgulho de ter conhecido e feito parte de sua vida, viverá em minha memória;

Ao Dr. Javier Telis Romero pelos ensinamentos e conselhos dentro e fora de sala;

Aos Doutores Vânia Regina N. Telis e Gustavo César Dacanal por terem participado da banca da Defesa da Dissertação e pelas valorosas sugestões e correções;

Aos amigos que fizeram da faculdade e do mestrado algo mais engraçado Amanda Hammond, Diana M. C. Higueta, Gisandro Carvalho, Harvey Villa, Mayra Secco, Naara Weishaupt, Priscila Ramin, Vivian Uliana e Viviane Shiota;

À Patrícia Correa, Andressa A. P. Barros, Daniela Hilfiker e Marcella Mazzocato pelo auxílio durante os experimentos do mestrado;

Aos queridos Evelyn, Rodrigo e Vinícius;

Ao técnico de laboratório e amigo Ginaldo por ajudar com experimentos e pelas conversas;

À todas as pessoas que fazem ou fizeram parte de minha vida, pois com um pedacinho de cada um de vocês é que consegui chegar onde estou, me desculpe se não citei seu nome, mas são tantos que é impossível agradecer a todos individualmente.

“Sucesso é o resultado da prática constante de fundamentos e ações vencedoras. Não há nada de milagroso no processo, nem sorte envolvida. Amadores aspiram, profissionais trabalham.”

Bill Russel

“As oportunidades normalmente se apresentam disfarçadas de trabalho árduo e é por isso que muitos não as reconhecem.”

Ann Landers

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a cinética de secagem, retenção de vitamina C e retenção de cor no mamão fresco e pré-tratada (*Carica papaya L.*), após secagem convectiva e durante o armazenamento. Foram, também, determinadas as propriedades termodinâmicas e novas metodologias para estudos de encolhimento em mamão fresco sem cobertura. A vitamina C é um antioxidante natural com importantes propriedades nutricionais para a saúde humana. Clara de ovo é uma importante fonte de proteína. Coberturas comestíveis à base de hidrocolóides possuem propriedades de barreira a gases, são solúveis em água e tem capacidade de incorporar aditivos. Fatias de papaia foram imersas em solução de pectina a 2% (p/p) ou em solução de pectina (2 % p/p) com vitamina C (1 % p/p) ou em solução de pectina a 2 % (p/p) com clara de ovo comercial (2 % p/p). O revestimento de pectina foi gelificado por imersão em solução de lactato de cálcio em 2,8 % (p/p). As fatias de pectina com e sem cobertura foram desidratadas em secador convectivo a 60 °C e 70 °C. Análises de vitamina C, cor e água foram feitas em mamão fresco com e sem cobertura, antes e após a secagem e durante a armazenagem. Todos os ensaios de secagem foram realizados quatro vezes. As isotermas de desorção e adsorção de mamão sem cobertura foram desenvolvidas a 30 ° C, 50 ° C e 70 ° C, e esses dados foram utilizados para determinar as propriedades termodinâmicas. Duas metodologias para determinação do encolhimento foram estudadas em secagem a 60 ° C e 70 ° C de mamão sem cobertura. A análise da variância foi aplicada aos dados experimentais para identificar diferenças significativas ao nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Coberturas comestíveis aumentaram a retenção de vitamina C, em especial as coberturas comestíveis de pectina e pectina com vitamina C. A cinética de secagem das amostras variaram significativamente apenas com a temperatura. Quando considerado o encolhimento as curvas para determinação da difusividade efetiva foram melhores traçadas e a difusividade efetiva apresentou valores menores.

Palavras-chave: Mamão; cinética de secagem; vitamina C; Cor; Encolhimento; Isotermas; propriedades termodinâmicas; Temperatura isocinética; Calor isostérico; Difusão efetiva de massa.

ABSTRACT

The aims of this work were evaluate the drying kinetic, retention of vitamin C and retention of color in fresh and pre-treated papaya (*Carica papaya* L.), after air-drying and during storage. Moreover were studied thermodynamics properties and determinate new methodologies for shrinkage studies in fresh papaya. Edible coatings applying on surface of the foods can prevent oxidative reactions. Vitamin C is a natural antioxidant and nutritionally important for the human health. Egg white is an important protein source. Hydrocolloids edible coatings possess good barrier properties to gases, are soluble in water and can incorporate additives. Papaya slices were immersed in pectin solution at 2 % (w/w) or in pectin solution (2 %) with vitamin C (1 %) or even in pectin solution at 2 % (w/w) with commercial egg white (2 % w/w). The pectin coating was jellified by immersion in calcium lactate solution at 2.8 % (w/w). The pectin-coated and non-coated slices were air-dried at 60 °C and 70 °C temperatures. Vitamin C, color and water content was analyzed in fresh papaya and in coated papaya before and after drying and during storage. All drying experiments were done four times. Isotherms analysis of non-coated papaya were developed at 30°C, 50°C and 70°C and with those data were determinate the thermodynamic properties. Two methodologies of shrinkage were studied in drying of non-coated papaya at 60°C and 70°C. Analysis of variance was applied to experimental data to identify significant differences at 95% confidence level ($p < 0.05$). Retention of vitamin C was not affected by temperature. We obtained considerable vitamin C content in the samples with vitamin C incorporated in pectin coating, after drying and storage. Drying kinetic of coated and non-coated was very similar, changing just with the temperature. Thermodynamics properties were obtained to desorption and to adsorption isotherms. When considered the shrinkage, the fitting of curves for determining the effective diffusivity were better and effective diffusivity values were lower.

Keywords: Papaya; Drying kinetic; Vitamin C; Color; Shrinkage; Isotherm; Thermodynamic properties; Isokinetic Temperature; Isosteric heat; Mass effective diffusion.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
1.1 Mamão	5
1.2 Cobertura Comestível	5
1.3 Pectina	7
1.4 Vitamina C	7
1.5 Albumina	8
1.6 Secagem	9
1.7 Cor	10
1.8 Isoterma	12
1.9 Calor Isostérico	13
3.10 Teoria de Compensação	13
MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 Matéria Prima	15
4.1.1 Mamão	15
4.1.2 Obtenção de amostras para secagens e análises	15
4.2 Cobertura	17
4.3 Secagem	18
4.3.1 Secador	18
4.3.2 Procedimento	19
4.4 Modelos matemáticos de secagem	20

4.4.1 Placa Plana	20
4.4.2 Cilindro Finito	22
4.5 Análises das amostras	24
4.6 Cor	25
4.7 Umidade.....	27
4.8 Vitamina C.....	27
4.9 Análise Sensorial	28
4.10 Isotermas	28
4.10.1 Modelos matemáticos de isotermas	29
4.11 Calor Isostérico	30
4.12 Teoria de compensação.....	32
4.13 Encolhimento	33
4.13.1 Modelos para encolhimento durante secagem.....	36
4.14 Análise estatística	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
1.10 Secagem.....	38
5.2 Cor	41
5.3 Retenção de Vitamina.....	44
5.4 Análise sensorial	47
5.5 Isotermas	50
5.6 Calor isostérico	53
5.7 Teoria Isocinética	56
5.8 Encolhimento	58
CONCLUSÕES	64
TRABALHOS FUTUROS.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXO 1.....	75

ANEXO 2.....76

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

- a = parâmetros de modelos para a determinação de equações de isotermas;
 A = parâmetros de modelos para a determinação de equações de isotermas;
 a' = constante adimensional de secagem para modelos semi-teóricos;
 a_w = atividade de água;
 a^* = coordenada retangular para a determinação de cor do verde ($-a$) ao vermelho ($+a$);
 b = parâmetros de modelos para a determinação de equações de isotermas;
 b^* = coordenada retangular para a determinação de cor do azul ($-b$) ao amarelo ($+b$);
 c = parâmetros de modelos para a determinação de equações de isotermas;
 C = parâmetros de modelos para a determinação de equações de isotermas;
 C^* = cromaticidade, coordenada polar para a determinação da intensidade da coloração;
 $^{\circ}\text{C}$ = temperatura em escala Celcius, graus centígrados;
 d = parâmetros de modelos para a determinação de equações de isotermas;
 D_{ef} = Difusividade efetiva (m^2/s);
 f = subscrito para identificação de análise ou valor de final de processo;
 g = massa em gramas;
 h = espessura total da amostra ($h = 2L$) para placa plana infinita;
 $h(t)$ = espessura da amostra variável com o tempo, utilizada para equações de encolhimento;
 H^* = ângulo Hue, coordenada polar para a determinação da tendência de coloração da amostra sendo a cor vermelha caracterizada como 0° , amarela 90° , verde 180° e azul 270° .
 i = subscrito para identificação de análise ou valor no início do processo;
 k = parâmetros de modelos para a determinação de equações de isotermas;
 K = temperatura e escala Kelvin;
 k' = constante de secagem para modelos semi-teóricos, s^{-1} ou s^{-n} ;
 L = comprimento de meia espessura da dimensão característica de placa plana infinita (m);
 L^* = claridade, coordenada para a determinação da claridade da amostra do escuro (0) ao claro (100);
 M = massa de produto;
 MMR = Média dos Módulos dos Resíduos (%);
 n = constante adimensional de secagem;
 N = número de dados experimentais;
 q_{st} = calor isostérico entálpico de sorção líquido;
 Q_{st} = Calor isostérico entálpico de sorção;
 q_0 = calor isostérico líquido de sorção da primeira molécula de água ligada ao alimento;
 r = dimensão característica para cilindros infinitos;

R = constante dos gases ideais;

R' = raio de cilindro infinito (m);

$R'(t)$ = raio de cilindro infinito variável com o tempo, utilizado em equações de encolhimento (m)

Re = redução volumétrica percentual proporcional em cada dimensão (%);

R^2 = coeficiente de determinação do ajuste;

RMQR = Raiz Média do Quadrado dos Resíduos (%);

s = subscrito para indicar referência a sólidos;

sup = subscrito para indicar que o parâmetro é calculado com base nas condições de superfície, ou de equilíbrio;

S_a = razão de encolhimento das arestas de um sólido em relação ao encolhimento volumétrico causado pela perda de água.

t = tempo (s);

T = temperatura;

t = subscrito para indicar que parâmetro varia com o tempo;

T_B = Temperatura isocinética (K);

$t_{m-2, \alpha/2}$ = valor de t de Student encontrado para grau de liberdade igual a $m-2$ e índice de significância igual a metade do proposto.

Vit = quantidade de vitamina C em mg por 100 gramas do produto;

w = subscrito para indicar parâmetro relacionado à água;

X = fração mássica da água em base seca (massa de água/kg de massa seca);

\bar{X} = fração mássica média de água em base seca (massa de água/massa seca);

X_m = monocamada obtida pelos modelos de BET e GAB;

X_0 = umidade característica, na qual o calor isostérico de sorção, q_{st} , está reduzido em aproximadamente 63 %.

$x_{cal,m}$ = valor calculado teórico em um dado ponto m ;

$x_{exp,m}$ = valor experimental obtido para um mesmo m .

z = dimensão característica para placa plana infinita (m);

z = subscrito para indicar que parâmetro localizado em uma posição z na espessura característica de placa plana infinita;

ΔE = é uma coordenada, ou vetor resultante, que apresenta a alteração de cor de uma amostra. Este parâmetro relaciona as coordenadas a^* , b^* e L^* ;

ΔG = variação de energia livre de Gibbs (kJ/mol);

ΔH = variação de entalpia (kJ/mol)

ΔS = variação de entropia (kJ/mol);

ΔT_{hm} = Temperatura harmônica (K);

ρ = concentração mássica (kg de água/kg total);

$\bar{\rho}$ = concentração mássica média de água;

% = percentagem;

γ_n = raiz enésima da função de Bessel de tipo 1 e ordem zero.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Espectro de ondas eletromagnéticas. _____	11
FIGURA 2: Caracterização do sistema de cores e claridade utilizado pelo CIELAB. _____	12
FIGURA 3: Corte longitudinal das frutas selecionadas para os experimentos. _____	15
FIGURA 4: Corte seccional dos mamões utilizados nos experimentos. _____	16
FIGURA 5: Corte das fatias de mamões na espessura de 0,9 cm. _____	16
FIGURA 6: Armazenamento das amostras de frutas para utilização nos experimentos. _____	17
FIGURA 7: Fotos do processo de adição de cobertura comestível à base de pectina e gelificada ionicamente em mamão. a) Amostras dispostas em cesto para aplicação; b) solução de pectina em banho termostático; c) adição da pectina a amostra de mamão; e d) gelificação iônica da cobertura por imersão em solução de lactato de cálcio. _____	18
FIGURA 8: Esquema do secador tipo piloto utilizado durante os experimentos; 1) Difusores de ar; 2) Câmara de Secagem; 3) Termopares; 4) Resistência Elétrica; 5) Válvula para controle do reaproveitamento do ar; 6) Ventilador/Soprador centrífugo; a) Painel de controle da temperatura ligado aos termopares e às chaves resistências; b) Inversor de frequência; c) Chave das resistências e chave geral; p) posição dos pt100; e H) posição do higrômetro. _____	19
FIGURA 9: Esquema geral simplificado de processo de mamão com ou sem cobertura para secagem, armazenamento e análises de cor, vitamina C e umidade. _____	25
FIGURA 10: Fotos da câmara construída para determinação de cor de amostras. _____	34
FIGURA 11: As fotografias são imagens de uma mesma bandeja com amostras de mamão antes, a), e depois, b), da secagem a 70 °C. _____	34
FIGURA 12: Representação gráfica dos valores médios experimentais durante secagem dos tratamentos em cada temperature, com ar a velocidade media de 1 m/s. _____	38

FIGURA 13: Gráfico a) é o histograma com a frequência de consumo de produtos saudáveis pelo provador e b) o histograma sobre quanto o provador gosta de produtos com apelo saudável. _____	48
FIGURA 14: Histograma de frequência sobre respostas fornecidas pelos provadores avaliando o qual fator mais influencia na compra de um produto saudável. _____	48
FIGURA 15: Valores experimentais e teóricos, determinados pelo modelo de GAB, para isotermas de desorção. _____	50
FIGURA 16: Valores experimentais e teóricos, determinados pelo modelo de GAB, para isotermas de adsorção. _____	50
FIGURA 17: Curvas teóricas de isotermas de desorção e adsorção nas temperaturas de 30°C, 50°C e 70°C para mamão pelo modelo de GAB. _____	53
FIGURA 18: Gráfico de $\ln(a_w) \times 1/T$ (K^{-1}), para determinação do calor isostérico e da variação da entropia, foi obtido à partir dos das isotermas de desorção de mamão Formosa in natura. _____	54
FIGURA 19: Gráfico de $\ln(a_w) \times 1/T$ (K^{-1}), para determinação do calor isostérico e da variação da entropia, foi obtido à partir dos das isotermas de adsorção de mamão Formosa in natura. _____	54
FIGURA 20: Calor isostérico líquido de sorção em função da Umidade de equilíbrio (Base seca) para mamão. _____	55
FIGURA 21: Gráfico de Variação da Entalpia x Variação da Entropia durante adsorção de mamão in natura, para a determinação da temperatura isocinética, coeficiente angular, e Energia de Gibbs, coeficiente linear. _____	57
FIGURA 22: Imagem obtida após conversão para preto e branco de uma das imagens das amostras secas a 70°C. _____	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelos matemáticos de isotermas de sorção. _____	30
Tabela 2: Difusividade efetiva, R^2 e MMR (%) determinados com modelo de Fick para mamão pré-tratado e controle durante secagem, calculados para espessura inicial. _____	39
Tabela 3: Resultados para parâmetros dos modelos semi-teóricos de secagem e respectivos R^2 e MMR. _____	40
Tabela 4: Umidade média e desvio padrão das amostras em cinco pontos do processo. _____	41
Tabela 5: Valores para ΔE , considerando como valor de referência os valores da amostra fresca, Cromo e Ângulo Hue. _____	42
Tabela 6: Valores em mg de vitamina C por 100 gramas de produto antes e depois de pré-tratamento, fração de ganho de massa e retenção de vitamina C durante pré-tratamento em %. _____	44
Tabela 7: Retenção de vitamina C (%) para mamão, considerando diferentes pré-tratamentos, após secagem e durante estocagem. _____	45
Tabela 8: Resultado para análise sensorial de mamão (<i>Carica papaya L.</i>) pré tratado e posteriormente seco a 60 °C ou a 70 °C. _____	49
Tabela 9: Parâmetros, MMR e R^2 obtidos para modelos testados em isotermas de desorção de mamão sem cobertura. _____	51
Tabela 10: Parâmetros, RMQR e R^2 obtidos para modelos testados em isotermas de adsorção de mamão in natura. _____	52
Tabela 11: Valores de calor isostérico e entropia, obtidos do coeficiente angular e linear das retas apresentadas nos gráficos das Figuras 18 e 19. _____	55
Tabela 12: Constantes de entalpia e umidade, q_0 e X_0 , determinadas segundo equação (31) e respectivo R^2 e RQMR para a curva de adsorção de água em mamão. _____	56
Tabela 13: Determinação da espessura das amostras calculado de forma linear a partir dos dados de espessura inicial e final da amostra e com base no volume de água evaporado da amostra. _____	59

Tabela 14: Encolhimento da área superficial das amostras de mamão desidratadas a 60 °C e 70 °C determinado por análise de imagens através de algoritmo para a contagem de pixels pretos na imagem. _____	60
Tabela 15: Encolhimento da área superficial das amostras de mamão desidratadas a 60 °C e 70 °C determinado por análise de imagem utilizando AutoCAD para determinação da área inicial e final das amostras. _____	60
Tabela 16: Encolhimento do raio das amostras calculados à partir do algoritmo em Matlab, do AutoCAD e pela relação com a redução de volume de água. _____	61
Tabela 17: Valores obtidos para RMQR entre as metodologias Matlab, AutoCAD e volume de água evaporado para determinar o encolhimento do raio à mesma temperatura de secagem. _____	61
Tabela 18: Valores médios, desvio padrão e R^2 para difusividade efetiva, de mamão in natura seco a 60 °C e 70 °C, calculados à partir de modelos para placa plana e cilindro finito, considerando ou não o encolhimento. _____	62
Tabela 19: Resultados para parâmetros CIELAB de cor obtidos por diferentes tratamentos em diferentes períodos do processo. _____	77

1. INTRODUÇÃO

A importância dos alimentos vegetais na dieta humana é indiscutível, por serem fontes de componentes essenciais para a saúde, como fibras, sais minerais, açúcares e, principalmente, substâncias biologicamente ativas, como vitaminas, carotenóides e flavonóides. Efeitos sobre a saúde relacionados ao consumo de frutas e hortaliças têm sido atribuídos à presença de compostos antioxidantes, especialmente o ácido ascórbico, o alfa-tocoferol e o beta-caroteno (KAUR; KAPOOR, 2001).

O Brasil é um país em desenvolvimento e com grandes áreas agricultáveis, fatores que colaboram para o surgimento de novas tecnologias e novos produtos com baixo custo e boa qualidade para o mercado nacional e internacional, possibilitando agregar mais valor aos produtos agrícolas. O Brasil, em 2010, com 54 milhões de toneladas de frutas cultivadas, equivalente a 3,0 % da produção mundial, ocupou o terceiro lugar entre os maiores produtores de frutas do mundo, atrás apenas da China e da Índia (FAOSTAT, 2010).

Dentre as plantas frutíferas existentes no Brasil, o mamoeiro (*Carica papaya* L.), possivelmente originário da América do Sul, é conhecido mundialmente por ter se disseminado por todo o mundo tropical de temperaturas até 30-32 °C (MEDINA, 1980). Sabe-se que em 2010 o mamão foi a sétima fruta mais produzida no país, ficando atrás de frutas industrialmente populares como a laranja, a banana, o tomate, o coco e o abacaxi (FAOSTAT; 2010). A mesma fonte apresenta o Brasil, em 2010, como segundo maior produtor mundial de mamão, com 16,2 % da produção, sendo que os maiores produtores no país são os estados da Bahia, Espírito Santo, Ceará e Rio Grande do Norte. As perdas de produtos agrícolas na colheita e pós-colheita são grandes no Brasil, estimadas em até 40 % em algumas áreas do Nordeste (LACERDA et al., 2004). Nesse contexto, o processamento baseado em tecnologias viáveis para pequena escala, como os pré-tratamentos, a secagem e o adequado armazenamento, se aplicados a excedentes de produção, contribuiriam para a redução das perdas de frutas frescas.

Pré-tratamento de frutas e hortaliças pela aplicação de coberturas comestíveis tem sido amplamente estudado como método de estender o tempo de vida dos produtos pós-colheita. Esses métodos têm o objetivo de prevenir ou retardar a transferência indesejada de água, gases e lipídios. As coberturas também podem atuar como incorporadores de aditivos alimentícios, estes com o intuito de

melhorar a cor, o sabor, a textura e a qualidade nutricional dos alimentos, controlar o crescimento microbiano e melhorar as características gerais das coberturas. Além disso, coberturas à base de polissacarídeos, formam barreiras à transferência de oxigênio, mas permitem a transferência do vapor de água (WONG et al., 1994; CUQ et al., 1995), podendo ser aplicadas em combinação com secagem, como método de conservação. Essa técnica, ainda pouco utilizada, tem se mostrado promissora na melhoria da retenção de nutrientes e das características físicas do alimento durante o processo de secagem convectiva, uma vez que esse processo pode ser bastante agressivo devido às temperaturas utilizadas, combinadas ao longo tempo de exposição do produto ao oxigênio. Entretanto, esse método de secagem é o mais viável economicamente para pequenas empresas que dispõem de pouco capital.

A desidratação de produtos alimentícios é amplamente empregada com diversos fins, como para aumentar a vida de prateleira, reduzir custos com embalagens, transporte e estocagem e modificar atributos sensoriais. Em função de sua importância, alimentos desidratados têm despertado o interesse científico nos últimos anos em busca do entendimento sobre a termodinâmica de sorção de água, relações com alterações nas estruturas dos alimentos e com a máxima estabilidade do alimento durante a estocagem (NUNES; ROTSTEIN, 1991; BERISTAIN et al., 1994).

Alguns resultados promissores sobre retenção de nutrientes com coberturas de amido (LAGO-VANZELA et al., 2013) e de pectina (EIK, 2008; GONÇALVES, 2010), esta última gelificada ionicamente, mostram que a proposta é possível, porém, ainda necessita de muitos estudos para otimização da aplicação e da composição dessas coberturas, inclusive com uso de aditivos (anti-oxidantes) em sua elaboração.

O conhecimento do comportamento dos vegetais frescos e pré-tratados, durante sua secagem e armazenamento, em relação à atividade de água, retenção de vitaminas, de cor e de outras propriedades sensoriais, são fundamentais para o estudo da viabilidade de projetos de engenharia e ciência de alimentos que visem o desenvolvimento de produtos, processos, embalagens e ambientes adequados para produção e armazenagem de produtos alimentícios com boa qualidade.

O ácido ascórbico é uma vitamina hidrossolúvel essencial. As principais fontes alimentares de ácido ascórbico são as frutas, hortaliças e alimentos enriquecidos, como os cereais matinais. Além de nutriente essencial, o ácido

ascórbico é utilizado em alimentos devido à capacidade antioxidante e redutora, atuando de diversas formas no auxílio da conservação do alimento. Entretanto, a vitamina C é facilmente degradada por ação térmica, enzimática, química (WAWIRE et al., 2011), assim como pela presença de luz, de oxigênio, de catalisadores metálicos, dentre outros. Por ser susceptível a tantas variáveis, é frequente utilizá-la como indicador da qualidade do processamento de alimentos (SANTOS; SILVA, 2008).

Uma vez que a retenção dessa vitamina em frutas e hortaliças tende a diminuir durante tempos mais longos e temperatura mais alta de secagem, é preciso encontrar condições que combinem essas variáveis com o intuito de minimizar as perdas, além de buscar alternativas que diminuam a exposição do vegetal ao oxigênio, de modo a minimizar sua degradação.

A cor de um produto também é importante característica observada na análise sensorial e um fator limitante para a compra de determinado alimento. Alterações na cor são fortes indícios da ocorrência de reações químicas, físicas, bem como de deterioração microbiológica.

Tem-se ainda um importante parâmetro de qualidade, a atividade de água, uma característica limitante para o crescimento de microorganismos e para a ocorrência de reações que podem deteriorar os produtos. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de tecnologias simples e efetivas que possam ser utilizadas por pequenas empresas para manutenção sensorial e nutricional de alimentos vegetais. O objetivo específico da proposta é investigar a influência da aplicação de coberturas previamente à secagem, sobre a retenção de cor e de vitaminas, bem como determinar a cinética de secagem dos mamões, com e sem cobertura, e propriedades de adsorção e desorção de mamão in natura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver tecnologia para a produção de vegetais desidratados com base na aplicação de coberturas comestíveis previamente à secagem convectiva, através da avaliação da influência dos tipos de cobertura e dos parâmetros de secagem sobre a cinética de secagem e sobre características físico-químicas do produto desidratado, logo após a secagem e durante o armazenamento, visando incrementar a qualidade.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar a influência das coberturas e da temperatura de secagem sobre:

- Cinética de secagem
- Retenção de vitamina C;
- Manutenção da cor;
- Difusividade mássica efetiva.
- Determinar isothermas de adsorção e desorção e correspondentes modelos matemáticos de ajuste, calor isostérico e temperatura isocinética.
- Medir o encolhimento de fatias de mamão através de análise de imagem.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mamão

O mamão é uma fruta originária provavelmente da América Tropical e possui período de safra relativamente longo. É fonte de carotenóides, vitamina C e sais minerais. Estudos mostram que esse fruto não apresenta alta atividade pró-vitamina A, porém, por ser popular, de baixo custo e disponível quase o ano todo, torna-se importante fonte de pró-vitamina A (RODRIGUEZ-AMAYA, 1996; SILVA et al., 2004).

Estudos como o de Kimura et al. (1991) mostram que as variedades de mamão da espécie *Carica Papaya L.* como a Solo, cujo mamão é conhecido comumente como papaia, e a variedade Formosa, ambas variedades apresentam valores de composição nutricional semelhantes para β -caroteno (2,5 e 3,7 $\mu\text{g/g}$ respectivamente), β -criptoxantina (9,1 e 7 $\mu\text{g/g}$) e licopeno (21 e 22,8 $\mu\text{g/g}$). A atividade pró-vitamina A (ou equivalentes de retinol) em mamão de polpa vermelha variedade Solo, corresponde a 12 $\mu\text{g/g}$ (GODOY; RODRIGUEZ-AMAYA, 1994). A vitamina C, importante antioxidante natural, está presente no mamão Formosa com uma média de 79 mg/100 gramas de mamão (USDA, 2012). Esta mesma vitamina aparece em quantidade média de 53,2 mg em laranjas e de 47,8 mg em abacaxis considerando porções de 100 gramas de frutas (USDA, 2012).

3.2 Cobertura Comestível

Baker et al. (1994) reportaram estudo sobre filmes e coberturas comestíveis, citando que estes termos, embora intercambiáveis, atualmente têm conotações específicas: o termo filme é utilizado para estruturas formadas previamente e o termo cobertura aplica-se a estruturas formadas diretamente sobre o produto. Existem três categorias para filmes e coberturas em relação aos componentes estruturais: hidrocolóides, lipídeos e compostas. Essa divisão é importante devido ao possível comportamento da cobertura.

Coberturas ou filmes a base de hidrocolóides são eficientes barreiras ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídeos. Por outro lado as baseadas em lipídeos podem ser utilizadas como barreiras ao vapor de água, assim como as mistas ou compostas, que são misturas de hidrocolóides (polissacarídeos ou proteínas) e lipídeos, em proporções variadas, com o intuito de proporcionar as características desejadas à cobertura (DONHOWE; FENNEMA, 1994).

Ainda segundo Cuppett (1994), as coberturas e filmes comestíveis têm se tornado um tópico de grande interesse da indústria devido ao potencial para aumentar a vida de prateleira de inúmeros produtos alimentícios. A autora cita também a viabilidade de incorporação de aditivos e substâncias para melhorar as características sensoriais, de controle microbiológico e de desempenho da cobertura. Donhowe e Fennema (1994) também reportam que alterações funcionais, organolépticas, nutricionais e de propriedades mecânicas dos filmes e das coberturas podem ser alteradas pela adição de aditivos como açúcares, agentes antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes, pigmentos, aromas e sabores, em pequenas quantidades.

A grande maioria dos trabalhos reportados na literatura sobre coberturas comestíveis é voltada para produtos frescos, algumas vezes em pedaços, como os minimamente processados. Entretanto, esse mesmo conceito pode ser útil para alimentos desidratados, especialmente à umidade intermediária, desde que o revestimento não restrinja efetivamente a transferência de umidade e ao mesmo tempo, apresente propriedades de barreira ao oxigênio. Essas coberturas comestíveis têm sido testadas como pré-tratamento à secagem e resultados promissores têm sido obtidos durante o processo de secagem convectiva, com revestimentos que exercem efeito protetor em relação à oxidação de nutrientes, contribuindo também para a melhoria dos atributos de aparência. Eik (2008) realizou ensaios de secagem com fatias de caqui com cobertura de pectina gelificada ionicamente e com cobertura de amido de amaranto a temperaturas de 60 °C e 70 °C. O revestimento das fatias com pectina aumentou significativamente a retenção de carotenóides durante a secagem nas duas temperaturas utilizadas. A cobertura de amido de amaranto também aumentou a retenção, porém, não foi tão efetiva quanto a de pectina. Gonçalves (2010) aplicou diferentes coberturas (pectina e alginato, preparadas em suco de uva) em carambolas antes da secagem e concluiu que as coberturas melhoraram a qualidade das carambolas, visto que retardaram o escurecimento, auxiliaram na manutenção da força de ruptura e permitiram uma maior retenção de nutrientes sem prejudicar a cinética de secagem.

A aplicação de coberturas comestíveis à base de amido, anteriormente à secagem de abóboras, foi avaliada por Lago-Vanzela et al. (2013). Foi observada maior retenção dos carotenóides das amostras pré-tratadas em comparação às frescas, o que foi atribuído à proteção que as coberturas exerceram em relação à

oxidação dos pigmentos. Resultados semelhantes foram observados por Zhao e Chang (1995) para cubos de cenoura cobertos com amido de milho previamente à secagem.

3.3 Pectina

A pectina é um dos principais componentes da parede celular juntamente com celulose, hemicelulose e lignina. Sabe-se que a pectina ocupa a parede celular primária, predominantemente com alta metoxilação, e uma posição central na lamela média da parede celular, como pectina de baixa metoxilação. No entanto, a conformação estrutural desse polissacarídeo é pouco conhecida dentro da parede celular (BRECHT et al., 2010).

O albedo, camada branca e esponjosa da casca de cítricos, é uma fonte significativa de pectina, contendo até 50 % desse constituinte em base seca (BRECHT et al., 2010). Comercialmente, além dos cítricos, são utilizadas cascas de maçã como fonte de pectina.

A pectina é um polissacarídeo hidrossolúvel, mas a hidrólise do grupo metoxil gera ácidos pécticos e pectínicos que são insolúveis principalmente na presença de cátions polivalentes (BeMILLER; HUBER, 2010). A gelificação de pectinas de alta metoxilação ocorre na presença de ácido e açúcar. Já a gelificação das pectinas de baixo grau de metoxilação ocorre na presença de cátions divalentes, que proporcionam ligação cruzada. O cátion divalente utilizado na indústria alimentícia é o cálcio e o aumento de sua concentração está diretamente relacionado ao aumento da força do gel (LINDSAY, 2010).

3.4 Vitamina C

O ácido L-ascórbico é utilizado como aditivo em alimentos devido às atividades redutora e antioxidante, além da acidez (DAMODARAN et al., 2010). Segundo os mesmos autores, o ácido ascórbico ocorre naturalmente em tecidos vegetais e, em menores quantidades, em tecidos animais, atuando como um antioxidante natural. Além disso, a existência de ácido ascórbico nos alimentos inibe o escurecimento enzimático, desativa radicais livres, inibe a formação de nitrosaminas em carnes curadas, reduz íons metálicos (catalisadores), desativa oxigênio singlete (promotor da oxidação lipídica) e regenera outros antioxidantes (DAMODARAN et al., 2010).

A retenção de vitamina C durante o processamento e armazenamento de produtos alimentícios é um grande desafio industrial devido à característica instável dessa vitamina hidrossolúvel, sofrendo com instabilidade à luz, ao oxigênio, ao calor e a meios neutros e alcalinos. É uma vitamina estável apenas em meios ácidos. A ingestão diária recomendada para seres humanos pode chegar a 120mg diárias dessa vitamina, como no caso de lactantes (DAMODARAN et al., 2010).

A FAO (Food and Agriculture Organization) caracteriza os aditivos como ingredientes adicionados propositalmente ao alimento em pequenas quantidades, sem fins nutricionais, com o intuito de melhorar as características sensoriais, aparência e tempo de armazenamento (FDA apud CUPPETT, 1994). Ainda, a FAO especifica a possibilidade de aditivos serem componentes alteradores da composição nutricional, mas não aceita a utilização de aditivos com essa finalidade. O ácido L-ascórbico é especialmente aplicado como aditivo em alimentos, por não apresentar limites à sua utilização, ficando a critério da indústria adicionar a quantidade de ácido necessária para garantir a qualidade do alimento e das práticas de fabricação (CODEX STAN, 2011).

3.5 Albuminas

As proteínas são polímeros compostos por 20 aminoácidos. As ligações entre os aminoácidos para a formação das proteínas são feitas por ligações amidas substituídas, que têm caráter parcial de ligação dupla (DAMODARAN et al., 2010).

As proteínas são muito importantes para a indústria alimentícia no sentido de fornecer características sensoriais e tecnológicas aos produtos, além de possuir propriedades nutricionais essenciais.

Dentre as funções importantes da proteína para a tecnologia de alimentos é possível citar algumas como a habilidade da maioria das proteínas de formar gel, conferir viscosidade, elasticidade e coesão, emulsificar, formar espuma, fixar lipídeos e aromas, dentre outras (DAMODARAN et al., 2010). A solubilidade e força de ligação das proteínas com moléculas de água proporcionam as propriedades do gel. A ovoalbumina, proteína predominante na clara do ovo, é capaz de formar gel (MEDINA-TORRES et al., 2010). As propriedades da albumina dependem do processo industrial de secagem pelo qual foi submetida, podendo alterar a gelificação (LECHEVALIER et al., 2007).

3.6 Secagem

A desidratação ou secagem é um dos procedimentos mais antigos e importantes para a conservação de alimentos, pois diminui a disponibilidade de água para reações de deterioração e promove uma considerável redução de custos em transporte e manipulação do produto. A secagem convencional, que usa ar aquecido como meio de aquecimento, convecção como forma de transferência de calor e opera à pressão atmosférica, apresenta limitações quanto à uniformidade e qualidade sensorial e nutricional do produto. A degradação da qualidade dos alimentos durante a secagem é uma das maiores preocupações referentes à seleção, projeto e operação de secadores, devido às alterações físicas, químicas e bioquímicas decorrentes desse processo. (MUJUMDAR; LAW, 2010).

Aparentemente simples, a secagem é, na realidade, uma operação complexa, pois envolve transferência de massa e de calor simultâneos, em regime transiente, junto com transformações bio-físico-químicas (MUJUMDAR; LAW, 2010). Determinadas condições de operação (como altas temperaturas, tempos longos de secagem) comprometem a qualidade sensorial (aparência, textura, cor e sabor) e nutricional do produto. Isso tem motivado a condução de estudos de processos alternativos que visam à manutenção da qualidade da fruta desidratada, em relação à textura, à aparência (como escurecimento ou perda de pigmentos) e à preservação de nutrientes (MASKAN, 2001; RAMESH et al., 2001; SHI et al., 1999).

O processo de secagem pode ser dividido em três fases:

Indução: período inicial da secagem, quando há variação da temperatura do produto até temperatura de bulbo úmido e, conseqüentemente, alteração da pressão de vapor do alimento.

Taxa constante: no qual a velocidade de evaporação de água da superfície do produto é constante, pois a superfície é mantida saturada. Isto depende das características do produto que determinam a capacidade de migração de água do interior para a superfície nas quantidades adequadas para a evaporação. Diversos autores têm citado a inexistência de taxa constante na secagem de frutas (NIETO et al., 2001; ALVAREZ et al., 1995). Entretanto, fatias de abóbora, hortaliça com elevado conteúdo de água, apresentaram períodos de taxa de secagem constante durante os 20 minutos iniciais de secagem, os quais foram determinados por meio de sistema de aquisição de dados para registro do peso a cada segundo, permitindo detectar o comportamento no início de secagem (MOLINA, 2011).

Taxa decrescente: a diminuição da umidade e, com isso, insuficiente migração de água para manter a superfície do produto saturada, promove o decaimento da velocidade de evaporação de água. Nesse período há a tendência da temperatura do alimento entrar em equilíbrio com a temperatura do ar. El-Aouar (2006), considera que este seja o único período relevante na secagem de produtos biológicos, visto que os outros períodos são muito curtos e que a resistência interna à migração de água é o maior limitante de todo o processo de secagem.

Há também indicativos de que, durante o processo de secagem convectiva, revestimentos exerçam efeito protetor em relação à oxidação de nutrientes, assim como contribuam para a melhoria dos atributos de aparência. As propriedades de permeabilidade de filmes e coberturas comestíveis a gases são de grande interesse para a definição da aplicação mais adequada. Filmes formados por hidrocolóides (proteínas, polissacarídeos), geralmente têm boas propriedades como barreira ao oxigênio, particularmente sob condições de baixa umidade (CUQ; et al., 1995).

3.7 Cor

A cor é uma das características observadas pelo sentido da visão ao fazer a análise sensorial dos alimentos. Além disso, ela também é um indicativo de alterações do alimento, já que diversas reações causam alteração da cor, como é o caso da reação de Maillard e a caramelização.

A luz é uma onda eletromagnética caracterizada pelo comprimento de onda, pela velocidade, influenciada pelo meio no qual é transmitida, e pela frequência. A cor é consequência da incidência de ondas eletromagnéticas de fontes luminosas, como é o caso da radiação solar que pertence à faixa espectral eletromagnética de 100 a 3000 nm de comprimento de onda, em materiais que causem reflexão da cor visível, na faixa entre 400 e 700 nm (Figura 1), posteriormente captada por órgãos de sentido ou equipamentos apropriados. A reflexão é causada quando o elétron libera energia ao retornar à níveis normais de energia, após ter sido excitado pela incidência de ondas eletromagnéticas de comprimentos de ondas correspondentes à dele (CECCHI, H. M., 1999; PARANÁ; 2001).

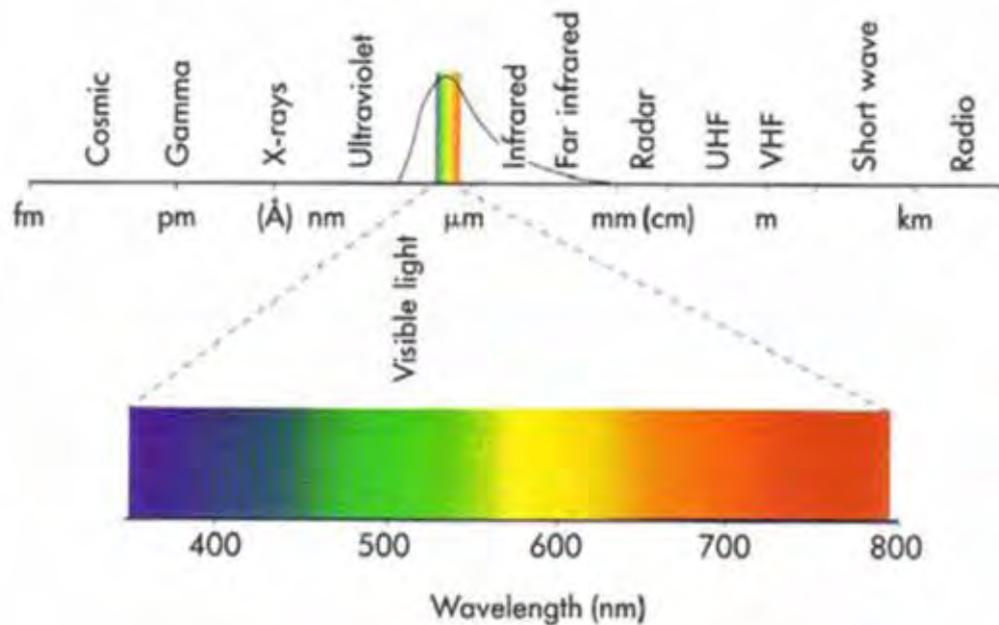


FIGURA 1: Espectro de ondas eletromagnéticas.

Posteriormente, a percepção da cor pelo corpo humano é feita nos olhos, mais especificamente por cones e bastonetes, que captam as cores e transmitem as imagens por impulsos nervosos para o cérebro, onde elas serão processadas. Portanto, além de ser uma grandeza física, a percepção de cor é influenciada por processos fisiológicos e psíquicos. Esses dois últimos parâmetros podem ser eliminados, quando a análise é feita por equipamentos como os espectrofotômetros ou colorímetros e sistemas de análise como o CIELAB ou o Hunter.

O sistema CIELAB é atualmente o mais utilizado, porque além de analisar o espaço cromático em coordenadas retangulares (L^* , a^* , b^*), define esse espaço também em coordenadas cilíndricas (L^* , h^* , C^*). L^* é a claridade e variando de 0 (escuro) e 100 (claro);. A intensidade das cores varia em a^* , do vermelho (valores positivos) ao verde (valores negativos), e em b^* , do amarelo (valores positivos) ao azul (valores negativos) (Figura 2). h^* representa o ângulo Hue e C^* , a cromaticidade.

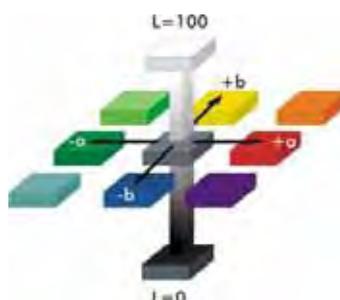


FIGURA 2:Caracterização do sistema de cores e claridade utilizado pelo CIELAB.

3.8 Isotermas

O estudo de processos de secagem e desenhos de secadores envolve o conhecimento dos gradientes de pressão de vapor de água na fase gasosa (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). A isoterma é usada para calcular a força motriz no processo de transferência de massa, bem como para avaliar a estabilidade do produto seco, com base em seu conteúdo de umidade residual (KIRANOUDIS et al., 1993). O conhecimento dos dados de isotermas de sorção de umidade, como uma função de duas ou mais temperaturas, é importante para a análise termodinâmica e modelagem da cinética de secagem (VEGA-GÁVEZ et al., 2007). O conhecimento das propriedades termodinâmicas também pode proporcionar informações quanto à microestrutura associada a um alimento, bem como permitir interpretações teóricas para o fenômeno físico que ocorre nas interfaces água-alimento (RIZVI, 1995). O termo atividade de água sugere equilíbrio termodinâmico. Entretanto, muitos sistemas alimentícios exibem histerese na sorção de água, indicando que o produto não está no equilíbrio (VAN DEN BERG et al., 1981).

A termodinâmica da sorção de água em alimentos desidratados também é importante segmento na engenharia de alimentos, pois proporciona maior nível de interpretação sobre as isotermas, estima o calor necessário para certos processos, além de permitir prever as condições ótimas de armazenamento que asseguram a máxima estabilidade dos produtos alimentícios (BERISTAIN et al., 1994). Parâmetros termodinâmicos como a entalpia e a entropia de sorção são necessários em conjunto para desenvolvimento de projetos e para o entendimento qualitativo do estado da água na superfície do alimento (RIZVI; BENADO, 1984).

López-Malo et al. (1997) constataram que isotermas de desorção e de adsorção de mamão osmoticamente tratado apresentam pouco efeito de histerese e que de mamão branqueado não apresentam nenhuma histerese. As isotermas do

material branqueado diferiram daquelas do mamão tratado osmoticamente, devido à composição de sólidos. Além disso, os autores reconhecem que a inversão dos açúcares do mesmo é considerável, inclusive no material branqueado, cujo tratamento deve ter sido insuficiente, resultando na composição de açúcares do mamão predominantemente de açúcares redutores. Sabe-se que a enzima invertase apresenta elevada atividade no mamão (CHAN; KWOK, 1975).

3.9 Calor Isostérico

Para análise e desenvolvimento de processos alimentícios como preservação, secagem, embalagem, estocagem e mistura de alimentos, é essencial conhecer o conteúdo de umidade de equilíbrio e o calor isostérico de desorção do alimento (KIRANOUDIS et al., 1993). O calor isostérico pode ser utilizado para determinar a energia requerida pelo processo de desidratação. Além disso, o conteúdo de umidade do material no qual o calor isostérico de sorção se aproxima do calor latente de vaporização de água no alimento é frequentemente utilizado como indicador da quantidade de “água ligada” existente no alimento (DUCKWORTH, 1972 apud KIRANOUDIS et al., 1993).

3.10 Teoria de compensação

A teoria isocinética, ou de compensação entalpia-entropia, é estudada em várias áreas como física, química, biologia e análises térmicas (LABUZA, 1980). Essa teoria pode ser útil para determinar o mecanismo de controle de adsorção das moléculas de água nos alimentos. Ela tem sido empregada com êxito em investigações de fenômenos físicos e químicos (BERISTAIN et al., 1994; MADAMBA et al., 1996), ainda que exista alguma controvérsia na literatura. Labuza (1980) descreveu problemas que podem ser encontrados ao aplicar o conceito de relação linear de compensação entalpia-entropia para alimentos que são sujeitos a reações como inativação de microrganismos, desnaturação de proteínas e degradação de ácido ascórbico. Entretanto, Lumry (2003) contradisse essa afirmação, apresentando a teoria linear para desnaturação de proteínas. Ferro-Fontan et al. (1982) também constataram a validade da relação linear entre entalpia e entropia de sorção de água para alimentos protéicos e amiláceos.

Variações da entalpia (ΔH) fornecem uma medida da variação da energia de um sistema durante um processo de sorção, sendo associadas com forças de ligação

($-\Delta H$) ou de repulsão($+\Delta H$) envolvidas nos mecanismos de sorção. Variações na energia entrópica (ΔS) podem definir graus de ordem ou desordem do sistema, sendo muito úteis na interpretação de processos como dissolução, cristalização ou inchamento, uma vez que essas variações podem ser associadas com rearranjos espaciais que ocorrem na interface água-alimento em um determinado estado. Finalmente, uma variação da energia de Gibbs, ΔG , pode indicar a afinidade do produto com a água, e servir como critério de espontaneidade ($-\Delta G$) ou não espontaneidade ($+\Delta G$) do processo de sorção da água (APOSTOLOPOULOS; GILBERT, 1990).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

4.1.1 Mamão

Mamões (*Carica papaya L.*), cultivar Formosa, compridos, foram adquiridos na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo, CEAGESP, de São José do Rio Preto-SP. Os mamões maduros foram armazenados por um período de no máximo 7 dias em câmara frigorífica à 5°C, enquanto os comprados sem o grau de maturação adequado ficaram expostos à temperatura ambiente até o amadurecimento.

A maturidade foi determinada visualmente, através da observação da cor da casca pelo analista, quando esta estava com coloração predominantemente amarela/alaranjada, com a polpa ainda firme, ao contato manual. O mamão utilizado pode ser classificado, quanto ao nível de maturação, no subgrupo 4, determinado pela Portaria nº 494, de 12 de setembro de 2002, da Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. As características do mamão para se enquadrar no estágio de maturação do subgrupo 4 são descritas da seguinte forma: fruto colorido, só com o pescoço verde, 3/4 maduro, 50 a 75 % da superfície do fruto amarelada.

4.1.2 Obtenção de amostras para secagens e análises

Após a seleção dos mamões, de forma aleatória, eles foram seccionados, no sentido longitudinal, obtendo duas metades, e as sementes retiradas. Posteriormente, cada uma das metades foi novamente cortada ao meio no mesmo sentido (Figura 3), obtendo 4 partes de cada mamão.



FIGURA 3: Corte longitudinal das frutas selecionadas para os experimentos.

Com o auxílio de um vazador, de diâmetro interno de 3,6 cm, de cada uma das partes cilindros foram obtidos pelo corte transversal ao sentido da polpa, ficando cada um dos cilindros, nesse primeiro momento, com a casca em uma das extremidades (Figura 4).



FIGURA 4: Corte seccional dos mamões utilizados nos experimentos.

Cilindros de mesma espessura foram obtidos com a utilização de guilhotina (Figura 5), confeccionada em acrílico e com guias em latão e alumínio, que possibilitou a retirada da casca e o posterior corte dos cilindros com uma espessura média de 0,9 cm. Os cilindros foram armazenados por no máximo uma hora em temperatura ambiente em sacos plásticos, com o intuito de minimizar a exposição das fatias ao ar bem como de misturá-las para proceder às retiradas aleatórias de amostras (Figura 6).



FIGURA 5: Corte das fatias de mamões na espessura de 0,9 cm.



FIGURA 6: Armazenamento das amostras de frutas para utilização nos experimentos.

4.2 Cobertura

Pectina amidada GRINDSTED[®] LA 210 (grau de metoxilação de 0,34; amidada em grau de 0.17) da Danisco – Brasil e de grau alimentício foi utilizada como cobertura comestível para as amostras em solução aquosa de 2 % (p/p). A pectina foi misturada a água deionizada à temperatura ambiente, em béquer de vidro de 2 litros e em seguida a solução foi colocada em placa de aquecimento até atingir 70 °C. Posteriormente, a solução foi resfriada a 40 °C e transferida para um recipiente de alumínio, disposto em um banho termostático a 40 °C (Figura 7.b), que permitiu a manutenção da temperatura e a aplicação da cobertura nas amostras. Para a aplicação das coberturas comestíveis, foram imersos, no recipiente, cestos retangulares de arame revestido com material plástico, com divisões, possibilitando a disposição das amostras de forma individual em cada uma das repartições do cesto (Figura 7.a). O espaçamento entre os fios foi de 1 cm, para que não houvesse muitos pontos de contato entre amostra e cesto. As amostras de mamão permaneciam imersas por 1 minuto, com agitação constante, dentro da solução de pectina (Figura 7.c). Após o tempo de imersão, o cesto contendo as amostras foi retirado para proceder à gelificação da pectina (Figura 7.d). A gelificação da cobertura foi feita pela imersão, durante 30 segundos com agitação constante, dos cestos com as amostras em solução aquosa de lactato de cálcio a 2,8 % (p/p).

Algumas coberturas foram adicionadas de outros ingredientes, ácido L-ascórbico ou albumina. A massa de aditivos foi descontada da massa de água deionizada da solução de pectina, para que o polissacarídeo permanecesse a 2 % (p/p) em relação à solução. O ácido ascórbico, da Vallens[®] - Brasil, foi adicionado quando a solução de pectina estava a 40°C, na proporção de 1 % (p/p).

A adição da albumina, albumina comercial da M.System[®]- Brasil, foi feita juntamente com a adição de pectina, na mesma proporção de 2 % (p/p). Em seguida, os procedimentos aplicados à solução de pectina pura, desde o aquecimento, posterior resfriamento e enchimento do recipiente utilizado para a aplicação, foram repetidos para a aplicação da cobertura com albumina.

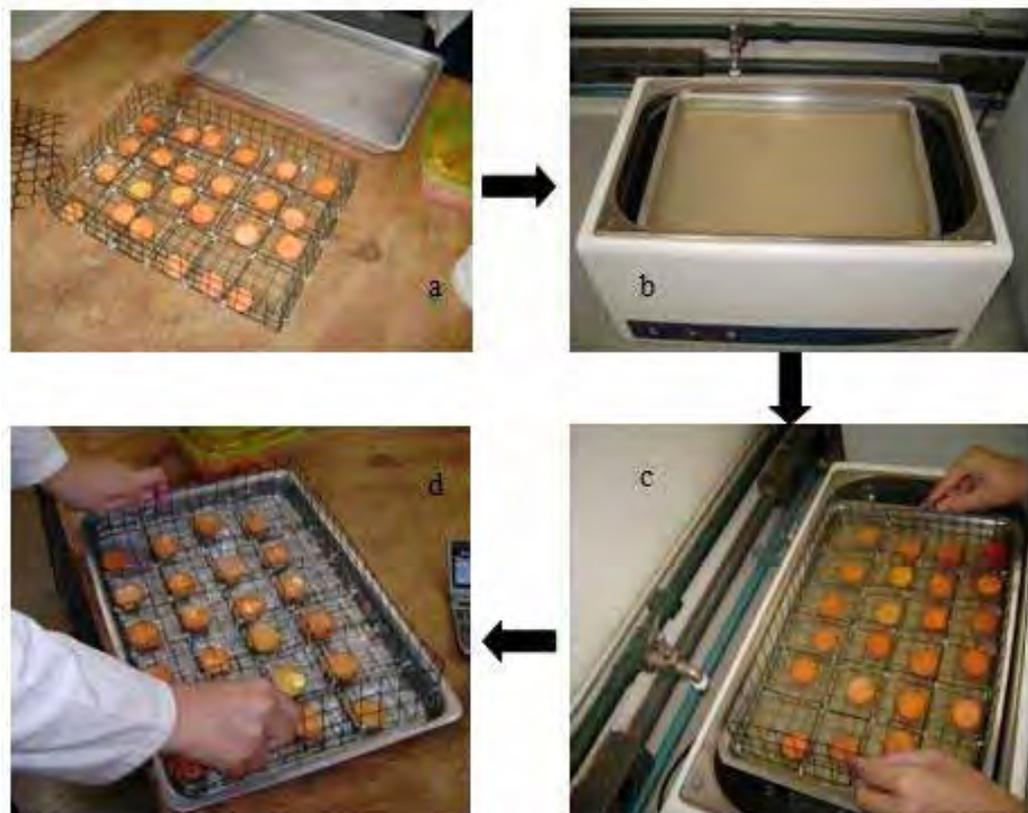


FIGURA 7: Fotos do processo de adição de cobertura comestível à base de pectina e gelificada ionicamente em mamão. a) Amostras dispostas em cesto para aplicação; b) solução de pectina em banho termostático; c) adição da pectina a amostra de mamão; e d) gelificação iônica da cobertura por imersão em solução de lactato de cálcio.

4.3 Secagem

4.3.1 Secador

Os experimentos de secagem foram conduzidos em secador de leito fixo com convecção forçada de ar aquecido (Figura 8), equipado com um ventilador centrífugo (motor de 1.5 CV), velocidade do ar controlada por um inversor de frequência (WEG, CWF10 - Brasil) conectado ao motor do ventilador. O ar foi aquecido com

resistências elétricas. Um controlador digital micro-processado (Novus, model N440 - Brazil) com um termopar tipo J foi usado para controlar a temperatura do ar. A câmara de secagem tinha uma área seccional de $13,86 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, e o fluxo de ar incidia paralelamente às amostras, dispostas sobre três bandejas de metal construídas em tela. Um anemômetro de fio quente foi utilizado para determinar a velocidade média do ar dentro da câmara de secagem.

Quatro sensores tipo PT100 e um sensor de umidade (ImPac[®], DO9861T-R1 - Italian) foram conectados a um sistema de aquisição de dados (ImPac[®]) para transmissão dos dados a um computador, onde temperatura e umidade relativa foram registrados ao longo do tempo num programa compatível com planilhas eletrônicas Excel da Microsoft.

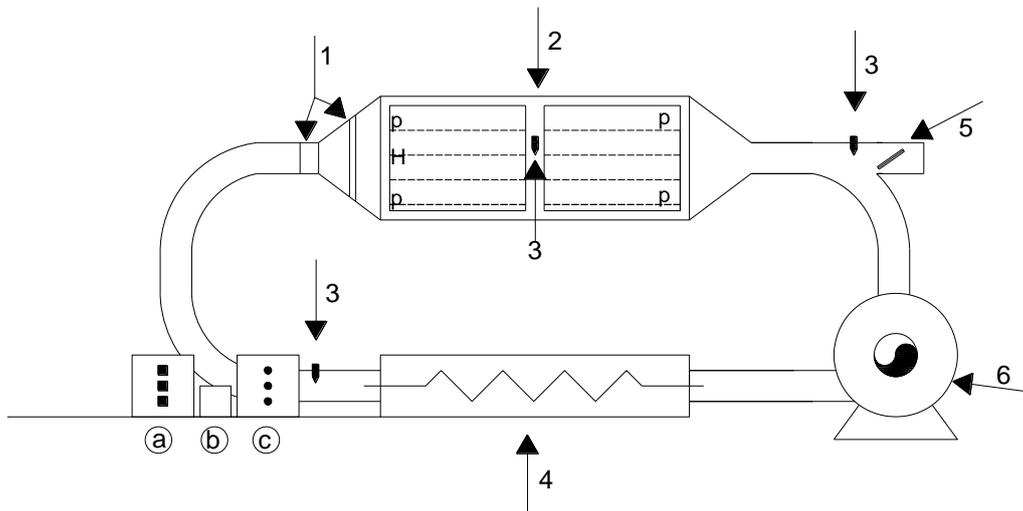


FIGURA 8: Esquema do secador tipo piloto utilizado durante os experimentos; 1) Difusores de ar; 2) Câmara de Secagem; 3) Termopares; 4) Resistência Elétrica; 5) Válvula para controle do reaproveitamento do ar; 6) Ventilador/Soprador centrífugo; a) Painel de controle da temperatura ligado aos termopares e às chaves resistências; b) Inversor de frequência; c) Chave das resistências e chave geral; p) posição dos pt100; e H) posição do higrômetro.

4.3.2 Procedimento

Fatias de mamão, sem e com cobertura de pectina, pectina adicionada de vitamina C e pectina adicionada de albumina foram secas a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ e $70 \text{ }^\circ\text{C}$ com ar a $1,0 \text{ m/s}$ até aproximadamente 10 % de umidade (base úmida). Em cada batelada de experimento as amostras frescas ou pré-tratadas foram dispostas nas bandejas de

30 x 30 cm, previamente pesadas e identificadas, sendo que o número máximo de amostras por bandeja foi 25. Amostragens para determinação de umidade, vitamina C e cor foram realizadas imediatamente antes do início da secagem. As secagens foram conduzidas com no mínimo 60 fatias, 20 em cada bandeja.

Quatro experimentos foram realizados a cada temperatura e para cada tratamento, totalizando 32 experimentos. As amostras foram pesadas a cada 30 minutos, quando era feita a rotação da bandeja e a mudança de posição dentro do secador, até as amostras atingirem umidade aproximada de 10% (base úmida).

4.4 Modelos matemáticos de secagem

A cinética de secagem foi descrita pelo modelo de difusão, considerando somente o período de secagem decrescente, uma vez que período de taxa constante na secagem de frutas e hortaliças, em geral, é proporcionalmente muito pequeno.

4.4.1 Placa Plana

Quando as amostras são consideradas placas planas de área muito maior que a espessura, a segunda lei de Fick é dada segundo a equação (1):

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 \rho_w}{\partial z^2} \quad (1)$$

onde D_{ef} é a difusividade efetiva, ρ_w é a concentração mássica de água, t é o tempo e z caracteriza o eixo da espessura analisada, ou direção prioritária.

A equação 1 sujeita às seguintes condições de contorno, para $-L \leq z \leq L$

$$t \leq 0, \quad \rho_w = \rho_{w,0} \quad (2)$$

$$t > 0, \quad z = 0, \quad \left. \frac{\partial \rho_w}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \quad (3)$$

$$t > 0, \quad z = L, \quad \rho_w = \rho_{w,sup} \quad (4)$$

onde $\rho_{w,0}$ é a concentração mássica de água no instante zero ($t \leq 0$) e $\rho_{w,sup}$ a concentração mássica de água na superfície.

A equação (1), numa forma aproximada que assume concentração de sólidos constante, pode ser reescrita em termos de fração mássica em base seca, mediante a substituição de

$$\rho_w = \rho_s X_w \quad (5)$$

onde ρ_s é a concentração mássica de sólidos e X_w é a fração mássica da água em base seca.

O resultado é dado pela equação (6)

$$\frac{\partial X_w}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X_w}{\partial z^2} \quad (6)$$

Uma vez que a hipótese de concentração de sólidos constante, durante o processo, se desvia bastante da realidade quando se trata de secagem de materiais muito úmidos e altamente deformáveis, a equação (6) é um modelo aproximado, porém amplamente utilizado para avaliar a cinética de secagem. A difusividade é considerada uma constante no modelo, entretanto, ela é função da concentração e da temperatura. Portanto, o coeficiente de difusão é um coeficiente efetivo, pois, além de ser médio com a temperatura e a concentração, engloba a deformação, a tortuosidade e a porosidade do meio.

Os coeficientes de difusão foram calculados segundo solução analítica da equação de difusão para placa, equação (6), integrada, considerando a espessura inicial das fatias. O acréscimo de cobertura sobre a fatia foi desconsiderado na espessura. A solução analítica da equação (6) para placas planas infinitas, integrada ao longo da espessura é dada por Crank (1975):

$$\frac{\bar{X}_{w,t} - X_{w,sup}}{X_{w,0} - X_{w,sup}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4h^2}\right] \quad (7)$$

em que h é a espessura inicial da amostra, $X_{w,0}$ é a fração mássica da água no instante zero; $X_{w,sup}$ é a fração mássica da água na superfície; e $\bar{X}_{w,t}$ a fração

mássica de água média no tempo após início da secagem. A relação $MR = \left(\frac{\bar{X}_{w,t} - X_{w,sup}}{X_{w,0} - X_{w,sup}} \right)$ representa a umidade média residual.

4.4.2 Cilindro Finito

Quando a amostra é considerada cilindro finito e a espessura ($z = 2L$) e o diâmetro ($d = 2R$) são comparáveis, então, pode-se considerar que a transferência de massa ocorre por duas direções, z e r , de forma significativa. Dessa forma a equação (8) representa a segunda lei de Fick para cilindro finito:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \rho_w}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \rho_w}{\partial z^2} = \frac{1}{D_{ef}} \frac{\partial \rho_w}{\partial t} \quad (8)$$

onde D_{ef} é a difusividade efetiva, ρ_w = concentração mássica de água, t é o tempo e r e z caracterizam os eixos das espessuras analisadas, ou direção prioritária.

Através das condições iniciais para a placa plana infinita com $-L \leq z \leq L$,

$$t \leq 0, \rho_{(z,t)} = \rho_{w,0} \quad (9)$$

$$t > 0, x = 0, \left. \frac{\partial \rho}{\partial z} \right| = 0$$

(10)

$$t > 0, z = L, \rho_{(z,t)} = \rho_{sup} \quad (11)$$

somadas às condições para o cilindro, $0 \leq r \leq R$,

$$t \leq 0, \rho_{(r,t)} = \rho_{w,0} \quad (12)$$

$$t > 0, r = 0, \left. \frac{\partial \rho}{\partial r} \right| = 0 \quad (13)$$

$$t > 0, r = R, \rho_{(r,t)} = \rho_{sup} \quad (14)$$

Uma solução aproximada pode ser obtida pelo método de separação de variáveis, chegando ao resultado apresentado na equação (15) (TREYBAL, 1980)

$$\frac{\bar{\rho}_t - \rho_{sup}}{\rho_0 - \rho_{sup}} = \frac{\bar{\rho}_{(z,t)} - \rho_{sup}}{\rho_0 - \rho_{sup}} \Big|_{\substack{\text{placa} \\ \text{plana}}} \cdot \frac{\bar{\rho}_{(r,t)} - \rho_{sup}}{\rho_0 - \rho_{sup}} \Big|_{\substack{\text{cilindro} \\ \text{infinito}}} \quad (15)$$

onde $\rho_{(z,r,t)}$ é a concentração de água em uma determinada posição do espaço gerado por z e r no tempo; $\rho_{(z,t)}$ é a concentração de umidade em uma posição z no tempo; $\rho_{(r,t)}$ é a concentração de umidade em uma posição r no tempo; ρ_{sup} é a concentração de umidade no equilíbrio nas condições do processo; e ρ_0 é a concentração de umidade inicial do produto.

Portanto, uma solução considerando duas dimensões, pode ser expressa pelo produto das equações que consideram uma única dimensão, neste caso, pela solução para placa plana infinita com $2L$ de espessura e cilindro infinito com diâmetro $2R$. Assumindo valores médios de concentração de água no produto, é possível chegar à equação (16) reescrevendo a equação (15) para fração mássica de água em base seca, desde que feita a mudança antes da integração, assim como para placa plana:

$$\frac{\bar{X}_t - X_{sup}}{X_0 - X_{sup}} = \frac{\bar{X}_t - X_{sup}}{X_0 - X_{sup}} \Big|_{\substack{\text{placa} \\ \text{plana}}} \cdot \frac{\bar{X}_t - X_{sup}}{X_0 - X_{sup}} \Big|_{\substack{\text{cilindro} \\ \text{infinito}}} \quad (16)$$

onde $\bar{X}_{(t)}$ é a umidade em base seca média no produto em um determinado período de tempo, X_{sup} é a umidade no equilíbrio e X_0 é a umidade do produto no tempo 0, umidade inicial.

De posse das soluções integradas determinadas por Crank (1975) para placa plana e cilindro infinito, é possível reescrever a equação (16)

$$\frac{\bar{X}_t - X_{sup}}{X_0 - X_{sup}} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \exp \left[-\frac{(2n-1)\pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{4 \cdot h^2} \right] \right\} \cdot 2 \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\gamma_n^2} \exp \left[-\left(\frac{\gamma_n}{R} \right)^2 \cdot D_{ef} \cdot t \right] \right\} \quad (17)$$

onde D_{ef} é a difusividade efetiva (m^2/s), t é o tempo em segundos, γ_n é a n -ésima raiz de Bessel de primeiro tipo e ordem zero ($J_0(\gamma_n)=0$), h é a espessura inicial ($2L$) do cilindro em metros e R' é o raio inicial do cilindro em metros.

Modelos de cinética de secagem semi-teóricos também foram avaliados utilizando-se os modelos de Newton (eq. 18), Page (eq. 19) e Henderson & Pabis (eq. 20) (ERTEKIN; YALDIZ, 2004).

$$\frac{\bar{X}_t - X_{sup}}{X_0 - X_{sup}} = \exp(-k't) \quad (18)$$

$$\frac{\bar{X}_t - X_{sup}}{X_0 - X_{sup}} = \exp(-k't^{n'}) \quad (19)$$

$$\frac{\bar{X}_t - X_{sup}}{X_0 - X_{sup}} = a' \times \exp(-k't) \quad (20)$$

onde k' é a constante de secagem, a' e n' são constantes adimensionais. A dimensão da constante de secagem é em s^{-1} para a equação de Newton e Henderson & Pabis e s^{-n} para a equação de Page.

Para determinação das constantes de ajuste das equações foram utilizados dois softwares estatísticos o ORIGIN v. 6.0 (MICROCAL SOFTWARE, 1999) e o STATISTICA® 7 (STATSOFT, INC., 2004) que ajustam funções não lineares.

4.5 Análises das amostras

Foram realizados ensaios de secagem com dois níveis de temperatura, $60^\circ C$ e $70^\circ C$, e quatro tratamentos, isto é, amostras sem cobertura, com cobertura de pectina, cobertura de pectina adicionada de vitamina C e pectina adicionada de albumina. Cada secagem teve quatro repetições, totalizando 32 ensaios de secagem. Como apresentado na Figura 9, em cada ensaio de secagem as amostras foram analisadas sem cobertura, após a adição de cobertura (quando pertinente), logo após a secagem e durante o armazenamento, em períodos de 3, 9 e 30 dias. Ao final da secagem, as amostras eram aleatoriamente divididas em 4 porções de mesmo tamanho. Uma das porções era utilizada para as análises pós-secagem e as outras três eram embaladas com a identificação do dia da secagem. A embalagem dos produtos desidratados foi feita em sacos plásticos vedados, separadamente

para cada dia em que a amostra seria analisada, que foram armazenados em ambiente escuro e fresco. Após o período determinado, as embalagens eram abertas e o produto imediatamente analisado quanto à cor, umidade e vitamina C.

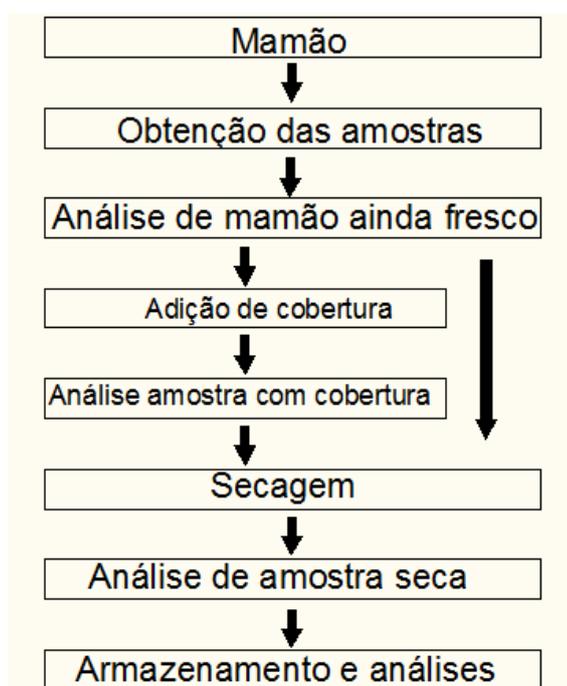


FIGURA 9: Esquema geral simplificado de processo de mamão com ou sem cobertura para secagem, armazenamento e análises de cor, vitamina C e umidade.

4.6 Cor

A cor foi medida em espectrofotômetro de bancada modelo ColorFlex45/0 (Hunterlab, Estados Unidos), utilizando o software Universal versão 4.10 com as configurações iluminante D65 e observador a 10°. Os valores absolutos das coordenadas L^* (*lightness-claridade*), a^* (*redness-avermelhado*) e b^* (*yellowness-amarelado*) foram obtidos.

Como não existe uma metodologia padrão para análise de cor em equipamentos como o Hunterlab, a metodologia proposta teve que ser testada. Isto acarretou em maior número de amostras analisadas no início que ao final do processo. Dessa forma, a variação do espaço amostral utilizado nas análises de cor entre 8 a 40 amostras de mamão. Estas amostras foram acomodadas em um copo de vidro e a análise feita para cada fatia utilizando um adaptador próprio de orifício, que possibilitou reduzir o espaço de análise do espectrofotômetro para um tamanho menor que o das amostras, impedindo a existência de espaços vazios. O copo de

vidro foi tampado com uma tampa própria, que promove fundo branco à análise do espectrofotômetro, e tudo protegido por um copo plástico preto para a leitura da cor. As análises da cor foram realizadas em dois dos quatro ensaios de secagem para cada tratamento.

O mamão fresco foi cortado em cilindros de 3,6 cm de diâmetro e 0,9 cm de espessura. As análises foram feitas, inicialmente, com 10 amostras frescas e analisadas 1 vez cada uma. Da mesma forma foram analisadas as amostras pré-tratadas. Durante a secagem, as superfícies das amostras ficavam expostas à troca térmica e mássica, no entanto, a superfície inferior, que estava sobre uma tela de aço inoxidável, poderia apresentar uma proteção maior ao contato direto do fluxo de ar responsável pelos fenômenos de troca mássica. Com isso, foi decidido analisar os dois lados das amostras para observar se existia ou não diferença de coloração entre as superfícies pós-secagem. Para a análise pós-secagem foram selecionadas 10 amostras e cada uma foi analisada dos dois lados. Para o posterior processamento dos dados a superfície inferior foi denominada A e a superior B.

Análises preliminares foram feitas e não foi observada diferença significativa entre a superfície inferior e superior. Dessa forma todos os valores foram incorporados à base de dados de resultados obtidos para amostras secas. Além disso, as amostragens foram menores nos outros experimentos, mas eram feitas análises da parte superior e inferior das amostras de forma igualitária e aleatória.

As amostragens posteriores foram menores porque o número de amostra das porções armazenadas era reduzido e por ser perceptível o baixo desvio, mesmo que as amostras apresentem colorações visualmente muito diferentes.

Através das coordenadas a^* e b^* é possível calcular a cromaticidade, ou croma, e o ângulo Hue. A equação (21) calcula o croma, que caracteriza a vivacidade da cor da amostra analisada, isto é, quanto maior o valor do croma maior a vivacidade da cor, enquanto a equação (22) determina o ângulo Hue, que, no caso do mamão, apresenta valores entre 0° , cor vermelha, e 90° , cor amarela.

$$Croma = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (21)$$

$$Hue = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (22)$$

Os parâmetros a^* e b^* unidos ao parâmetro L^* podem ser utilizados para a determinação do ΔE , equação (23).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (23)$$

4.7 Umidade

Para a determinação de umidade utilizou-se o método gravimétrico. As amostras frescas, com e sem cobertura foram homogeneizadas em processador e as amostras secas trituradas com auxílio de um mixer. A seguir, foram pesados aproximadamente 3 gramas em pesa-filtro, com tampa, e secados em estufa a vácuo a 60°C, 10 kPa de pressão, até peso constante. A análise foi realizada em triplicata.

4.8 Vitamina C

Para a determinação do teor de vitamina C foi utilizado o método padrão da AOAC (1984), modificado por Benassi e Antunes (1988). As análises dessa vitamina foram realizadas imediatamente após o processo. Amostras de 12,5 g de mamão, nas condições anteriores à secagem (com ou sem cobertura), ou quantitativamente hidratados após a secagem, foram homogeneizadas com 25 mL de solução extratora (ácido oxálico 2 % m/v) em homogeneizador Turrtec (Tecnal, modelo TE-102, Brasil) por 1 minuto. Uma alíquota de 20 g foi tomada e diluída para 50 ml em balão volumétrico com solução de ácido oxálico 2 % (m/v). A solução foi filtrada a vácuo e duas alíquotas de 10 mL do filtrado foram transferidas para dois Erlenmeyers, 10 mL em cada, e tituladas com solução de 2,6-diclorofenolindofenol a 0,01 %, sendo o ponto de viragem a mudança de coloração para rosa.

A retenção da vitamina C ao longo do processo e durante o armazenamento foi calculada levando em consideração o peso da amostra antes (inicial) e após (final) a análise, de acordo com Murphy, Criner e Gray (1975), equação (24).

$$\text{Ret}(\%) = \frac{Vit_f}{Vit_i} \frac{M_f}{M_i} \times 100 \quad (24)$$

onde Ret é a retenção da vitamina C durante o processo, Vit_f é o conteúdo final de vitamina C nas amostras, após o processo, e Vit_i é o conteúdo inicial de vitamina C nas amostras, antes do processo, ambos em miligramas de vitamina C por 100gramas de amostra. A M_f representa a massa de amostras após o processo e M_i , a massa inicial de amostras, antes do processo, ambas as massas em gramas.

4.9 Análise Sensorial

A validação ética da análise sensorial foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (pareceres n. 034/12 e 035/12). O experimento foi feito no laboratório de análise sensorial do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos do mesmo instituto.

Dois tratamentos em relação à retenção de vitamina C foram selecionados para serem testados sensorialmente nas duas temperaturas de secagem. Os produtos selecionados foram avaliados sensorialmente por uma equipe de 50 provadores maiores de 18 anos não treinados, de saúde alegada perfeita. Os provadores foram encaminhados a cabines individuais com luzes fluorescentes acesas, onde primeiramente responderam um questionário sobre hábitos de consumo para avaliar a frequência de consumo e o quanto gosta de produtos com apelo saudável, ambas analisadas através de escala hedônica de 7 pontos. Esse questionário também apresentava uma questão sobre qual fator o provador acredita influenciá-lo ao escolher um produto com apelo saudável para o consumo, contendo 5 respostas previamente determinadas. Em seguida, os provadores receberam as 4 amostras, isoladamente e servidas em prato branco, e responderam a teste de afetividade quanto aceitação global, aparência, cor, textura, aroma e sabor e atitude de compra e opinaram utilizando escala hedônica de 9 pontos, na qual o valor 1 equivale a desgostei extremamente e 9 a gostei extremamente (MEILGAARD et al., 1999).

4.10 Isotermas

A construção das curvas de isotermas foi baseada no método estático gravimétrico proposto por Jowitt et al. (1987). Amostras de 2 a 5 gramas, frescas ou desidratadas, foram pesadas em cápsulas de plástico, em triplicata, e expostas a

umidades relativas controladas, obtidas com o uso soluções salinas saturadas correspondentes à faixa de atividade de vapor de água de 0,04 a 0,90. Os sais utilizados foram NaOH, LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaNO₂, NaCl, KCl e BaCl₂. As cápsulas foram dispostas sobre estruturas em acrílico, de maneira a ficarem acima da solução salina. Formol comercial (40 %) foi utilizado para limpeza dos recipientes e das estruturas em acrílico para evitar a presença de contaminantes, em especial fungos. Os frascos foram fechados hermeticamente e acondicionados em estufas com temperaturas de 30 °C, 50 °C e 70 °C. Pesagens periódicas das cápsulas foram realizadas até as amostras entrarem em equilíbrio com o ambiente, cujo critério se baseou na variação do peso que, expresso em base seca, não deveria exceder 0,1 % (0,001 g/g sólidos secos) em um período de 72 horas. Sólidos totais foram analisados após as amostras atingirem equilíbrio.

4.10.1 Modelos matemáticos de isotermas

Para a descrição matemática das isotermas de sorção de materiais biológicos, diversos modelos, empíricos, semi-empíricos e teóricos, têm sido reportados na literatura (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). Boquet et al. (1978), ao avaliarem oito equações de dois parâmetros, encontraram os modelos de Halsey e Oswin como sendo os mais versáteis. Dentre os modelos de multicamada, o modelo de BET destaca-se pelo significado físico de seus parâmetros, pela simplicidade e ao mesmo tempo pela valiosa descrição do processo de sorção e pela habilidade de ajustar todas as isotermas de sorção sigmoidais até a_w 0,4 (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). O modelo da GAB, uma derivação do modelo de BET, é muito utilizado para alimentos. O modelo de Peleg, também muito utilizado com alimentos, apresenta 4 parâmetros. Os modelos matemáticos utilizados neste trabalho estão apresentados na Tabela (1).

Tabela 1: Modelos matemáticos de isotermas de sorção.

Modelo	Equação
BET	$X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)} \quad (25)$
Halsey	$X = \left[\frac{-a}{\ln(a_w)} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (26)$
Oswin	$X = a \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b \quad (27)$
Peleg	$X = a (a_w)^b + c (a_w)^d \quad (28)$
GAB	$X = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w)(1 + (C - 1)k \cdot a_w)} \quad (29)$

4.11 Calor Isostérico

O calor isostérico líquido de sorção, q_{st} , também referido como entalpia molar de sorção, é um parâmetro termodinâmico obtido dos dados de equilíbrio de sorção e representa a discrepância entre o calor total de sorção do sistema (Q_{st}) e o calor de vaporização da água pura (λ) na mesma temperatura do sistema. Isso pode ser determinado a partir da equação (29), que é derivada da equação de Clausius-Clapeyron, aplicada ao sistema e à água pura (RIZVI, 1995),

$$\left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial (1/T)} \right|_X = -\frac{Q_{st} - \lambda}{R} = -\frac{q_{st}}{R} \quad (30)$$

onde Q_{st} é o calor isostérico de sorção, R é a constante universal dos gases, T é a temperatura absoluta, λ é o entalpia de vaporização de água pura e q_{st} é a quantidade de calor isostérico líquido de sorção ou entalpia de sorção.

O uso da equação de Clausius-Clapeyron implica que o conteúdo de umidade do sistema considerado permanece constante e que a entalpia de vaporização de água pura não muda com a temperatura. Como apontado por Rizvi (1995), no caso de sistemas biológicos, extrapolação para altas temperaturas invalidaria essas

considerações, devido a mudanças irreversíveis e transformação de fases que invariavelmente acontecem a elevadas temperaturas (RIZVI, 1995).

Uma relação empírica entre a quantidade de calor isostérico líquido de sorção q_{st} e o conteúdo de umidade (X_{eq} , kg água/kg base seca) foi proposto por Tsami et al. (1990),

$$q_{st} = q_0 \exp(-X / X_0) \quad (31)$$

em que $q_0 = q_{st}$ em $X = 0$ e, para $X = X_0$ então $q_{st} = 0.368q_0$. A constante X_0 (kg água/kg base seca) é umidade característica nos materiais quando a quantidade de calor isostérico de sorção q_{st} é reduzida a 36,8% de q_0 . A quantidade de calor isostérico de sorção é muito pequena em umidades muito altas.

A energia livre necessária para transferir um mol de água do estado vapor para o estado adsorvido, ΔG , é calculada da a partir da equação (32) de Gibbs (RIZVI, 1995),

$$\Delta G = RT \ln a_w \quad (32)$$

A variação de entropia molar, ΔS , que ocorre durante a adsorção, pode ser calculada a partir da equação (33) de Gibbs-Helmoltz (RIZVI, 1995),

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \quad (33)$$

onde ΔH representa a variação de entalpia molar.

Substituindo a equação (32) na (33), o resultado será:

$$\ln a_w = \frac{\Delta H}{RT} - \frac{\Delta S}{R} \quad (34)$$

Com isso, o calor isostérico líquido de sorção e a entropia podem ser calculados a partir da equação (34) pelo desenho de um gráfico de $\ln a_w$ por $1/T$, onde

o coeficiente angular assume o valor de $-\Delta H/R$ e o coeficiente linear o valor de $\Delta S/R$.

4.12 Teoria de compensação

Quando a entalpia e a entropia forem independentes da temperatura, a relação entre ΔH e ΔS , valores obtidos pela equação (34), pode ser definida por uma relação linear segundo a equação (35) (LEFFER, 1955):

$$\Delta H = T_B \Delta S + \Delta G_B \quad (35)$$

onde a inclinação T_B é chamada de temperatura isocinética. Isso significa que o efeito de variações estruturais em um composto químico ou variações em solventes, sobre as energias livres, afetará igualmente a entalpia e a entropia.

Desde que haja uma correlação linear verdadeira entre entalpia e entropia, o que não é trivial, uma vez que a propagação dos erros experimentais podem mascarar a estimativa (KRUG et al, 1976a, 1976b), a teoria de compensação pode ser considerada válida para a sorção (MADAMBA et al., 1996; TELIS et al., 2004).

Em função disso, Krug et al. (1976a; 1976b) recomenda determinar os desvios padrão do ajuste, porque os coeficientes de correlação linear geralmente são próximos da unidade, já que a faixa de variação das variáveis independentes (inverso das temperaturas experimentais) é pequena. Para testar a efetividade da teoria de compensação, aplica-se a prova de Krug et al (1976b) para determinar se a temperatura isocinética (T_B) é diferente da temperatura harmônica (T_{hm}), que é definida na equação (36)

$$\Delta T_{hm} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (1/T)} \quad (36)$$

Para determinar o desvio padrão, num intervalo de confiança com $\alpha = 5\%$, faz-se

$$T_B = T_B \pm t_{m-2, \alpha/2} \sqrt{V(T_B)} \quad (37)$$

sendo que

$$T_B = \frac{\sum(\Delta H - \overline{\Delta H})(\Delta S - \overline{\Delta S})}{\sum(\Delta S - \overline{\Delta S})^2} \quad (38)$$

$$V(T_B) = \frac{\sum(\Delta H - \overline{\Delta G}_B - T_B \Delta S)^2}{(m-2)\sum(\Delta S - \overline{\Delta S})^2} \quad (39)$$

onde m é o número de pares de entalpia-entropia, $\overline{\Delta H}$ é a entalpia média, $\overline{\Delta S}$ a entropia média e $\overline{\Delta G}$ é a variação da energia de Gibbs.

Se T_{hm} estiver dentro do intervalo estimado pela equação (37), a hipótese nula de que a linearidade é resultado da propagação dos erros experimentais não deve ser rejeitada ao nível de significância α .

Para determinar o mecanismo de controle de adsorção das moléculas de água sobre o alimento, utiliza-se o critério de Leffler (1955) que estabelece que se $T_B > T_{hm}$, o processo é controlado de forma entálpica e, caso contrário, $T_B < T_{hm}$, o processo é controlado entropicamente.

4.13 Encolhimento

Com o intuito de modelar mais eficientemente a secagem foi determinado o encolhimento em duas direções da amostra, espessura e área superficial. As secagens desenvolvidas para a determinação do encolhimento das amostras foram executadas de maneira mais próxima possível das secagens anteriores, nas quais foram estudadas retenção de vitamina C e de cor, além da cinética de secagem. Para este experimento eram necessárias menos amostras. Com isso, secagens foram feitas utilizando três bandejas com cinco amostras cada uma em temperaturas de 60 °C e 70 °C. As amostras foram preparadas da mesma forma que aquelas utilizadas nas outras secagens, seguindo os passos do item (4.1.2). Os experimentos foram conduzidos apenas com amostras sem cobertura.

A determinação prática de encolhimento da espessura foi feita por medidas com micrômetro digital, Mitutoyo Corporation® (0-25 mm \pm 0,01 mm), em todas as

amostras de cada bandeja, antes e depois da secagem. O encolhimento da área superficial das amostras foi determinado através de fotos tiradas antes e depois das secagens. Para a obtenção das imagens foi utilizada uma câmara construída especialmente para a análise de cor em produtos através de fotos, Figura 10. As imagens foram rigorosamente obtidas com a câmara disposta sempre na mesma altura, com os mesmos ajustes óticos na câmara e mesma luminosidade. As fotos foram tiradas com 12,1 mega pixels de resolução, sem zoom e com flash automático ativado, embora a cabine dispusesse de iluminação própria.

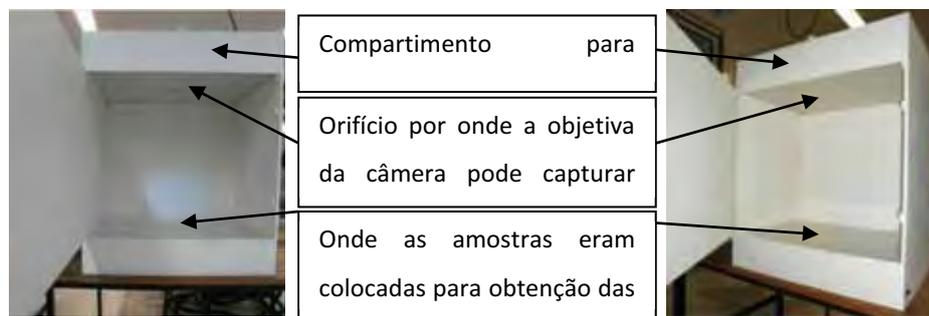


FIGURA 10: Fotos da câmara construída para determinação de cor de amostras.

Uma imagem de cada uma das 3 bandejas em cada experimento foi obtida antes e depois das secagens a 60 °C e a 70 °C para amostras sem pré-tratamento. Através das imagens obtidas antes e depois das secagens, Figura 11, foram testadas duas formas de análise. Em uma delas, utilizou-se algoritmo em linguagem Matlab[®], que determina o percentual de pixels pretos em imagem, enquanto que em outra foi utilizado o AutoCAD[®].



FIGURA 11:As fotografias são imagens de uma mesma bandeja com amostras de mamão antes, a), e depois, b), da secagem a 70 °C.

Para a utilização do algoritmo linguagem Matlab[®], foi necessária a conversão da imagem colorida para preto e branco utilizando o software livre ImageJ[®] (<http://rsbweb.nih.gov/ij>). Como essa alteração foi feita de forma manual e levava em conta a capacidade do analista, cada imagem foi convertida 3 vezes, de colorido para preto e branco, com o intuito de determinar também o erro do analista. A análise em triplicata de cada foto gerou um total de 36 imagens analisadas pelo algoritmo. A conversão da imagem utilizando o ImageJ[®] está descrita no Anexo(1).

O encolhimento das amostras também foi determinado com o auxílio de software para desenvolvimento de projeto arquitetônico e mecânico chamado AutoCAD[®] 2010. Com as fotografias e utilizando a capacidade de desenhos precisos do software foi possível circular a área das amostras nas fotografias e determinar a razão de encolhimento das áreas superficiais.

$$S_a = 1 - \frac{\text{Área final}}{\text{Área inicial}} \quad (40)$$

onde S_a é a razão do encolhimento e o tamanho final da área superficial torna-se determinável. De posse das porcentagens de encolhimento das áreas superficiais foi possível estimar um diâmetro geométrico, considerando que as amostras após serem secas permanecem circulares e, dessa forma, encontrar o encolhimento pelos métodos do algoritmo e do AutoCAD[®].

Além do encolhimento determinado experimentalmente, também foi obtido o encolhimento teórico. Esse encolhimento teórico é calculado com base na redução do volume de água do produto durante a secagem (DISSA et al., 2008). Com isso, o volume de água que sai do produto é igual à redução de volume da amostra. Nessa consideração é esperada uma redução proporcional de cada uma das dimensões do sólido igual à raiz cúbica da porcentagem de redução de volume do produto final em relação ao volume do produto inicial. A equação (41) apresenta a descrição da equação utilizada.

$$Re(\%) = \sqrt[3]{\frac{\text{Volume final do sólido}}{\text{Volume inicial do sólido}}} \times 100 \quad (41)$$

onde Re é o encolhimento de cada dimensão do sólido. Se apenas o volume inicial da amostra é conhecido, é possível determinar a o encolhimento volumétrico pela equação (42):

$$Re(\%) = \sqrt[3]{\frac{\text{Volume inicial do sólido} - \text{Volume de água perdida}}{\text{Volume inicial do sólido}}} \times 100 \quad (42)$$

A partir dos dados de Re obtidos, foi possível fazer diversas projeções quanto ao encolhimento da espessura e da área superficial durante a secagem.

4.13.1 Modelos para encolhimento durante secagem

As amostras utilizadas durante as secagens foram cortadas com formato circular com 3,6 cm de diâmetro e altura de 0,9 cm. Assim, é possível fazer duas aproximações geométricas para posterior solução analítica utilizando a segunda Lei de Fick. A primeira hipótese é a de geometria igual a placa plana infinita, já utilizada durante a secagem. Outra possibilidade é assumir a geometria como um cilindro finito. No caso de assumir a amostra como placa plana infinita, existe apenas uma direção de difusão significativa, que é a espessura da amostra e é possível assumir ou não o encolhimento dela. Para cilindro finito, existem duas direções de difusão significantes, espessura e raio, podendo ou não considerar os encolhimentos.

A solução da segunda lei de Fick para placa plana com encolhimento segue os mesmos moldes da solução apresentada no item (4.4.1), no entanto, existe a substituição de h , espessura, por uma função da espessura com o tempo, $h(t)$.

$$\frac{\bar{X}_{w,t} - X_{w,\text{sup}}}{X_{w,0} - X_{w,\text{sup}}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4(h(t))^2}\right] \quad (43)$$

onde $X_{w,0}$ = fração mássica da água no instante zero; $X_{w,\text{sup}}$ = fração mássica da água na superfície; e $\bar{X}_{w,t}$ = fração mássica de água média no tempo após início da secagem.

Quando se assume o encolhimento de um cilindro finito, é necessário substituir a dimensão inicial por funções que correspondam ao encolhimento da

espessura e do raio com o tempo. Assim, a equação (17) pode ser descrita como (44),

$$\frac{\bar{X}_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \exp \left[-\frac{(2n-1)\pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{4 \cdot h(t)^2} \right] \right\} \cdot 2 \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\gamma_n^2} \exp \left[-\left(\frac{\gamma_n}{R'(t)} \right)^2 \cdot D_{ef} \cdot t \right] \right\} \quad (44)$$

onde $h(t)$ e $R'(t)$ são equações de encolhimento em função do tempo, para espessura e raio, respectivamente.

Nos casos estudados de encolhimento foram analisadas as equações com 6 termos para placa e cilindro.

4.14 Análise Estatística

Os resultados foram avaliados estatisticamente através do método da ANOVA ao nível de 5 % de significância, e o Teste de Tukey para número de amostras balanceadas e de Tukey-Kramer para número de amostras desbalanceado, ao nível de 5 % de significância, foram utilizados nos casos de rejeição da hipótese nula. A eficiência dos ajustes foi avaliada com base no coeficiente de determinação do ajuste (R^2) junto com a média dos módulos dos resíduos (MMR), ou com a raiz quadrada da média dos resíduos ($RMQR$) (MONTGOMERY, 2001; SPIEGEL, 1985; LOMAURO et al., 1985).

$$MMR(\%) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{\sqrt{(X_{cal,n} - X_{exp,n})^2}}{X_{exp,n}} \times 100 \quad (45)$$

$$RMQR(\%) = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{X_{cal,n} - X_{exp,n}}{X_{exp,n}} \right)^2 \right\}^{1/2} \times 100 \quad (46)$$

onde N é o número de dados experimentais, $X_{exp,n}$ é o n -ésimo valor observado de um experimento e $X_{cal,n}$ é o valor calculado segundo modelo teórico, para o mesmo ponto experimental n .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Secagem

De posse dos valores de cinética de secagem obtidos para cada uma das secagens foi possível obter valores médios de umidade residual em base seca para cada um dos tratamentos nas duas temperaturas. Os valores médios experimentais resultantes de quatro repetições da secagem, para cada tratamento, estão apresentados na Figura 12. Nela é possível perceber que, independentemente do tratamento utilizado, as curvas das secagens apresentam comportamento semelhante quando as amostras são desidratadas à mesma temperatura.

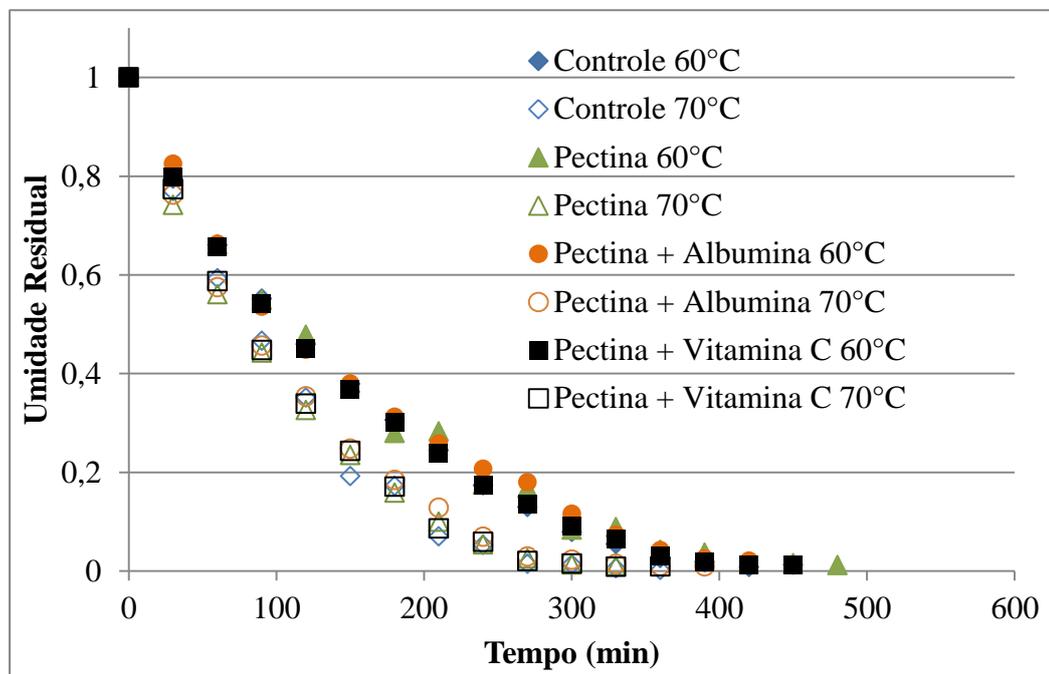


FIGURA 12: Representação gráfica dos valores médios experimentais durante secagem dos tratamentos em cada temperatura, com ar a velocidade média de 1 m/s.

A Tabela 2 mostra as difusividades efetivas médias de quatro repetições de cada tratamento, os respectivos desvios padrões e o coeficiente de determinação (R^2). Durante as secagens a 60 °C a umidade relativa média dentro do secador foi 12,68 % e a 70 °C, 9,94 %. Para essas condições de secagem as umidades de equilíbrio foram obtidas através de isotermas de desorção de mamão fresco e os valores calculados foram de 1,27 % e de 0,86 %, em base seca, respectivamente. A aproximação é razoável para os demais tratamentos em função do baixo valor da

umidade de equilíbrio. As difusividades foram calculadas segundo a equação (7) para a espessura inicial (9×10^{-3} m) de mamão fresco, valor utilizado para os demais tratamentos, uma vez que a espessura das coberturas é muito pequena em relação à espessura da fatia

Tabela 2: Difusividade efetiva, R^2 e MMR (%) determinados com modelo de Fick para mamão pré-tratado e controle durante secagem, calculados para espessura inicial.

Tratamento	Espessura	60 °C			70 °C		
		Difusão			Difusão Efetiva		
		Efetiva $\times 10^{10}$ (m ² /s)	R^2	MMR (%)	$\times 10^{10}$ (m ² /s)	R^2	MMR (%)
Controle	Inicial	7,84 ± 0,48 ^{aA}	0,961	139,32	10,60 ± 0,72 ^{bA}	0,957	166,81
Pectina	Inicial	7,42 ± 0,54 ^{aA}	0,966	104,42	10,10 ± 2,48 ^{bA}	0,968	153,29
Pectina + Albumina	Inicial	7,54 ± 0,13 ^{aA}	0,964	86,99	10,26 ± 0,91 ^{bA}	0,969	140,68
Pectina + Vitamina C	Inicial	8,06 ± 0,86 ^{aA}	0,962	108,98	10,80 ± 1,08 ^{bA}	0,960	162,62

Médias seguidas de letras minúsculas comparam as temperaturas de secagem do mesmo tratamento
Médias seguidas de letras maiúsculas comparam os tratamentos na mesma temperatura de secagem

Constata-se significativa dependência da difusividade em relação à temperatura para todas as considerações (Tabela 2), maior do que as observadas com mamão cortado em cubos (KUROZAWA, HUBINGER, PARK, 2012). Além da maior dependência com a temperatura, os resultados obtidos utilizando a condição de espessura inicial foram mais que duas vezes superiores aos apresentados com mesma consideração, no caso do mamão cortado em cubos.

Na Tabela (2) se observam difusividades médias efetivas apresentando valores estatisticamente iguais entre os diferentes tratamentos conduzidos à mesma temperatura. Esses resultados demonstram que a influência das coberturas é muito pequena sobre a cinética de secagem, sugerindo que a maior resistência do processo esteja na difusão da água através do tecido da fruta. Esse resultado é relevante pelo fato de indicar que a presença da cobertura não seria fator de aumento dos gastos energéticos.

Embora tenham sido encontrados bons resultados para os coeficientes de determinação do ajuste (R^2), os valores de MMR foram muito altos, demonstrando desvios entre os valores observados e calculados. Como os resíduos são relativos em relação ao valor experimental (equação 45), o resultado está relacionado o fato

de que, no ajuste, foram considerados diversos valores experimentais bastante baixos, correspondentes ao final da secagem, gerando grandes desvios relativos.

A partir das curvas experimentais de cinética de secagem também foram ajustados modelos semi-teóricos, cujos resultados estão apresentados na Tabela (3). O modelo de Page apresentou os maiores valores de coeficiente de determinação e os menores valores de média dos módulos do resíduo, *MMR* (%), se mostrando o mais eficiente na representação dos dados experimentais. Entretanto, os demais modelos testados também mostraram eficiência dos ajustes e poderiam ser utilizados para descrever as secagens de forma satisfatória.

Tabela 3: Resultados para parâmetros dos modelos semi-teóricos de secagem e respectivos *R*² e *MMR*.

	Processo	60 °C				70 °C					
		<i>K</i>	<i>n</i>	<i>A</i>	<i>R</i> ²	<i>MMR</i> (%)	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>A</i>	<i>R</i> ²	<i>MMR</i> (%)
Newton	Controle	1,20E-04			0,989	82,97	1,60E-04			0,988	103,63
	Pectina	1,20E-04			0,991	37,96	1,70E-04			0,993	64,36
	Pectina + Albumina	1,10E-04			0,993	60,47	1,60E-04			0,993	69,69
	Pectina + Vitamina C	1,20E-04			0,992	68,29	1,60E-04			0,990	105,89
Page	Controle	5,00E-05	1,105		0,993	36,6	4,00E-05	1,160		0,995	42,08
	Pectina	5,00E-05	1,086		0,993	46,67	7,00E-05	1,091		0,996	63,33
	Pectina+ Albumina	7,00E-05	1,052		0,994	45,03	7,00E-05	1,098		0,996	31,32
	Pectina + Vitamina C	6,00E-05	1,075		0,995	50,83	4,00E-05	1,159		0,997	44,63
Henderson e Pabis	Controle	1,20E-04		1,015	0,990	84,59	1,60E-04		1,029	0,989	107,36
	Pectina	1,20E-04		1,010	0,991	46,49	1,70E-04		1,014	0,993	65,61
	Pectina + Albumina	1,20E-04		1,012	0,993	44,38	1,60E-04		1,018	0,994	71,22
	Pectina + Vitamina C	1,20E-04		1,012	0,993	69,44	1,70E-04		1,030	0,991	86,02

A umidade média do mamão, quando fresco, foi de $87,5 \pm 1,3$ % em base úmida, o que demonstra a baixa variação da umidade da matéria prima utilizada nos experimentos, uma vez que este valor é a média das umidades de todos os mamões frescos. Se for considerado que a textura e a quantidade de sólidos solúveis dependem da umidade e são fatores diretamente relacionados ao grau de maturidade, é possível dizer que durante o processo foram utilizadas matérias primas de maturidade semelhante. Quando revestido com cobertura, a umidade do mamão aumentava significativamente para uma faixa entre 89,3 a 90,8 (Tabela 5). Entretanto, não houve diferença significativa entre os mamões pré-tratados. As

umidades no produto, após a secagem e durante o armazenamento, também estão presentes na Tabela (4)

Tabela 4: Umidade média e desvio padrão das amostras em cinco pontos do processo.

Tratamento	Temperatura	Antes da Secagem	Depois da Secagem	3º dia de Secagem	9º dia de Secagem	30º dia de Secagem
Controle	60 °C	0,875 ± 0,013 ^{aB}	0,11 ± 0,008 ^{bA,B}	0,109 ± 0,008 ^{bBC}	0,104 ± 0,003 ^{bAB}	0,106 ± 0,002 ^{bB,C}
Controle	70 °C	0,875 ± 0,013 ^{aB}	0,087 ± 0,01 ^{bC,D}	0,088 ± 0,005 ^{bD}	0,086 ± 0,032 ^{bBC}	0,097 ± 0,006 ^{bC}
Pectina	60 °C	0,908 ± 0,005 ^{bA}	0,104 ± 0,005 ^{cA,B}	0,108 ± 0,002 ^{cAB}	0,102 ± 0,001 ^{cABC}	0,104 ± 0,003 ^{cA,B}
Pectina	70 °C	0,902 ± 0,028 ^{bA}	0,084 ± 0,005 ^{cC,D}	0,086 ± 0,002 ^{cD}	0,091 ± 0,008 ^{cBC}	0,087 ± 0,004 ^{cD}
Pectina + Vitamina C	60 °C	0,898 ± 0,004 ^{bA}	0,106 ± 0,007 ^{cA,B}	0,105 ± 0,006 ^{cAB}	0,115 ± 0,006 ^{dA}	0,114 ± 0,005 ^{dA,B}
Pectina + Vitamina C	70 °C	0,893 ± 0,005 ^{bA}	0,083 ± 0,009 ^{cD}	0,084 ± 0,009 ^{cD}	0,082 ± 0,011 ^{cC}	0,095 ± 0,007 ^{cD}
Pectina + Albumina	60 °C	0,898 ± 0,003 ^{bA}	0,111 ± 0,009 ^{cA}	0,118 ± 0,009 ^{cA}	0,115 ± 0,01 ^{cA}	0,109 ± 0,011 ^{cA}
Pectina + Albumina	70 °C	0,895 ± 0,007 ^{bA}	0,097 ± 0,013 ^{cB,C}	0,095 ± 0,005 ^{cCD}	0,104 ± 0,006 ^{cABC}	0,102 ± 0,006 ^{cC,D}

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma linha e por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna diferem pelo teste Tukey-Kramer. Letras minúsculas comparam mudanças de umidade durante o tempo. Letras maiúsculas comparam a umidade entre os tratamentos, para o mesmo período.

Na Tabela (4) é possível observar que as umidades das amostras secas a 60°C ficaram acima de 10 %, e que as secas a 70 °C saíram do secador com umidade inferior a 10 %. Durante o armazenamento, alterações de umidade em amostras foram significativas apenas para aquelas cobertas com pectina adicionada de vitamina C e seca a 60 °C, na qual houve aumento da umidade.

5.2 Cor

A Tabela 5 apresenta valores de ΔE , Comar e ângulo Hue. Os valores de ΔE são obtidos pelos parâmetros de coordenadas retangulares das análises de cor considerando as amostras controle antes da secagem como padrão, valor inicial de comparação. Quanto maior a magnitude de ΔE , maior a diferença entre o controle e a amostra analisada. Portanto, esse parâmetro pode indicar tanto intensificação da cor quanto perda de cor. Assim, a análise paralela de coordenadas polares como o Croma e o ângulo Hue auxilia a identificar o tipo de variação, pois essas coordenadas polares identificam a intensidade e a tonalidade da cor da amostra, respectivamente. Os parâmetros retangulares, L^* , a^* e b^* , e correspondentes desvios

padrão encontram-se no Anexo (2). Assim como a apresentação da análise estatística pelo método de Tukey-Kramer para as coordenadas polares e retangulares.

Tabela 5: Valores para ΔE , considerando como valor de referência os valores da amostra fresca, Croma e Ângulo Hue.

	Controle		Pectina		Pectina + Albumina		Pectina + Vitamina C	
	60 °C		70 °C		60 °C		70 °C	
ΔE								
Seco	5,665	3,807	6,382	3,988	7,838	2,842	3,004	3,369
3° Dia após secagem	4,339	3,566	6,502	5,333	6,661	4,078	3,029	3,551
9° Dia após secagem	6,137	6,076	7,243	7,439	7,702		4,987	4,024
30° Dia após secagem	9,221	6,764	9,97	8,341	9,424	7,591	7,968	7,08
CROMA								
Fresco	56,07 ± 4,49	56,07 ± 4,49	53,43 ± 2,51	58,71 ± 2,68	49,08 ± 4,81	51,16 ± 4,71	56,53 ± 3,22	57,37 ± 3,72
Seco	50,92 ± 3,31	53,6 ± 3,6	55,03 ± 2,74	57,81 ± 2,67	56,44 ± 3,17	56,33 ± 3,29	54,59 ± 3,79	55,5 ± 3,51
3° Dia após secagem	52,63 ± 3,39	53,79 ± 3	55,08 ± 2,53	57,55 ± 2,29	55,74 ± 2,59	55,87 ± 3,09	55,65 ± 3,7	54,55 ± 2,66
9° Dia após secagem	51,28 ± 2,95	52,03 ± 2,84	57,14 ± 1,23	58,14 ± 2,62	52,98 ± 3,51		51,85 ± 3,13	53,78 ± 2,9
30° Dia após secagem	47,9 ± 2,88	50,45 ± 2,88	53,48 ± 2,75	57,45 ± 2,3	52,38 ± 3,65	52,4 ± 2,41	49,57 ± 3,71	51,48 ± 3,22
HUE								
Fresco	52,53 ± 3,14	52,53 ± 3,14	56,4 ± 4,15	52,17 ± 1,4	53,87 ± 3,06	49,5 ± 2,42	52,35 ± 2,25	51,83 ± 1,8
Seco	53,22 ± 2,72	55,16 ± 3,49	57 ± 1,67	55,71 ± 2,84	58,74 ± 3,8	55,27 ± 2,3	54,99 ± 3,16	55,34 ± 3,24
3° Dia após secagem	53,8 ± 2,47	55,29 ± 3,46	57,88 ± 2,94	56,91 ± 1,79	58,08 ± 4,07	56,58 ± 2,13	55,48 ± 2,49	54,86 ± 2,7
9° Dia após secagem	55,09 ± 2,2	56,69 ± 3,53	58,67 ± 1,68	58,53 ± 3,31	58,87 ± 4,34		53,92 ± 2,66	55,69 ± 3,16
30° Dia após secagem	56,69 ± 3,94	56,46 ± 4,26	61,05 ± 3,2	59,94 ± 2,18	60,63 ± 2,94	59,3 ± 1,87	56,97 ± 2,51	57,02 ± 2,98

A cobertura de albumina, enquanto fresca, reduz um pouco a cromaticidade, que é reavivada com a secagem. Por outro lado, o efeito da secagem sobre as amostras dos demais tratamentos mostra que a tendência é haver uma leve diminuição da cromaticidade, porém, mais acentuada nas amostras sem cobertura. Ao longo do armazenamento a tendência de todas as amostras foi a redução da cromaticidade, sendo que apenas as frescas e as com cobertura de pectina+vitamina C apresentaram essa redução. Há algumas exceções, que são associadas com variabilidade intrínseca à matéria prima, uma vez que cada amostra analisada era descartada devido à manipulação, ao invés de ser armazenada novamente. Dessa forma, ainda que a amostragem e o procedimento tenha sido cuidadosa, fica sujeita a alguma variabilidade aleatória.

A secagem a 60 °C aumentou a diferença de coloração entre a amostra e o controle enquanto que amostras desidratadas a 70 °C e adicionadas de revestimento apresentaram menores diferenças. Se considerado apenas o valor de ΔE , o revestimento de pectina adicionada de vitamina C foi o que protegeu de forma mais eficiente as amostras quanto a alterações durante a secagem nas duas temperaturas. Mas o valor de ΔE é um vetor resultante das coordenadas retangulares, dessa forma ele atua apenas como um indicador, tendo que utilizar outros parâmetros para uma análise mais aprofundada das alterações.

Comparando estes valores aos de Ângulo Hue e de cromaticidade, apresentadas no Anexo (2), é possível notar a redução significativa da cromaticidade durante a secagem e o armazenamento nas amostras frescas e naquelas revestidas de pectina adicionada de vitamina C, acompanhado de um aumento do Ângulo Hue. Entretanto, comparadas às demais amostras, elas resultaram significativamente mais alaranjadas, isto é, com os menores valores de ângulo Hue. Dessa forma, é possível dizer que essas amostras tiveram intensidade da coloração reduzida, a com diminuição do parâmetro $+a^*$ (vermelho) proporcionalmente maior que do parâmetro $+b^*$ (amarelo)

A claridade (L^*) também é um fator importante, pois existe um aumento significativo desse parâmetro para as amostras desidratadas revestidas de pectina e pectina e albumina durante o armazenamento. As outras amostras tendem a manter ou reduzir a claridade durante o armazenamento.

Com isso, é possível perceber que, embora as coberturas de pectina e pectina adicionada de albumina mantenham a cromaticidade parecida à da amostra fresca, as variações do Ângulo Hue e da claridade demonstram que essas amostrasse tornaram mais claras e amareladas que seus controles, com diminuição do parâmetro $+a^*$ (vermelho) e aumento do parâmetro $+b^*$ (amarelo).

Para a determinação dos valores médios de cor para mamão fresco, foram utilizados todos os valores obtidos para mamão fresco. Com isso, a quantidade de amostras foi muito grande. Se observados os dados apresentados na Tabela (19) do Anexo (2), é possível perceber um coeficiente de variância menor que 10 %, isto é, a razão entre desvio-padrão e a média, para todos os parâmetros determinados para amostra fresca, o que representa a homogeneidade da coloração das amostras utilizadas durante o experimento e a reprodutibilidade durante o experimento para selecionar mamões com graus de maturidade semelhante.

5.3 Retenção de Vitamina C

A quantidade de vitamina C por 100 gramas de fruta tende a se manter ou aumentar durante o amadurecimento, no entanto, frutos muito maduros começam a perder vitamina C (VAZQUEZ-OCHOA; COLINAS-LEON, 1990). Os valores de vitamina C para os produtos frescos apresentados na Tabela (6) são uma média de todos os valores de quantidade de vitamina C para produtos frescos utilizados nas correspondentes secagens, ou seja, cada valor corresponde à média de, pelo menos, oito secagens.

Se observado o desvio padrão das amostras controle de cada tratamento, é possível perceber que os desvios-padrão são menores que 10% do conteúdo médio de vitamina C, indicando que a matéria prima apresentou características semelhantes em relação a essa vitamina.

Outro fato é que perda de vitamina C, após a aplicação da cobertura comestível, foi observada. Cabe sublinhar que, para esse cálculo, utilizou-se a fórmula de Murphy (equação 24), que leva em consideração a variação da massa durante o processo de adição de cobertura. Portanto, a diminuição de vitamina C foi atribuída à manipulação das amostras durante a aplicação de cobertura, tanto pela perda de pequenas partes do fruto quanto pela heterogeneidade das amostras com cobertura, prejudicando a representatividade da amostragem. Conteúdos de vitamina C antes e depois da adição de cobertura comestível em amostra de mamão fresco e retenção de vitamina C estão presentes na Tabela (6).

Tabela 6: Valores em mg de vitamina C por 100 gramas de produto antes e depois de pré-tratamento, fração de ganho de massa e retenção de vitamina C durante pré-tratamento em %.

	mg de Vitamina C /100 g de produto		Ganho de massa*	Retenção de Vitamina C (%)
	Fresco	Pré-tratado		
Controle	74,84 ± 2,54	-	1	-
Pectina	66,42 ± 0,58	50,84 ± 1,38	1,21	92,62
Pectina + Albumina	79,75 ± 7,07	59,87 ± 8,71	1,24	93,08
Pectina + Vitamina C	72,14 ± 2,56	124,89 ± 15,91	1,16	200,81

*Ganho de massa foi calculado sobre a massa de amostras cobertas em relação a amostras frescas.

Os valores de retenção de vitamina C durante a secagem e armazenamento em relação aos produtos frescos correspondentes estão presentes na Tabela 7.

Durante a secagem as amostras pré-tratadas apresentaram retenção acima de 80 %.

Tabela 7: Retenção de vitamina C (%) para mamão, considerando diferentes pré-tratamentos, após secagem e durante estocagem.

	Controle		Pectina		Pectina + Albumina		Pectina + Vitamina C	
	60°C	70°C	60°C	70°C	60°C	70°C	60°C	70°C
Secagem	71,17 ± 3,74 ^{de A}	65,63 ± 3,81 ^{e A}	102,19 ± 1,5 ^{a A}	83,31 ± 3,8 ^{c A}	80,56 ± 2,12 ^{cd A}	82,42 ± 5,92 ^{cd A}	86,64 ± 2,78 ^{bc A}	95,04 ± 9,69 ^{ab A}
3° Dia	64,9 ± 3,38 ^{cd B}	52,57 ± 5,27 ^{d B}	96,25 ± 5,34 ^{a A}	81,79 ± 2,33 ^{b A}	69 ± 7,56 ^{bc AB}	74,83 ± 10,63 ^{bc B}	84,76 ± 4,48 ^{ab A}	61,3 ± 6,31 ^{cd BC}
9° Dia	55,82 ± 5,05 ^{d C}	55,99 ± 2,20 ^{d B}	96,59 ± 2,47 ^{a A}	77,49 ± 2,75 ^{bc AB}	77,92 ± 2,54 ^{b A}	59,42 ± 8,16 ^{d B}	81,66 ± 6,39 ^{b A}	64,68 ± 3,12 ^{cd B}
30° Dia	30,28 ± 3,21 ^{e D}	48,34 ± 3,51 ^{d B}	81,38 ± 4,72 ^{a B}	70,33 ± 6,28 ^{ab B}	56,15 ± 3,23 ^{cd B}	61,65 ± 5,14 ^{bc B}	70,2 ± 3,15 ^{ab B}	51,27 ± 5,25 ^{d C}

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma linha e por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna diferem pelo teste Tukey-Kramer. Letras minúsculas diferentes na mesma linha comparam mudanças entre tratamentos no mesmo período. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna comparam mudanças com o tempo no mesmo tratamento.

Comparando as amostras após a secagem, entre os diferentes tratamentos, constata-se que nas secagens a 60 °C com coberturas de pectina e de pectina com vitamina C aumentaram significativamente a retenção da vitamina. A amostra coberta com pectina e seca a 60 °C apresentou retenção acima de 100 %, o que deve indicar prováveis erros analíticos e amostrais inerentes à variabilidade das matérias primas, uma vez que os resultados são médias provenientes de 4 repetições de processos independentes e ainda com o último processo tendo sido feito em duplicata. A 70 °C, todas as coberturas melhoraram significativamente a retenção em relação à amostra controle, sendo que o melhor resultado foi obtido com a amostra pectina com vitamina C.

A temperatura de secagem de um mesmo pré-tratamento influenciou significativamente apenas as amostras cobertas com pectina. A comparação entre tratamentos em diferentes temperaturas pode mostrar retenção similar porque as secagens em temperaturas menores ficam expostas por um período mais longo, resultando maiores exposições ao oxigênio.

A semelhança entre outros tratamentos é possível, porque o tempo de secagem em temperaturas menores é maior, promovendo maior exposição ao oxigênio. De acordo com Vega-Gálvez et al (2009), pimenta vermelha (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian) sem pré-tratamento também não apresenta diferença significativa entre conteúdo de vitamina C após secagem na faixa entre 60 °C e 80 °C em secador convectivo do tipo piloto.

Durante o armazenamento a influência da temperatura de secagem nas retenções de vitamina C é sensível principalmente nas amostras controle, coberta com pectina aditivada de albumina e cobertura aditivada de vitamina C. As amostras submetidas à secagem a 70 °C promoveu a redução significativa de vitamina C já no terceiro dia de armazenamento. Todas as amostras apresentaram redução significativa de vitamina C entre pós-secagem e 30 dias de armazenamento. A estabilidade das coberturas com cobertura de pectina, sem aditivos é evidenciada pelos altos valores de retenção ao longo do período de armazenamento.

A alta retenção de vitamina C em mamão desidratado, ainda que em amostras sem revestimento, parece estar associada com características da composição dessa fruta, as quais naturalmente exercem um efeito protetor em relação a essa vitamina (GARCIA, 2012). A retenção de vitamina C em mamão, após secagem a 45 °C, foi igual a 75 %, enquanto que em goiaba desidratada sob as mesmas condições, foi 25 % (HAWLADER et al., 2006). Isso pode ser explicado com base não apenas na oxidação da vitamina C pelo oxigênio ou pela degradação térmica e enzimática desta vitamina (WAWIRE et al., 2011; SANTOS; SILVA, 2008), mas também pela capacidade da fruta em responder a injúrias, contaminações por microorganismos (BRADLEY et al., 1992) e estresse osmótico (RADHAKRISHNAN et al., 2012). Estudos in vivo com soja demonstram que estresse salino causa aumento da prolina e redução da vitamina C (RADHAKRISHNAN, 2012). Também há registros sobre o aumento da resistência celular ao fluxo de material pela parede celular com a suplementação à base de vitamina C (DOLATABADIAN, 2008; ATHAR, 2007). Nos vegetais, a prolina tem papel importante como proteína estrutural da parede celular, fortalecendo-a em resposta ao estresse que, no caso, está relacionado ao corte e à desidratação do tecido (KAVI KISHOR et al., 1995; BRADLEY et al., 1992). Em tecido animal há uma relação entre a hidroxiprolina e a síntese de colágeno (ROBERTSON et al., 1958) porém, em tecido vegetal não foram encontrados registros em relação à parede celular, porém, estudos com tecido de batata sugerem que o ácido ascórbico atue como um doador de elétrons na hidroxilação de prolina, que auxiliaria a manutenção celular vegetal (GARA et al., 1991). Portanto, neste trabalho, coloca-se como hipótese o consumo da vitamina C relacionado à hidroxilação da prolina, maior na goiaba (USDA, 2012) do que no mamão (USDA, 2012). Não se descarta, entretanto, a estrutura mais porosa da goiaba, que também contribuiria na exposição do tecido ao oxigênio.

5.4 Análise Sensorial

Os tratamentos selecionados para a análise sensorial foram os pré-tratados com pectina e o com pectina aditivada de vitamina C. O pré-tratamento de pectina foi escolhido devido capacidade superior de retenção de vitamina C, principalmente para as amostras secas a 60 °C. Já as amostras aditivadas de ácido L-ascórbico foram escolhidas por apresentarem grande quantidade total de vitamina C ao final dos processos de secagem e armazenamento. A análise sensorial foi feita para uma população de 50 pessoas entre 19 e 56 anos, na qual 54 % eram do sexo feminino. Dentre os entrevistados 58 % declararam consumir produtos com apelo saudável, como granola e barras de cereais, ao menos uma vez por semana (Figura 13.a). Além disso, 96 % dos provadores relataram pelo menos gostar deste tipo de produto (Figura 13.b).

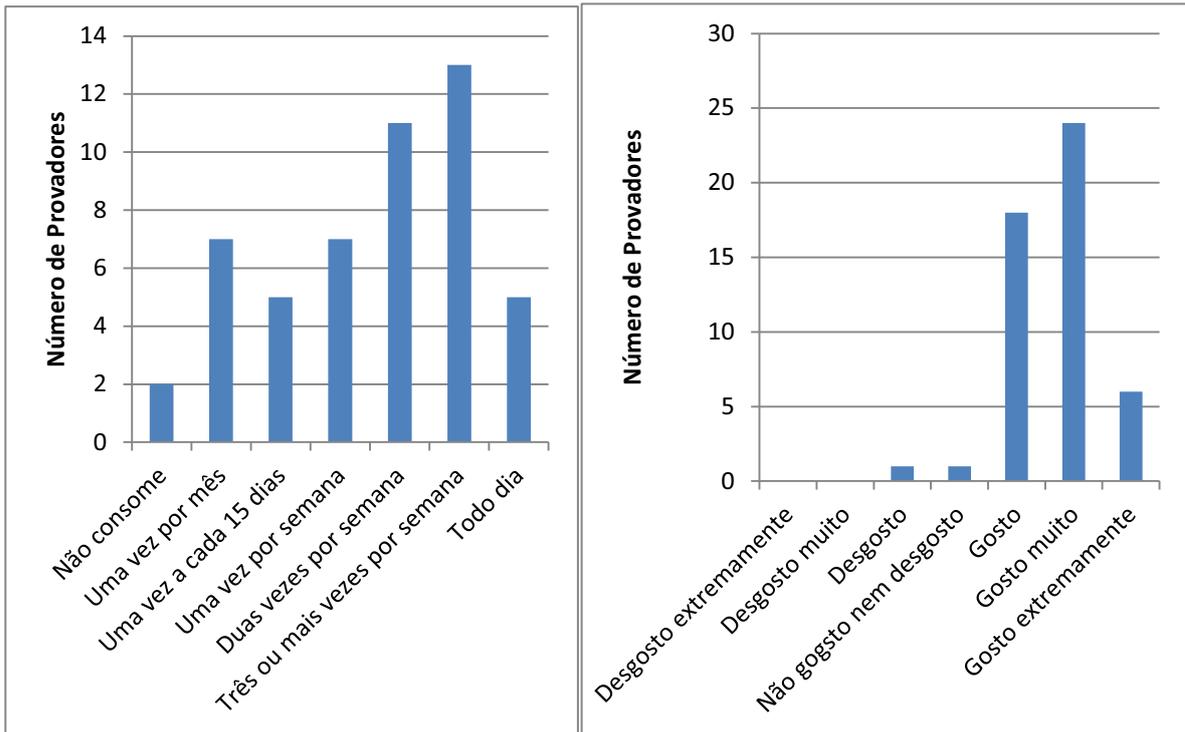


FIGURA 13:Gráfico a) é o histograma com a frequência de consumo de produtos saudáveis pelo provador e b) o histograma sobre quanto o provador gosta de produtos com apelo saudável.

Além disso, ainda no questionário sobre hábitos de consumo, os provedores responderam qual dos cinco fatores pré-determinados é o maior influenciador na aquisição de produtos com apelo saudável, Figura (14), e é possível perceber a grande interferência do preço e da propaganda sobre as escolhas do consumidor.

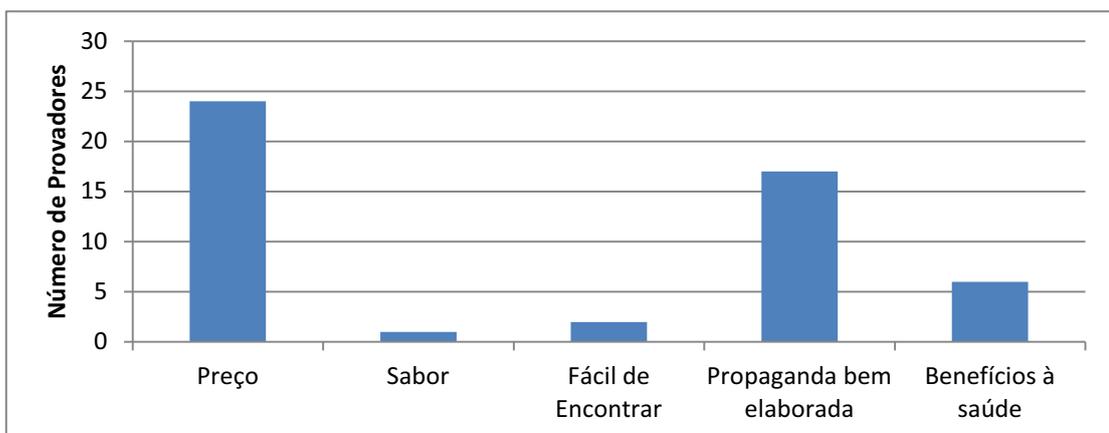


FIGURA 14:Histograma de frequência sobre respostas fornecidas pelos provedores avaliando o qual fator mais influencia na compra de um produto saudável.

Após a análise de hábito de consumo, as quatro amostras foram apresentadas individualmente aos provadores para teste de afetividade e os resultados estão na Tabela (8).

Tabela 8: Resultado para análise sensorial de mamão (*Carica papaya L.*) pré tratado e posteriormente seco a 60 °C ou a 70 °C.

	Pectina		Pectina + Vitamina C	
	60 °C	70 °C	60 °C	70 °C
Aparência	5,64 ± 1,78 ^a	5,08 ± 1,73 ^a	5,90 ± 1,68 ^a	5,64 ± 1,80 ^a
Cor	6,86 ± 1,41 ^a	5,94 ± 1,64 ^b	6,84 ± 1,25 ^a	6,38 ± 1,29 ^{a,b}
Aroma	5,32 ± 1,47 ^a	5,30 ± 1,41 ^a	5,12 ± 1,17 ^a	5,54 ± 1,14 ^a
Textura	4,58 ± 2,11 ^b	5,08 ± 1,92 ^b	4,72 ± 1,71 ^b	6,10 ± 1,56 ^a
Sabor	5,44 ± 1,71 ^b	5,38 ± 1,48 ^b	5,26 ± 1,67 ^b	6,44 ± 1,34 ^a
Aceitação Global	5,30 ± 1,63 ^b	5,52 ± 1,48 ^{a,b}	5,36 ± 1,46 ^b	6,16 ± 1,44 ^a
Atitude de Compra	4,64 ± 1,61 ^b	4,84 ± 1,54 ^{a,b}	4,72 ± 1,47 ^b	5,60 ± 1,37 ^a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes comparam mudanças do mesmo atributo entre tratamentos por teste de Tukey.

A amostra pré-tratada adicionada de cobertura aditivada com vitamina C e seca a 70 °C obteve as melhores respostas da população, obtendo em todos os parâmetros índices elevados e em alguns casos significativamente maiores. A cor das amostras desidratadas a 60 °C ficaram com índices de aceitação maior que as de 70 °C, seguindo a tendência dos resultados observados no espectrofotômetro. No entanto, a textura e o sabor elevaram a aceitação global e a atitude de compra do produto seco a 70 °C e pré-tratado com cobertura aditivada de vitamina C.

O mamão é uma matéria-prima abundante em países tropicais e de baixo custo, portanto a variável preço, citada como uma das mais influentes na aquisição de produtos com apelo saudável (Figura 5.5), pode se tornar favorável ao desenvolvimento da cultura de consumo deste produto. A atuação desse produto como ingrediente deve ser estudada, porque a composição com açúcar, mel, outras frutas secas, cereais entre outros pode melhorar a aceitação sensorial.

5.5 Isotermas

Valores experimentais para isotermas de adsorção e de desorção mamão fresco foram obtidos nas temperaturas de 30 °C, 50 °C e 70 °C. Cinco modelos anteriormente citados (item 4.10.1), a saber, BET, Halsey, Oswin, Peleg e GAB, foram ajustados aos valores experimentais. As Figuras (15) e (16) comparam valores de umidade de equilíbrio obtidos experimentalmente em função da atividade de água, com o modelo de GAB (Tabela 1) ajustado aos resultados. As Tabelas (9) e (10) apresentam resultados para R^2 , MMR e os parâmetros necessários de cada modelo em isotermas de desorção e adsorção de mamão *in natura*, respectivamente.

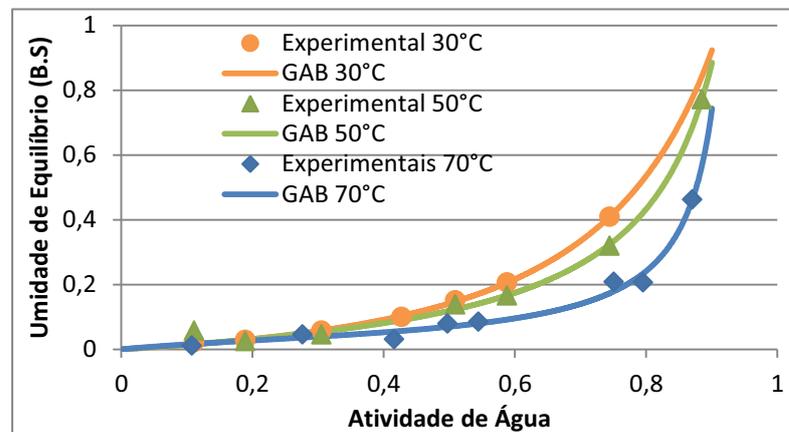


FIGURA 15: Valores experimentais e teóricos, determinados pelo modelo de GAB, para isotermas de desorção.

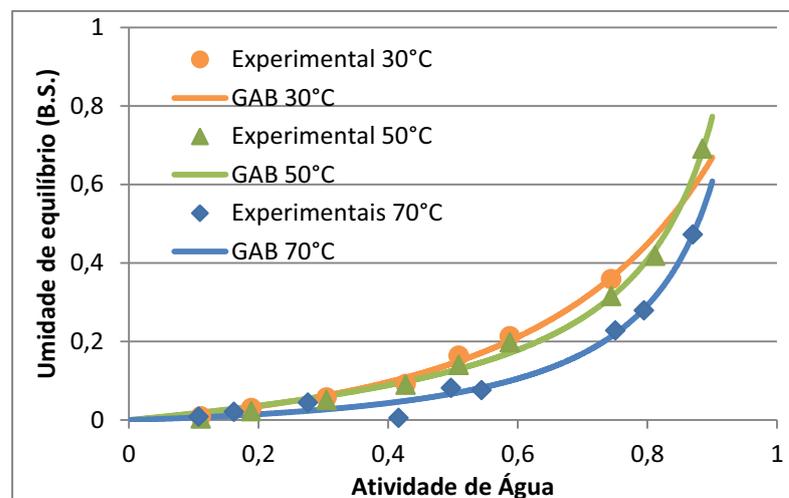


FIGURA 16: Valores experimentais e teóricos, determinados pelo modelo de GAB, para isotermas de adsorção.

Desde que a regressão não linear com valores acima de 0,95 corresponde a ajustes aceitáveis do modelo (VEGA-GÁLVEZ et al., 2007), é possível constatar, pelas Tabelas (9) e (10), que, com exceção do modelo de Halsey, todos os demais modelos são eficientes para ajustar os dados experimentais. Uma vez que o modelo de GAB é teórico, seus parâmetros têm significado e, por essa razão, este modelo foi escolhido para representação teórica das curvas de desorção e de adsorção nas Figuras 15 e 16, assim como para determinação de calor isostérico do produto estudado.

Tabela 9: Parâmetros, *MMR* e R^2 obtidos para modelos testados em isotermas de desorção de mamão sem cobertura.

Modelo	Temperatura	Xm	C	K	a	b	C	d	MMR (%)	R ²
GAB	30 °C	0,123	0,983	1,070	-	-	-	-	4,09	0,997
	50 °C	0,116	1,141	0,980	-	-	-	-	6,34	0,975
	70 °C	0,040	4,362	1,051	-	-	-	-	4,74	0,962
BET	30 °C	0,166	0,740	-	-	-	-	-	8,02	0,997
	50 °C	0,096	1,701	-	-	-	-	-	6,29	0,975
	70 °C	0,067	0,876	-	-	-	-	-	6,33	0,953
HALSEY	30 °C	-	-	-	0,086	0,633	-	-	44,52	0,996
	50 °C	-	-	-	0,041	0,934	-	-	37,63	0,972
	70 °C	-	-	-	0,031	0,820	-	-	36,31	0,959
OSWIN	30 °C	-	-	-	0,141	1,064	-	-	6,87	0,996
	50 °C	-	-	-	0,120	0,910	-	-	6,03	0,975
	70 °C	-	-	-	0,060	1,048	-	-	6,71	0,954
PELEG	30 °C	-	-	-	0,132	0,874	0,942	3,806	1,53	0,917
	50 °C	-	-	-	0,437	1,812	1,613	10,984	9,05	0,976
	70 °C	-	-	-	104,844	44,99	0,358	2,225	6,77	0,967

Tabela 10: Parâmetros, *RMQR* e *R*² obtidos para modelos testados em isotermas de adsorção de mamão *in natura*.

Modelo	Temperatura	X _m	C	K	a	b	C	d	MMR (%)	R ²
GAB	30 °C	9,483	0,022	0,646					21,07	0,991
	50 °C	0,110	1,538	0,965					4,21	0,994
	70 °C	0,102	0,561	0,963					5,89	0,981
BET	30 °C	0,115	1,512						38,62	0,982
	50 °C	0,084	2,872						5,57	0,991
	70 °C	0,071	0,985						5,44	0,98
HALSEY	30 °C				0,056	0,836			54,72	0,967
	50 °C				0,036	1,022			32,79	0,987
	70 °C				0,032	0,855			31,43	0,977
OSWIN	30 °C				0,140	0,901			38,32	0,983
	50 °C				0,128	0,825			4,64	0,994
	70 °C				0,072	0,994			5,34	0,98
PELEG	30 °C				0,688	2,414	0,025	0,464	44,07	0,994
	50 °C				2,831	20,075	0,576	2,089	1,48	0,998
	70 °C				0,107	0,967	0,958	6,761	4,95	0,981

Também, constata-se na Tabela (10), que os parâmetros da equação de GAB encontrados na isoterma de adsorção a 30 °C representam os dados apresentados na Figura (16), porém, não apresentam valores com significado físico que demonstram uma curva não sigmoideal (LEWICKI, 1997). Constata-se também que os ajustes dos modelos de desorção foram menos eficientes que os de adsorção. Um dos motivos é a maior susceptibilidade dessas amostras a contaminações por microorganismos, uma vez que os experimentos de equilíbrio foram conduzidos com fruta em sua umidade original.

As isotermas de adsorção e desorção, a 30 °C e 50 °C, a baixas umidades, apresentaram uma pequena histerese, quase imperceptível, como já havia sido constatado por Lopéz-Malo et al. (1997). Entretanto, conforme a umidade aumenta, observa-se uma histerese mais pronunciada, com uma tendência bem definida, que é da isoterma de adsorção permanecer abaixo da de desorção, como esperado, devido à diminuição da disponibilidade de sítios ativos devido à prévia desidratação (OKOS et al., 1992).

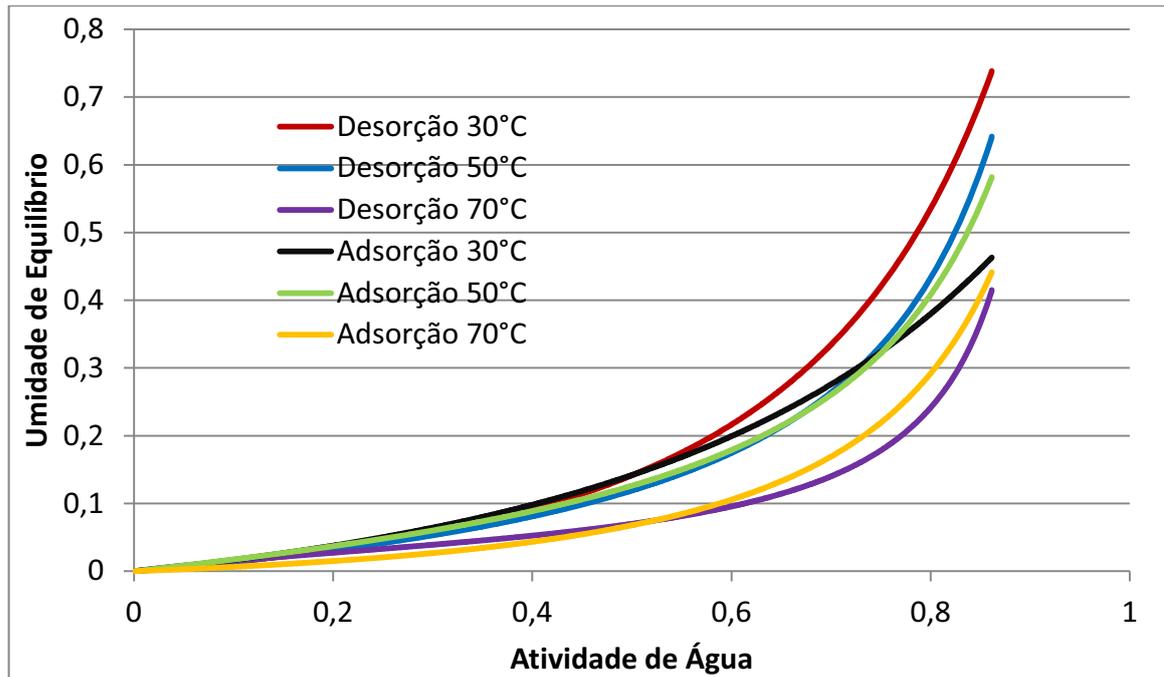


FIGURA 17: Curvas teóricas de isothermas de desorção e adsorção nas temperaturas de 30°C, 50°C e 70°C para mamão pelo modelo de GAB.

A 70°C o comportamento é diverso. A curva de adsorção está abaixo da de desorção, em baixas umidades, como esperado, porém, ocorre uma inversão a partir de aproximadamente a_w 0,5 (Figura 17), quando a isoterma de adsorção passa a apresentar maiores umidades de equilíbrio que a de desorção.

5.6 Calor isostérico

Através das isothermas de sorção para mamão *in natura*, foi estabelecida uma faixa de umidade de equilíbrio em base seca para determinar as atividades de água teóricas pelo modelo de GAB e, conseqüentemente, obter os valores para $\ln(a_w)$ que são utilizados no eixo das ordenadas dos gráficos apresentados nas Figuras (18) e (19). A Tabela (11) apresenta os valores relevantes obtidos com os gráficos das Figuras (18) e (19) respectivamente, como calor isostérico, entropia e coeficientes de determinação do ajuste (R^2).

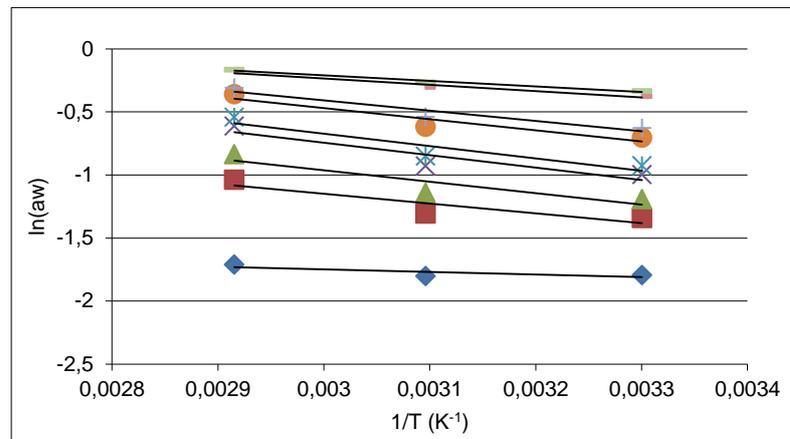


FIGURA 18: Gráfico de $\ln(a_w) \times 1/T$ (K^{-1}), para determinação do calor isostérico e da variação da entropia, foi obtido à partir dos das isotermas de desorção de mamão Formosa *in natura*.

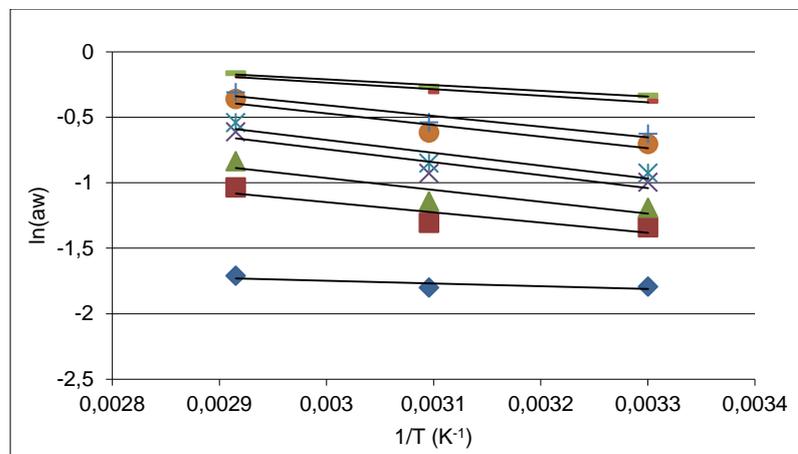


FIGURA 19: Gráfico de $\ln(a_w) \times 1/T$ (K^{-1}), para determinação do calor isostérico e da variação da entropia, foi obtido à partir dos das isotermas de adsorção de mamão Formosa *in natura*.

Tabela 11: Valores de calor isotérico e entropia, obtidos do coeficiente angular e linear das retas apresentadas nos gráficos das Figuras 18 e 19.

Umidades de Equilíbrio	Desorção			Adsorção		
	q_{st} (kJ/mol)	ΔS (kJ/(mol.K))	R^2	q_{st} (kJ/mol)	ΔS (kJ/(mol.K))	R^2
0,024	1,733	0,009	0,711	13,377	0,027	0,7
0,045	6,467	0,009	0,858	1,074	0,024	0,714
0,057	7,551	0,014	0,876	10,151	0,022	0,723
0,079	8,184	0,018	0,9	8,796	0,019	0,738
0,089	8,173	0,018	0,909	8,263	0,018	0,745
0,137	7,337	0,018	0,942	6,404	0,014	0,77
0,163	6,783	0,016	0,954	5,683	0,013	0,779
0,314	4,174	0,01	0,988	2,983	0,006	0,792
0,358	3,646	0,009	0,992	2,48	0,005	0,787

Ao relacionar o calor isotérico à umidade de equilíbrio em base seca é possível determinar os valores de q_0 e X_0 , parâmetros da equação (30) empírica. A Figura (20) mostra o gráfico de calor isotérico versus umidade de equilíbrio para isotermas de desorção e adsorção de mamão.

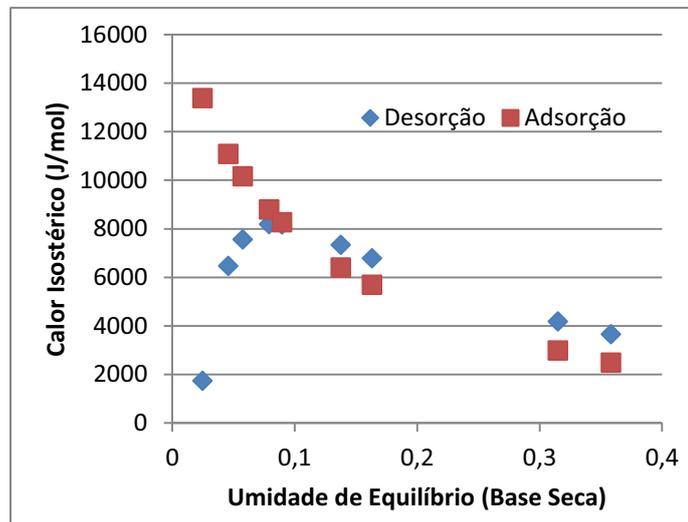


FIGURA 20: Calor isotérico líquido de sorção em função da Umidade de equilíbrio (Base seca) para mamão.

A partir do gráfico da Figura (20) é possível calcular os parâmetros q_0 e X_0 para as isotermas de adsorção de água em mamão e esses parâmetros estão apresentados na Tabela (12)

Tabela 12: Constantes de entalpia e umidade, q_0 e X_0 , determinadas segundo equação (31) e respectivo R^2 e $RQMR$ para a curva de adsorção de água em mamão.

q_0 (kJ/mol)	X_0 (kg H ₂ O/kg massa seca)	R^2	$RQMR$ (%)
14,44	0,18	0,983	45,29

Constantes q_0 para adsorção frutas resultaram inferiores às de desorção (TSAMI et al., 1990), quando avaliadas uvas, figos, ameixas e damascos. A média foi de 57,1 kJ·mol⁻¹. Os damascos apresentaram o menor valor de q_0 , igual a 10,3 kJ·mol⁻¹, enquanto que X_0 foi 0,066. Kiranoudis et al. (1993) reportam constantes q_0 para desorção de hortaliças, cujos valores são, em geral, inferiores àqueles de desorção para frutas. Entretanto, em baixas umidades, o calor isostérico líquido de desorção das hortaliças alcança valores bem superiores ao encontrado para frutas. Os mesmos autores reportam que o calor isostérico líquido de sorção para frutas é negligenciável sobre quase toda faixa de umidade, crescendo rapidamente em baixas umidades, enquanto que para hortaliças se mostra significativa em uma faixa mais larga de umidade. No presente trabalho, o comportamento da curva de adsorção do mamão foi semelhante aos encontrados para frutas, por Tsami et al. (1990). Entretanto, a curva de desorção de água obtida para o mamão apresentou um comportamento diverso do esperado a baixas umidades, mostrando calor de desorção menor que de adsorção.

5.7 Teoria Isocinética

A temperatura isocinética pode ser obtida traçando o gráfico de entalpia versus entropia, obtidos a partir das isotermas de sorção. Uma equação linear deve relacionar verdadeiramente a curva traçada e, dessa forma, o coeficiente angular descreverá a temperatura isocinética. O gráfico apresentado na Figura (21) contém apenas a função para isoterma de adsorção, pois no caso a isoterma de desorção não gerou uma equação linear verdadeira.

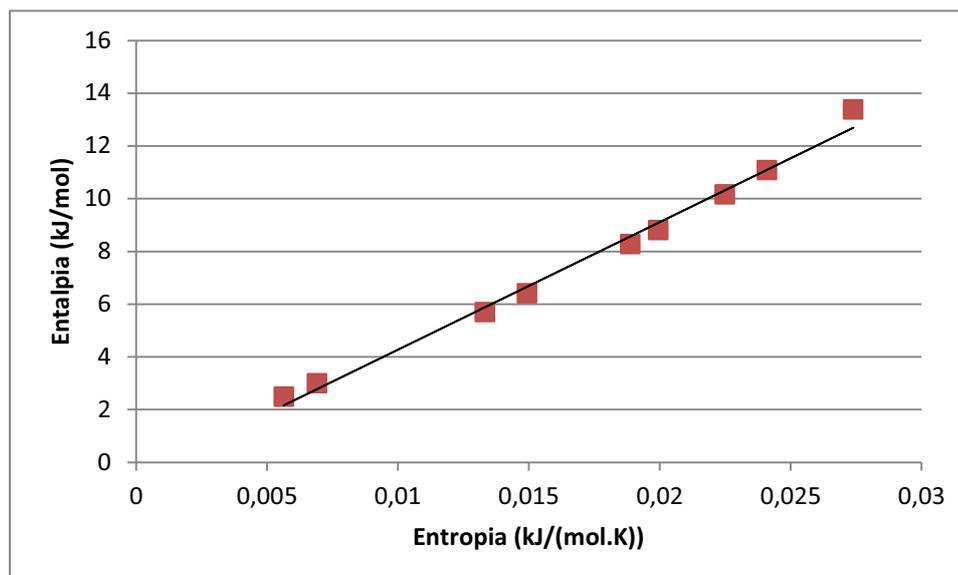


FIGURA 21: Gráfico de Variação da Entalpia x Variação da Entropia durante adsorção de mamão *in natura*, para a determinação da temperatura isocinética, coeficiente angular, e Energia de Gibbs, coeficiente linear.

Na Figura (21) é possível traçar uma função linear cujo coeficiente de determinação é igual a 0,991. A equação apresenta coeficiente angular de 484,5, o qual corresponde a temperatura isocinética em Kelvin. A equação (36), para determinação da temperatura harmônica, obtém-se o valor de $T_h=322,17$ K. De posse desses valores é possível determinar o tipo de controle de adsorção das moléculas de água sobre o alimento, utilizando-se o critério de Leffler (1955), o que leva a concluir que, no caso analisado, o controle é entálpico.

Também é possível obter a variação da energia de Gibbs, que é o coeficiente linear da reta traçada. O coeficiente de Gibbs, no caso, atinge valor de $-0,58$ kJ/mol, que indica a espontaneidade durante o processo de adsorção do mamão desidratado. Valores negativos para a variação da energia de Gibbs também foram obtidos para isoterma de adsorção de polpa de caqui desidratado (BENEDETTI-DAMY et al., 2010) e produtos amiláceos (AL-MUHTASEB et al., 2005). Neste último trabalho, foi reportado que aveia e flocos de aveia não apresentam espontaneidade de sorção.

Pela teoria defendida por Krug (1976), o experimento de adsorção apresenta rejeição da hipótese nula, pois a $T_{hm}= 322,17$ K está fora da faixa do intervalo de confiança do coeficiente angular, temperatura isocinética, que é entre $T_{B-}=444,11$ K e $T_{B+}=525$ K. Dessa forma, de acordo com Krug (1976), a diferença existente entre

T_{hm} e T_B é proveniente de processos químicos e físicos, o que reforça a teoria de controle entálpico do processo. Como não existe uma equação linear verdadeira que trace a isoterma de desorção, não é possível encontrar $V(T_B)$, que é dependente da energia de Gibbs, obtida à partir do coeficiente linear da reta.

5.8 Encolhimento

A espessura determinada por micrômetro foi de $0,90 \pm 0,05$ cm, antes da secagem, e após a secagem de $0,1 \pm 0,006$ cm. De posse das informações de espessura inicial e final, foi possível determinar uma equação linear em função do tempo que corresponde ao encolhimento da espessura. Esta aproximação para o encolhimento da espessura foi utilizada para as modelagens de transferência de massa considerando placa infinita e cilindro finito, ambos com encolhimento.

Conhecendo o volume inicial da amostra e sabendo a massa média de água evaporada em cada período de secagem, com valores obtidos através das pesagens ao longo da secagem, foi estimado o encolhimento do produto a cada período e, conseqüentemente, o encolhimento em cada uma das direções do produto. A Tabela (13) apresenta o encolhimento da espessura considerando a redução da espessura linear, bem como considerando a redução volumétrica na proporção da evaporação de água do produto.

Tabela 13: Determinação da espessura das amostra calculado de forma linear a partir dos dados de espessura inicial e final da amostra e com base no volume de água evaporado da amostra.

Tempo (min)	60 °C		70 °C	
	Linear	Vol. Água	Linear	Vol. Água
0	0,90 ± 0,05	0,90 ± 0,05	0,90 ± 0,05	0,90 ± 0,05
30	0,843 ± 0,001	0,884 ± 0,002	0,826 ± 0,005	0,882 ± 0,002
60	0,787 ± 0,003	0,869 ± 0,002	0,753 ± 0,01	0,861 ± 0,004
90	0,731 ± 0,005	0,853 ± 0,001	0,68 ± 0,016	0,838 ± 0,004
120	0,675 ± 0,007	0,835 ± 0,004	0,607 ± 0,021	0,806 ± 0,004
150	0,619 ± 0,009	0,813 ± 0,005	0,534 ± 0,027	0,639 ± 0,251
180	0,557	0,786 ± 0,007	0,461 ± 0,032	0,703 ± 0,019
210	0,506 ± 0,013	0,755 ± 0,014	0,373 ± 0,029	0,598 ± 0,056
240	0,442	0,703 ± 0,014	0,315 ± 0,043	0,499 ± 0,066
270	0,394 ± 0,017	0,654 ± 0,027	0,223 ± 0,037	0,379 ± 0,049
300	0,328	0,574 ± 0,016	0,169 ± 0,054	0,348 ± 0,042
330	0,281 ± 0,02	0,51 ± 0,046	0,1	0,335 ± 0,003
360	0,214	0,415 ± 0,02	0,1	0,33
390	0,169 ± 0,024	0,373 ± 0,051		
420	0,1	0,319 ± 0,059		
450	0,1	0,349		

Analisando as formas de determinação do encolhimento para cada temperatura de secagem, o *RMQR* entre as duas metodologias a 60 °C é de 35,37 % e o *RMQR* entre as duas metodologias a 70 °C é de 16,93 %. Embora não seja um *RMQR* extremamente alto, a diferença entre a medida experimental da espessura e a calculada pela variação do volume de água, claramente observada, quando se comparam os últimos valores de espessura na Tabela (5.11).

A redução do raio durante a secagem foi determinada através de análise de imagem dos registros fotográficos. A fração de encolhimento determinada pela análise através do algoritmo está presente na Tabela (14) e os resultados para porcentagem de encolhimento utilizando o AutoCAD estão presentes na Tabela (15).

Tabela 14: Encolhimento da área superficial das amostras de mamão desidratadas a 60 °C e 70 °C determinado por análise de imagens através de algoritmo para a contagem de pixels pretos na imagem.

Temperatura	Área Inicial (% de pixels pretos)	Área final (% de pixels pretos)	Encolhimento (%)
60 °C	1,275 ± 0,12	0,803 ± 0,1	36,99
70 °C	1,378 ± 0,04	0,903 ± 0,01	34,45

Tabela 15: Encolhimento da área superficial das amostras de mamão desidratadas a 60 °C e 70 °C determinado por análise de imagem utilizando AutoCAD para determinação da área inicial e final das amostras.

Temperatura	Área proporcional Inicial	Área proporcional final	Encolhimento (%)
60 °C	23,2 ± 0,67	12,53 ± 1,45	45,97
70 °C	23,26 ± 0,79	12,66 ± 1,11	45,55

Através do encolhimento da área foi determinado o encolhimento do raio aproximado, durante a secagem. Com isso foi possível determinar uma equação linear em função do tempo que corresponde diretamente ao encolhimento do raio durante a secagem, essas informações de tamanho do raio com o tempo para as análises foram utilizadas no modelo de cilindro finito com encolhimento.

Embora as porcentagens de encolhimento pareçam distintas quando comparados o algoritmo e o AutoCAD, a partir do momento que esses encolhimentos são transformados de área para raio, os valores ficam aproximados, Tabela (16). Nesta tabela também é possível observar o encolhimento radial causado pela consideração de redução do volume do sólido igual ao volume de água que evapora durante a secagem. Considerando-se a redução de umidade, o encolhimento da área superficial das faces planas da amostra, na secagem a 60 °C, foi de 63,66 ± 5,64 % e a 70°C, de 64,1 ± 2,47 %.

Tabela 16: Encolhimento do raio das amostras calculados à partir do algoritmo em Matlab, do AutoCAD e pela relação com a redução de volume de água.

Tempo (min)	60 °C			70 °C		
	Encolhimento de Raio (cm)			Encolhimento de Raio (cm)		
	Algoritmo	AutoCAD	Umidade	Algoritmo	AutoCAD	Umidade
0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
30	1,773 ± 0,001	1,766 ± 0,002	1,784 ± 0	1,766 ± 0,002	1,756 ± 0,003	1,782 ± 0,002
60	1,747 ± 0,002	1,732 ± 0,002	1,769 ± 0,001	1,732 ± 0,005	1,713 ± 0,006	1,76 ± 0,004
90	1,721 ± 0,003	1,699 ± 0,001	1,753 ± 0,002	1,698 ± 0,007	1,67 ± 0,009	1,736 ± 0,004
120	1,695 ± 0,004	1,665 ± 0,004	1,733 ± 0,003	1,664 ± 0,01	1,627 ± 0,012	1,703 ± 0,004
150	1,669 ± 0,005	1,632 ± 0,005	1,711 ± 0,004	1,63 ± 0,012	1,584 ± 0,016	1,488 ± 0,344
180	1,64 ± 0,006	1,598 ± 0,008	1,683	1,596 ± 0,015	1,541 ± 0,019	1,591 ± 0,021
210	1,617 ± 0,007	1,565 ± 0,016	1,649 ± 0,006	1,562 ± 0,017	1,489 ± 0,017	1,466 ± 0,07
240	1,587 ± 0,009	1,531 ± 0,016	1,591	1,528 ± 0,02	1,455 ± 0,025	1,338 ± 0,089
270	1,565 ± 0,01	1,498 ± 0,032	1,534 ± 0,007	1,495 ± 0,022	1,4 ± 0,022	1,166 ± 0,077
300	1,534 ± 0,011	1,464 ± 0,02	1,437	1,461 ± 0,025	1,369 ± 0,032	1,117 ± 0,07
330	1,513 ± 0,012	1,431 ± 0,06	1,355 ± 0,009	1,439 ± 0,017	1,328	1,099 ± 0,005
360	1,481 ± 0,013	1,397 ± 0,031	1,223	1,428	1,328	1,09
390	1,461 ± 0,014	1,364 ± 0,08	1,156 ± 0,011			
420	1,428 ± 0,015	1,33 ± 0,098	1,069			
450	1,428	1,323	1,122			

A Tabela (17) apresenta a relação dos valores de Raiz do Quadrado Médio do Resíduo, calculados para os desvios entre análises de encolhimento para secagem à mesma temperatura.

Tabela 17: Valores obtidos para *RMQR* entre as metodologias Matlab, AutoCAD e volume de água evaporado para determinar o encolhimento do raio à mesma temperatura de secagem.

	60 °C			70 °C		
	Algoritmo	AutoCAD	Água	Algoritmo	AutoCAD	Água
Algoritmo	0	0,06	0,177	0	0,063	0,118
AutoCAD	0,06	0	0,142	0,063	0	0,163
Água	0,177	0,142	0	0,118	0,163	0

Com os valores obtidos para encolhimento de espessura e raio foi possível modelar algumas hipóteses e observar as que melhor traçam uma solução. Utilizando as equações (37), para placa plana com ou sem encolhimento, e (38), para cilindro finito com ou sem encolhimento, e inserindo os dados obtidos pratica ou teoricamente foram encontrados vários valores para difusividade. A Tabela (18)

apresenta os resultados para as difusividades considerando ou não encolhimento em secagens a 60 °C e a 70 °C.

Tabela 18: Valores médios, desvio padrão e R^2 para difusividade efetiva, de mamão *in natura* seco a 60 °C e 70 °C, calculados à partir de modelos para placa plana e cilindro finito, considerando ou não o encolhimento.

Geometria	Forma de Determinação da Dimensão	Considerou encolhimento?		60 °C			70 °C				
		Espessura		Raio		Difusividade $\times 10^{10}$ (m ² /s)	R^2	MMR (%)	Difusividade $\times 10^{10}$ (m ² /s)	R^2	MMR (%)
		Sim	Não	Sim	Não						
Placa Plana	Micrômetro		X		X	7,84	0,962	139,32	10,61	0,958	166,81
	Micrômetro	X			X	2,95	0,972	48,31	4,07	0,983	56,36
	Vol. Água	X			X	6,17	0,992	41,51	8,25	0,991	59,98
Cilindro Finito	Micrômetro		X		X	5,35	0,927	41,94	7,28	0,923	41,62
	Micrômetro/Algoritmo	X			X	2,07	0,979	42,45	2,86	0,983	41,56
	Micrômetro/AutoCAD	X			X	2,06	0,98	37,23	2,84	0,983	50,02
	Vol. Água	X			X	4,07	0,973	305,48	5,43	0,969	382,63

Através da Tabela (18) é possível observar que a difusividade pode variar muito dependendo das condições assumidas para o problema. Quando a equação (38) é utilizada para expressar o encolhimento, a espessura resultará maior que a medida experimental. Isso mostra que há encolhimento preferencial da espessura em relação à área das faces planas da fatia. Assim, o coeficiente de difusão será maior e mais próximo ao determinado sem a consideração de encolhimento.

Além disso, é possível perceber, que a aproximação para placa plana infinita sem encolhimento apresentou os piores resultados para coeficientes de determinação do ajuste (R^2) e $RMQR$. Para a placa plana, os melhores resultados são das análises levando em consideração o encolhimento da espessura proporcional à redução da umidade da amostra. Esse fato já foi observado por Molina-Filho (2011) em secagem de fatias de abóbora, e foi justificado com base numa compensação entre aproximações, ou seja, utilizar a espessura maior compensaria a não consideração da diminuição da área de transferência de massa das faces planas da fatia, que não é contemplada na equação de Fick em uma dimensão.

Quando a amostra é analisada como um cilindro finito, a consideração de encolhimento pela redução de umidade da amostra durante a secagem não é eficiente como para placa plana, calculada nessa mesma condição. Nesse caso, para cilindros finitos, os melhores resultados foram encontrados quando as dimensões foram determinadas através das fotografias, independente da aplicação do algoritmo em Matlab[®] ou da utilização do AutoCAD. É importante destacar que o cilindro curto representa bem a geometria real da amostra, assim como o encolhimento preferencial. Portanto, é possível que o ajuste tenha melhorado devido à descrição mais precisa da funcionalidade que descreve o fenômeno de transferência.

Cabe sublinhar que a utilização de 6 termos para placa e 6 termos para cilindro foram suficientes para estabilizar o resultado, porém, matematicamente, o ajuste exige maior número de termos para diminuir os resíduos, em especial dos valores iniciais da curva de secagem, o que é dificultado pela capacidade dos programas estatísticos.

O trabalho de Kurozawa, Hubinger e Park (2012) apresenta valores para difusividade de mamão cortado em cubos em secagem a 70 °C, com encolhimento, igual 3×10^{-10} m²/s, muito próximo dos obtidos neste trabalho quando a amostra foi considerada cilindro finito e o encolhimento determinado por análise de imagens e micrômetro, nessa mesma temperatura. Uma vez que os resultados são similares ao proposto por Kurozawa et al. (2012), que utiliza uma função precisa da cinética de encolhimento, conclui-se que a metodologia simplificada, proposta neste trabalho, é uma aproximação válida para determinar uma difusividade efetiva menos empírica. Além disso, análise de imagem em AutoCAD[®] reproduziu os resultados obtidos por métodos mais complexos, se mostrando uma alternativa para a análise de encolhimentos.

6.CONCLUSÕES

Adição de coberturas previamente à secagem não afeta sensivelmente a difusividade, mostrando que as coberturas não diminuem a eficiência do processo de desidratação.

Uso de cobertura auxiliou a retenção da vivacidade da cor das amostras durante secagem e armazenamento. A amostra com cobertura de pectina e seca a 60 °C foi a que apresentou melhor retenção de cor. O uso desta cobertura promoveu a manutenção da cromaticidade durante secagem e armazenamento.

A aplicação de cobertura de pectina, seguida de secagem a 60 °C, também resultou na melhor capacidade de retenção de vitamina C da amostra durante todo período analisado, embora o conteúdo de vitamina C das amostras cobertas de pectina aditivadas de ácido ascórbico fossem maiores em massa. Esses resultados sugerem que as coberturas podem ser utilizadas como pré-tratamento à secagem, pois protegem compostos suscetíveis à oxidação durante a secagem, e podem servir como veículos de aditivos e nutrientes.

Aplicação de coberturas de pectina adicionadas de albumina causou alteração na cor e não foi mais eficiente, significativamente, que as coberturas de pectina pura na retenção de vitamina C.

A análise sensorial reafirma a viabilidade da utilização de cobertura comestível como forma de pré-tratamento à secagem, principalmente de coberturas adicionadas de vitamina C e secas a 70°C. Além disso, este trabalho expõe o desenvolvimento de um produto de grande potencial comercial devido à sua aceitação razoável de forma isolada e com possibilidade de ser utilizado como ingrediente de outros produtos.

A adsorção de água sobre o mamão desidratado é controlada pela entalpia e é espontânea.

A análise de encolhimento durante a secagem por análise de imagem com AutoCAD® ou com algoritmo especializado foi eficiente e a metodologia simplificada proposta neste trabalho apresentou resultados compatíveis aos da literatura.

7. TRABALHOS FUTUROS

Mais estudos com coberturas comestíveis aplicadas previamente à secagem devem ser feitos para elucidar as melhores condições de preparo, aplicação e de secagem. Ademais, a soma de novos resultados pode indicar qual a melhor combinação entre tipo de cobertura, concentração das soluções e utilização de aditivos.

Existe ainda o desejo de investigar materiais formadores de coberturas que forneçam boa barreira ao transporte de água após sua secagem. Isso possivelmente envolveria procedimentos ao longo do processo, como, por exemplo, a aplicação de uma nova substância nas etapas finais de secagem. O estudo da adsorção de água nesses produtos, associado às suas propriedades, permitiria determinar condições ideais de armazenamento e de consumo, com base em características sensoriais desejáveis.

Alem disso, mais dados sobre encolhimento devem ser determinados utilizando as metodologias propostas para certificar a reprodutibilidade dessas análises.

Outro estudo que pode ser conduzido é o de desenvolvimento de produtos utilizando o mamão desidratado como ingrediente. Atualmente é escassa a utilização de mamão na indústria e, por ser uma fruta que amadurece muito rápido, mesmo colhido, as perdas dessa fruta são grandes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, C.A.; AGUERRE, R.; GOMEZ, R.; VILADES, S.; ALZAMORA, S.M.; GERSCHENSON, L.N. (1995). Air dehydration of strawberries: effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. *Journal of Food Engineering*, 25, 167-178.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: Thermodynamic characteristics. *Journal of Food Engineering*. v. 62, n. 2, p. 135–142, 2004
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1984) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists 14th ed. Arlington: *Association of Official Analytical Chemists AOAC*.
- APOSTOLOPOULOS, D.; GILBERT, S. G. (1990) Water sorption of coffee solubles by frontal inverse gas-chromatography - thermodynamic considerations; *Journal of Food Science*; 55; 2; pp. 475-487.
- ATHAR, H.-u.-R., Khan, A.; Ashraf, M. (2008) Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, v. 63, 224-231.
- BAKER, R. A., BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M. O.; (1994) Edible coatings and films for processed foods. In KROCHTA, J. M. (Ed), *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality* (pp 89-104). Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Co.
- BeMILLER, J. N., HUBER, K. C. Carboidratos. Em S. DAMODARAN; K. L. PARKIN; O. R. FENNEMA (Ed) *Química dos Alimentos de Fennema*. Capítulo 3, pp. 76-129, 4ª edição, Artmed Editora S. A., Porto Alegre – RS.
- BENASSI, M.T.; ANTUNES, A.J. (1988) A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v. 31, n.4, p. 507-513.
- BENEDETTI-DAMY, P. C.; PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J. e TELIS, V. R. N. (2010) Effect of drying method on the sorption isotherms and isosteric heat of persimmon pulp powder. *Ital. J. Food Sci.*, n. 4, vol. 22.

- BERISTAIN, C. I.; DIAZ, R.; GARCIA, H. S.; AZUARA, E. (1994) Thermodynamic Behavior of green whole and decaffeinated coffee beans during adsorption. *Drying Technology*, 12; p 1221-1233.
- BOQUET, R., Chirife, J., Iglesias, H.A. (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of foods .2. evaluation of various 2-parameter models. *Journal of Food Technology*, 13 (4), 319-327.
- BRADLEY, D. J.; KJELLBOM, P.; LAMB, C. J. (1992) Elicitor- and wound-induced oxidative cross-linking of a proline-rich plant cell wall protein: A novel, rapid defense response. *Cell*, v. 70, 21-30.
- BRECHT, JEFFREY K.; RITENOUR, M. A.; HAARD, N. F.; CHISM, W. Fisiologia pós-colheita de tecidos vegetais comestíveis. Em S. DAMODARAN; K. L. PARKIN & O. R. FENNEMA (Ed) *Química dos Alimentos de Fennema*. Capítulo 17, pp 760-805, 4ª edição, Artmed Editora S. A., Porto Alegre – RS.
- CECCHI, H. M (1999) Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos. Editora da Unicamp, Cidade Universitária – Barão Geraldo – Campinas, SP.
- CHAN JR., H.T.; KWOK, S.C.M. (1975). Importance of enzyme inactivation prior to extraction of sugars from papaya. *Journal of Food Science*, 40 (4), 770-771.
- CODEX STAN 192-1995 (2011) CODEX GENERAL STANDARD FOR FOOD ADDITIVES, FAO, Revisada em 2011, pp. 1-271. Pode ser encontrado no site: <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/search.html?lang=en>. Acessado em 15 de maio de 2012.
- CRANK, J. (1975). The Mathematics of Diffusion. Second edition. London: Clarendon Press - Oxford.
- CUPPETT, S. L.; (1994) Edible coatings as carriers of food additives, fungicides and natural antagonists. In KROCHTA, J. M. (Ed), *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality* (pp 121-138). Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Co.
- CUQ., B.; GINTARD, N.; GUILBERT, S. (1995). Edible films and coatings as active layers. In ROONEY, M. L. (Editor), *Edible Active Layer*. London: Blackie Academic & Professional.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. (2010) Química dos Alimentos de Fennema. 4ª edição, Artmed Editora S. A., Porto Alegre – RS.

- DISSA, A. O.; DESMORIEUX, H.; BATHIEBO, J.; KOULIDIATI, J. (2008) Convective drying characteristics of Amelie mango (*Mangifera Indica* L cv. 'Amelie') with correction for shrinkage, *Journal of Food Engineering*, 88, 429-437.
- DOLATABADIAN, A.; SANAVY, S. A. M. M.; CHASHMI, N. A. (2008) The effects of foliar application of ascorbic acid (vitamin C) on antioxidant enzymes activities, lipids peroxidation and proline accumulation of canola (*Brassica napus* L.) under conditions of salt stress. *Journal Agronomy & Crop Science*, v. 194, 206-213.
- DONHOWE, I. G.; FENNEMA, O. (1994). Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions, and testing methods. In KROCHTA, J. M. (Ed), *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality* (pp 1-24). Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Co.
- EIK, N.M. (2008) *Avaliação de pré-tratamentos e a aplicação de coberturas comestíveis sobre a secagem de frutas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, SP, Brasil.
- EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; BARBOSA-Jr, J. L.; MURR, F. E. X. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.
- ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. (2004) Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model, *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359.
- FAOSTAT (2010) - FAO Statistical Databases. Disponível em <http://faostat.fao.org/faostat>. Acessado em 25 de agosto de 2012.
- FERNANDES, F.A.N., RODRIGUES, S., GASPARETO, O.C.P., OLIVEIRA, E.L. (2006) Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International*, Amsterdam, 39, 492-498.
- Fernandes, F.A.N.; Oliveira, F.I.P.; Rodrigues, S. (2008) Use of ultrasound for dehydration of papayas. *Food and Bioprocess Technology*, 1, 1–5.
- FERRO-FONTAN, C.; CHIRIFE, J.; SANCHO, E.; IGLESIAS, H. A. (1982); Analysis of a Model for Water Sorption Phenomena in Foods; *Journal of Food Science*; 47; 5; p. 1590-1594.
- GARA, L.; TOMMASI, F.; LISO, R.; ARRIGONI, O. (1991) Ascorbic acid utilization by prolyl hydroxylase *in vivo*. *Phytochemistry*, v. 30, n. 5, 1397-1399.

- GARCIA, C.C. *Avaliação da desidratação de mamão utilizando métodos combinados*. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2012.
- GODOY, H.T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. (1994) Occurrence of cis-isomers of provitamin A in Brazilian fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 1306-1313.
- GONÇALVES, J.A. (2010) *Secagem de Carambolas (Averrhoa Carambola L.): Desenvolvimento e Aplicação de Coberturas Comestíveis Aditivadas com Agentes Antioxidantes Naturais para a Conservação de suas Propriedades Funcionais*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2010.
- HAWLADER, M.N.A.; PERERA, C.O.; TIAN, M.; YEO, K.L. Drying of guava and papaya: impact of different drying methods. *Drying Technology*, Philadelphia, 24, 77–87, 2006.
- JOWITT, R.; ESCHER, F.; HOLLSTOM, H.F.T.; MEFFERT, W.E.L.; SPIESS, (Editors) (1987). *Physical properties of foods: COST 90*. London: Elsevier.
- KAUR, C.; KAPOOR, H. C. (2001) Antioxidants in fruits and vegetables – the millennium’s health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 703-725.
- KAVI KISHOR, P. B.; HONG, Z.; MIAO, G.-H.; HU, C.-A. A.; VERMA, D. P. S. (1995) Overexpression of Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiology*, v. 108, 1387-1394.
- KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; YOKOYAMA, S.M. (1991). Cultivar differences and geographic effects on the carotenoid composition and vitamin A value of papaya. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 24, 415-418.
- KIRANOUDIS, C. T.; MAROULIS, Z. B.; TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D. (1993) Equilibrium Moisture Content and Heat of Desorption of Some Vegetables, *Journal Of Food Engineering*, 20, 55-74.
- KROCHTA, J. M.; BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M.; (1994) *Edible Coatings and Films to Improve Foods Quality*; Technomic Publishing Company, Inc.; Lancaster, Pennsylvania, E.U.A.

- KRUG, R. R.; HUNTER, W. G.; GRIEGER, R. A. (1976a) Enthalpy-Entropy Compensation. 1. Some Fundamental Statistical Problems Associated with the Analysis of van't Hott and Arrhenius Data. *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. 80, N^o. 21.
- KRUG, R. R.; HUNTER, W. G.; GRIEGER, R. A. (1976b) Enthalpy-Entropy Compensation. 2. Separation of the Chemical from the Statistical Effect. *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. 80, N^o. 21.
- KUROZAWA, L. E., HUBINGER, M. D., & PARK, K. J. (2012) Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying. *Journal of Food Engineering*, v. 108, 43-50.
- LABUZA, T. P. (1980); Enthalpy-Entropy compensation in food reactions; *Food Technology*; 34; 2; p. 67-77.
- LACERDA, M. A. D. de; LACERDA, R. D. de; ASSIS, P. C (2004). A participação da fruticultura no agro negócio brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 4 (1), 1-9. Universidade Estadual da Paraíba. EDUEP, Editora Universitária. Disponível em http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/sumario_v4_n1.htm. Acessado em 15 agosto 2012.
- LAGO-VANZELA, E. S.; NASCIMENTO, P.; FONTES, E. A. F.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. (2013) Edible coating from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. *LWT- Food Science and Technology*, v. 50, 420-425.
- LECHEVALIER, VALÉRIE; JEANTET, ROMAIN; ARHALIASS, ABDELLAH; LEGRAND, JACK; NAU, FRANÇOISE (2007) Egg white drying: Influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities, *Journal of Food Engineering*, 83, , 404–413.
- LEFFLER, J. E. (1955) The enthalpy-entropy relationship and its implications for organic chemistry. Contribution from the Department of Chemistry, Florida State University, vol. 20, 1202-1231.
- LEMUS-MONDACA, R. MIRANDA, M. ANDRES GRAU, A; BRIONES, V.; VILLALOBOS R.; VEGA-GÁLVEZ, A. (2009) Effect of Osmotic Pretreatment on Hot Air Drying Kinetics and Quality of Chilean Papaya (*Carica pubescens*). *Drying Technology*, v. 27, 1105–1115.
- LEWICKI, PIOTR P. (1997) The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms, *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 533-557.

- LINDSAY, R. C. Aditivos Alimentares. Em S. DAMODARAN; K. L. PARKIN; O. R. FENNEMA (Ed) *Química dos Alimentos de Fennema*. Capítulo 11, pp. 537-583, 4ª edição, Artmed Editora S. A., Porto Alegre – RS.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. (1985). Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetables and meat products. *Lebensmittel- Wissenschaft und Technologie*, 18 (2), 111-117.
- LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WENTI, J.; CORTE, P.; ARGAIZ, A. (1997) Moisture sorption characteristics of blanched and osmotically treated apples and papayas; *Drying Technology*; 15 (3&4); pp. 1173-1185.
- LUMRY, R. (2003) Uses of enthalpy-entropy compensation in protein research; *Biophysical Chemistry*; Vol. 105; p. 545-557.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. (1996) Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. *Journal of Food Engineering*, 28 pp. 109-119.
- MASKAN, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- MEDINA, J. C.; Mamão, cultura. MEDINA, J. C.; GARCIA, J. L. M.; SALOMÓN, E. A. G.; VIEIRA, L. F.; RENESTO, O. V.; FIGUEIREDO, N. M. S. de; CANTO, W. L. do; (1980) Mamão – da cultura ao processamento e comercialização; ITAL, Série frutas tropicais nº7, Imprensa Oficial do Estado S/A – São Paulo – Brasil.
- MEDINA-TORRES, L.; CALDERAS, F.; GALLEGOS-INFANTE, J. A.; GONZALES-LAREDO, R.-F.; ROCHA-GUZMAN, N.-E.; HARTE, F. (2010) Mechanical Properties of Ovalbumin Gels Formed at Different Conditions of Concentration, Ionic Strength, pH, and Aging Time, *Food and Bioprocess Technology*, vol.3, 1, p.150-154.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. (1999) *Sensory Evaluation Techniques*. (3rd Edition) United States of America: CRC Press, (Chapter 12).
- MOLINA-FILHO, L.; Influência de variáveis de processo sobre a cinética de secagem de abóbora (*Cucurbita moschata*). 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2011.
- MONTGOMERY, D. C. (2001) *Design and Analysis of Experiments*. (5th Edition) United States of America: John Wiley & Sons, Inc., (Chapter 3)

- MUJUMDAR, A. S. (1997). Drying Fundamentals. In C. G. J. Baker (Ed.), *Industrial Drying of Foods*. Baker, (pp 7-30). London: Blackie Academic & Professional.
- MUJUMDAR, A. S. (2004). Role of IDS in promoting innovation and global R&D effort in drying technologies. In Proceedings of 14th International Drying Symposium (IDS 2004), São Paulo, Brazil, 22-25-August, vol A, 101-11
- MUJUMDAR, A. S. & LAW, C. L. (2010) Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing, Food Bioprocess Technology, v. 3, pp.843–852
- MURPHY, E. W.; CRINER, P. E.; GRAY, B. C. (1975) Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. *Journal Agricultural Food Chemistry*, v. 23, n.6.
- NIETO, A.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. (2001) Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, v. 50, p.175-185.
- NUNES, R. V.; ROTSTEIN, E. (1991) Thermodynamics of the water-foodstuff equilibrium. *Drying Technology*, 9, 113-117.
- OKOS, M. R.; NARSIMHAN, G.; SINGH, R. K.; WEITNAVER, A. C. (1992) Food dehydration. In: Heldman, D.R.; Lund, D.B. (Ed.) *Handbook of food engineering*. New York: Marcel Dekker, Inc. 1992, p. 437-562.
- PARANÁ, D. N. S.; (2001) *Física: Termologia, Óptica e Ondulatória*. Editora Ática, 5ª edição, 2ª impressão, vol. 2, São Paulo – SP.
- RADHAKRISHNAN, R.; LEELAPRIYA, T.; KUMARI, B. D. R. (2012) Effect of pulse magnetic field treatment of soybean seeds on calli growth, cell damage, and biochemical changes under salt stress, *Bioelectromagnetics*, 33, 670-681.
- RAMESH, M. N.; WOLF, W.; TEVINI, D.; JUNG, G. (2001). Influence of processing parameters on the drying spice paprika. *Journal of Food Engineering*, 49, 63-72.
- RIZVI, S. S. H. (1995) Thermodynamic properties of foods in dehydration. In M. A. RAO; S. S. H. RIZVI (Eds.), 2nd ed, revised and expanded, *Engineering properties of foods* (p. p. 133-214). New York: Marcel Dekker.
- RIZVI, S.S.H.; A.L. Benado (1984). Thermodynamic properties of dehydrated foods. *Food Technol.*, 38, 83-92.

- ROBERTSON, W. B.; HIWETT, J.; HERMAN, C. (1958) The relation of ascorbic acid to the conversion of proline to hidroxiprolina in the synthesis of collagen in the carrageenan granuloma, *Ascorbic Acid in Hydroxyproline and Collagen Synthesis*, v. 234, No. 1.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. (1996). Assessment of the provitamin A contents of foods - the Brazilian experience. *Journal of Food Composition and Analysis*, 3, 196-229.
- SANTOS, P.H.S.; SILVA, M.A. (2008), Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables - A Review, *Drying Technology*, Vol. 26, pp. 1421–1437.
- SHI, J.; LE MAGUER, M.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A.; NIEKAMP, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration, *Food Research International* 32,15-21.
- SILVA, M. C. A. da; TARSITANO, M. A. A; CORRÊA, L. S. (2004) Análise do custo de produção e lucratividade do mamão formosa, cultivado no município de Santa Fé do Sul (SP). *Rev. Bras. Frutic.*, vol. 26, n. 1, p. 40-43, Jaboticabal - SP, Abril.
- SOC. PROD. NESTLÉ S.A.(1990); Hydrophobic barrier layers for foods prods. – applied from an aq. Mixt. Contg. Egg, milk protein and opt. pregelatinised starch; R(AT BE CH DE DK ES FR GB IT LI LU NL SE) Pat. 90-321928/43; 17 de março de 1990.
- SPIEGEL, M. R. (1985) *Estatística*, 2. Ed. São Paulo, McGraw-hill do Brasil. 453p.
- TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. (2004) Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *Journal of Food Engineering*, 61, 253-259.
- TIRAPEQUI, J.; ROGERO, M. M. (2007) *Metabolismo de Proteínas*. In Rebeca Cralota de Angelis & Julio Tirapequi (Org.) *Fisiologia da Nutrição Humana. Aspectos Básicos, Aplicados e Funcionais* (pp 69-109), 1ª edição, São Paulo Atheneu.
- TREYBAL, R. E. (1987) *Diffusion in Solids*, In Robert E. Treybal (Ed) *Mass-Transfer Operations*, capítulo 4, McGraw-Hill Book Company, Inc., 3ª edição, United States of America.

- TSAMI, E.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G. D. (1990) Heat of sorption of water in dried fruits; *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 25; p. 350-359.
- USDA (2012). U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2012. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 25. Open software SR25 downloaded from Nutrient Data Laboratory Home Page, <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>. December, 2012.
- VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. (1981) Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects in water activity: influences on food quality, Ed. L.B. Rockland and G.F. Stewart, Academic Press, New York.
- VAZQUEZ-OCHOA, R. I.; COLINAS-LEON, M. T. (1990) Changes in guavas of three maturity stages in response to temperature and relative humidity. *HortScience*, Alexandria, v. 25, n. 1, p. 86-87.
- VEGA-GÁLVEZ, A., LEMUS-MONDACA, R., FITO P.; ANDRÉS A. (2007) Moisture Sorption Isotherms and Isothermic Heat of Red Bell Pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Science*, Chicago, Illinois, v. 13; p. 309-316.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PEREZ-WON, M.; (2009) Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var Hungarian). *Food Chemistry*, 117, 647-653.
- WAWIRE, M., OEY, I., MATHOOKO, F., NJOROGI, C., SHITANDA, D. and HENDRICKX, M. (2011), Thermal Stability of Ascorbic Acid and Ascorbic Acid Oxidase in African Cowpea Leaves (*Vigna unguiculata*) of Different Maturities, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Vol. 59, pp. 1774–1783.
- WONG, D. W. S., CAMIRAND, W. M., PAVLATH, A. E. (1994). Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables. In: KROCHTA, J. M. (Ed). *Edible coatings and films to improve food quality*. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Co., Inc., pp. 65-88.
- ZHAO, Y. P.; CHANG, K. C. (1995); Sulfite and starch affect color and carotenoids of dehydrated carrots (*Daucus carota*) during storage. *Journal of Food Science*. Chicago, 60, 324-347.

Anexo 1:

Conversão da imagem para preto e branco utilizando o ImageJ®.

Foi utilizada uma ferramenta para ajuste de contraste (Image > Adjust > Brightness/Contrast), no caso o fundo ficou branco e as amostras ficaram amarelas com o aumento do contraste e do brilho. Em contraste e brilho suficientes para possível visualização das amostras e, se possível, nenhuma outra imagem foi feito o equilíbrio do histograma das cores (Process > Enhance Contrast > Equalize histogram). Com isso, as cores das amostras ficaram com coloração homogênea. Após a equalização foi feita a mudança da cor para preto e branco (Image > Color > Split Channels), assim, todas as figuras visíveis tornavam-se pretas. Essas figuras, Figura 22, eram salvas com a devida identificação e analisadas posteriormente com o algoritmo em Matlab® 2008.



FIGURA 22: Imagem obtida após conversão para preto e branco de uma das imagens das amostras secas a 70°C.

Anexo 2:

Análise de cor em coordenadas retangulares e cilíndricas.

As análises de cor foram obtidas em coordenadas retangulares e transformadas em coordenadas cilíndricas, todos os valores estão apresentados na Tabela (19). Alterações mais sensíveis em relação ao controle foram observadas nos parâmetros b^* e Chroma das amostras cobertas de pectina com albumina de forma pontual e dispersa. Nas amostras cobertas com pectina e, principalmente, na de pectina adicionada de vitamina C, as alterações são menos significativas.

Durante o processo de secagem, a cromaticidade das amostras frescas foi significativamente reduzida, fato não observado em nenhuma das amostras pré-tratadas, exceto naquelas revestidas com pectina adicionada de ácido ascórbico. Outro ponto importante foi a redução da cromaticidade nas amostras secadas em revestimento, durante o armazenamento, o que também ocorreu nas amostras secas pré-tratadas com pectina adicionada de ácido L-ascórbico.

Logo, coberturas de pectina e pectina adicionada de albumina protegeram as amostras contra redução da cromaticidade durante secagem e armazenamento. O ângulo Hue aumentou para todas as amostras durante a secagem ou o armazenamento. Isto demonstra a tendência do mamão desidratado ficar amarelado com o processamento e o armazenamento. O parâmetro L^* das amostras se mantém constante ou aumenta durante a secagem e armazenamento.

As menores variações de cor do produto durante a secagem e o armazenamento foram obtidas pelos tratamentos à base de pectina e tratamentos com pectina adicionada de albumina, ambos para as secagens a 60°C. Essa mesma consideração pode ser observada na Tabela (19).

Tabela 19: Resultados para parâmetros CIELAB de cor obtidos por diferentes tratamentos em diferentes períodos do processo.

Parâmetros	Controle		Pectina		Pectina + Albumina		Pectina + Vitamina C	
	60°C	70°C	60°C	70°C	60°C	70°C	60°C	70°C
Antes da secagem	L*	56,03 ± 4,35 ^{aB}	57,82 ± 4,62 ^{aA}	51,97 ± 2,09 ^{bB}	57,66 ± 3,12 ^{aA}	52,98 ± 2,78 ^{bB}	54,35 ± 2,8 ^{abA,B}	52,05 ± 4,05 ^{bB}
	a*	34,13 ± 4,12 ^{aA}	29,55 ± 4,07 ^{b,cA}	35,96 ± 1,19 ^{aA}	29,01 ± 4,48 ^A	33,13 ± 2,72 ^{a,bB}	34,51 ± 2,87 ^{aA}	35,48 ± 3,28 ^{aA}
	b*	44,39 ± 3,45 ^{aA}	44,39 ± 3,45 ^{aA}	46,38 ± 2,8 ^{aA}	39,51 ± 3,17 ^{bB}	38,93 ± 4,39 ^{bB}	44,72 ± 2,64 ^{aA,B}	45,05 ± 2,49 ^{aA,B}
	Croma	56,07 ± 4,49 ^{abA}	53,43 ± 2,51 ^{b,cB}	58,71 ± 2,68 ^{aA}	49,08 ± 4,81 ^{dB}	51,16 ± 4,71 ^{c,dB}	56,53 ± 3,22 ^{abA}	57,37 ± 3,72 ^{abA}
Hue	52,53 ± 3,14 ^{bC}	52,53 ± 3,14 ^{bB}	56,4 ± 4,15 ^{aB}	52,17 ± 1,4 ^{b,cD}	53,87 ± 3,06 ^{abB}	49,5 ± 2,42 ^{cC}	52,35 ± 2,25 ^{b,cC}	51,83 ± 1,8 ^{b,cC}
Após secagem	L*	58,35 ± 3,93 ^{a,b,cA}	57,34 ± 3,63 ^{b,cA}	60,56 ± 2,39 ^{abA}	57,42 ± 3,55 ^{a,b,cA}	60,81 ± 4,12 ^{aA}	55,61 ± 3,43 ^{c,dA,B}	54,33 ± 3,39 ^{dA,B}
	a*	30,49 ± 3,13 ^{aB}	30,59 ± 3,62 ^{aB}	29,98 ± 2,36 ^{aA}	32,47 ± 2,01 ^{aB}	29,2 ± 3,38 ^{aA}	31,23 ± 2,85 ^{aB}	31,48 ± 2,97 ^{aB}
	b*	40,72 ± 2,62 ^{dB,C}	43,89 ± 3,23 ^{cA}	46,12 ± 2,11 ^{ab,cA}	47,74 ± 3,36 ^{abA}	48,17 ± 3,55 ^{aA}	44,68 ± 3,89 ^{b,cA,B}	45,59 ± 3,65 ^{ab,cA}
	Croma	50,92 ± 3,31 ^{cB}	53,6 ± 3,6 ^{b,cB}	55,03 ± 2,74 ^{a,b,cA,B}	57,81 ± 2,67 ^{aA}	56,44 ± 3,17 ^{abA}	54,59 ± 3,79 ^{ab,cA}	55,5 ± 3,51 ^{a,bA,B}
Hue	53,22 ± 2,72 ^{cB,C}	55,16 ± 3,49 ^{b,cA}	57 ± 1,67 ^{abA,B}	55,71 ± 2,84 ^{ab,cC}	58,74 ± 3,8 ^{aA}	55,27 ± 2,3 ^{b,cB}	54,99 ± 3,16 ^{b,cA,B}	55,34 ± 3,24 ^{b,cA,B}
3° dia de armazenamento	L*	58,34 ± 3,67 ^{abA}	55,46 ± 3,23 ^{b,cA}	59,67 ± 3,44 ^{aA}	58,55 ± 2,48 ^{abA}	59,87 ± 4,79 ^{aA}	56,41 ± 3,91 ^{a,bA,B}	53,8 ± 3,11 ^{cA,B}
	a*	31,01 ± 2,3 ^{aB}	30,62 ± 3,61 ^{aB}	29,22 ± 2,38 ^{aA}	31,39 ± 1,75 ^{aB}	29,45 ± 4,01 ^{aA}	30,73 ± 2,16 ^{aA}	31,37 ± 2,69 ^{aB}
	b*	42,45 ± 3,37 ^{cB,C}	44,11 ± 2,53 ^{b,cA}	46,61 ± 2,94 ^{abA}	48,21 ± 2,33 ^{aA}	47,17 ± 2,45 ^{abA}	46,61 ± 3,04 ^{abA}	45,84 ± 3,67 ^{abA}
	Croma	52,63 ± 3,39 ^{cB}	53,79 ± 3 ^{b,cB}	55,08 ± 2,53 ^{a,b,cA,B}	57,55 ± 2,29 ^{aA}	55,74 ± 2,59 ^{abA}	55,87 ± 3,09 ^{abA}	55,65 ± 3,7 ^{abA}
Hue	53,8 ± 2,47 ^{aB,C}	55,29 ± 3,46 ^{abA}	57,88 ± 2,94 ^{ab,cA,B}	56,91 ± 1,79 ^{ab,cB,C}	58,08 ± 4,07 ^{b,c,dA,B}	56,58 ± 2,13 ^{b,c,dA,B}	55,48 ± 2,49 ^{c,dA,B}	54,86 ± 2,7 ^{dB}
9° dia de armazenamento	L*	59,04 ± 2,98 ^{aA}	58,26 ± 3,99 ^{aA}	59,69 ± 1,95 ^{aA}	59,67 ± 3,47 ^{aA}	59,61 ± 4,96 ^{aA}	53,76 ± 2,63 ^{bB}	54,89 ± 3,15 ^{bA}
	a*	29,34 ± 2,51 ^{a,bB}	28,57 ± 3,6 ^{abB}	29,69 ± 1,37 ^{abA}	30,21 ± 2,13 ^{abC}	27,36 ± 4,23 ^{bA}	30,46 ± 2,19 ^{aB}	30,27 ± 2,97 ^{aB}
	b*	42,01 ± 2,5 ^{dB,C}	43,37 ± 2,26 ^{c,dA}	48,79 ± 1,56 ^{abA}	49,56 ± 3,74 ^{aA}	45,21 ± 3,2 ^{b,cA}	41,89 ± 3,32 ^{dB}	44,36 ± 2,88 ^{cA,B}
	Croma	51,28 ± 2,95 ^{cB}	52,03 ± 2,84 ^{b,cB,C}	57,14 ± 1,23 ^{aA}	58,14 ± 2,62 ^{aA}	52,98 ± 3,51 ^{b,cA,B}	51,85 ± 3,13 ^{b,cB}	53,78 ± 2,9 ^{bB}
Hue	55,09 ± 2,2 ^{b,cA,B}	56,69 ± 3,53 ^{abA}	58,67 ± 1,68 ^{abA,B}	58,53 ± 3,31 ^{a,bA,B}	58,87 ± 4,34 ^{aA}	53,92 ± 2,66 ^{cB,C}	55,69 ± 3,16 ^{b,cA,B}	
30° dia de armazenamento	L*	57,84 ± 4,36 ^{abA,B}	56,16 ± 5,85 ^{b,cA}	61,11 ± 2,78 ^{aA}	59,48 ± 3,02 ^{abA}	60,12 ± 3,87 ^{aA}	57,49 ± 3,7 ^{ab,cA}	52,74 ± 3,62 ^{cA,B}
	a*	26,27 ± 3,43 ^{cC}	27,83 ± 3,65 ^{aB}	25,87 ± 3,2 ^{aA}	28,71 ± 1,56 ^{cC}	25,72 ± 3,41 ^{aA}	26,96 ± 2,35 ^{cC}	27,99 ± 2,87 ^{aC}
	b*	39,92 ± 2,64 ^{eC}	41,93 ± 2,84 ^{d,eB}	46,71 ± 2,48 ^{abA}	49,71 ± 2,78 ^{aA}	45,56 ± 2,91 ^{b,cA}	41,54 ± 3,62 ^{d,eB}	43,12 ± 3,04 ^{c,dB}
	Croma	47,9 ± 2,88 ^{dC}	50,45 ± 2,88 ^{cC}	53,48 ± 2,75 ^{bB}	57,45 ± 2,3 ^{aA}	52,38 ± 3,65 ^{b,cA,B}	49,57 ± 3,71 ^{c,dB}	51,48 ± 3,22 ^{b,cC}
Hue	56,69 ± 3,94 ^{cA}	56,46 ± 4,26 ^{cA}	61,05 ± 3,2 ^{aA}	59,94 ± 2,18 ^{abA}	60,63 ± 2,94 ^{aA}	56,97 ± 2,51 ^{b,cA}	57,02 ± 2,98 ^{b,cA}	

