

ANA MARÍA CHAUX GUTIÉRREZ

Desidratação de polpa de manga em leito de espuma com e sem
intermitência térmica

São José do Rio Preto
2015

Ana María Chaux Gutiérrez

Desidratação de polpa de manga em leito de espuma com e sem intermitência
térmica

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração - Engenharia 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

Co-orientadoras:

Prof.^a. Dr.^a Adriana Barbosa Santos

Prof.^a. Dr.^a Diana María Granda Restrepo

São José do Rio Preto
2015

Chaux Gutiérrez, Ana Maria.

Desidratação de polpa de manga em leito de espuma com e sem intermitência térmica / Ana Maria Chaux Gutiérrez. -- São José do Rio Preto, 2015
123 f. : il., tabs.

Orientadora: Maria Aparecida Mauro

Coorientadora: Adriana Barbosa Santos

Coorientadora: Diana Maria Granda Restrepo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Polpa de frutas - Secagem. 3. Manga (Fruta)
4. Difusividade térmica. 5. Albumina. 6. Carotenóides. 7. Microscopia eletrônica de varredura. I. Mauro, Maria Aparecida. II. Santos, Adriana Barbosa. III. Granda Restrepo, Diana Maria. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. V. Título.

CDU – 66.047

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Ana María Chaux Gutiérrez

Desidratação de polpa de manga em leite de espuma com e sem intermitência
térmica

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração - Engenharia 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.

Comissão Examinadora

Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro
UNESP – São José do Rio Preto
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti Telis
UNESP-São José do Rio Preto

Prof. Dr. Gustavo César Dacanal
USP – Pirassununga-SP

São José do Rio Preto

2015

*A mi familia que siempre ha sido mi apoyo
Y mi fortaleza.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por estar sempre do meu lado abençoando-me em todos meus atos e decisões para atingir meus objetivos.

A minha família que sempre tem sido meu motor, por ter-me dado todo o amor e apoio nessa etapa de minha vida.

À Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro, pela orientação, confiança, conhecimento, apoio, incentivo, dedicação e paciência, e por estar sempre disposta a ajudar-me em todos os momentos que precisei.

Ao o Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi, pela confiança e ajuda em todo meu processo para ingressar ao mestrado.

Aos professores Dr. João Claudio Thomeo, Dra. Vânia Nicoletti Telis, Dr. Javier Telis, Dra. Ana Caroline Conti e Silva, Dr. José Francisco Lopes Filho, Dr. Maurizio Babini e Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi, pelas disciplinas ministradas que foram de grande importância para minha formação.

Aos professores Dr^a. Vânia Nicoletti Telis, Dr. Gustavo Dacanal e Dr. José Roberto Finzer, por ter participado da minha qualificação e defesa, por suas valiosas sugestões para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos técnicos de laboratório Jesuíno, Ginaldo e Luiz por estar sempre à disposição no desenvolvimento da minha pesquisa.

As minhas “amiguitas” de laboratório Katieli, Ana Filippin e Laís, por sua ajuda, amizade e pelas conversas e risadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos.

Ao LMA-IQ pela disponibilidade de utilização do microscópio eletrônico de varredura.

À Profa.Dr^a Vânia Nicoletti Telis e Caroline Aranha pela disponibilidade e ajuda na utilização calorímetro diferencial de varredura.

À Profa.Dr^a Célia Maria Landi Franco e Jefferson Barros pela disponibilidade e ajuda na utilização do Difratômetro de Raios X.

A todas as pessoas que fizeram parte deste processo.

A Zequi pela ajuda incondicional, pelo amor e por todos os conselhos para ser uma melhor pessoa cada dia.

RESUMO

A secagem em leito de espuma e a intermitência térmica têm sido desenvolvidas com o intuito de obter produtos alimentícios de boa qualidade e melhorar a eficiência energética do processamento. O objetivo deste trabalho foi investigar parâmetros de processo de secagem em leito de espuma, com e sem intermitência térmica, e avaliar seus efeitos sobre propriedades físicas e nutricionais de pó de manga. Foram estudados os efeitos da temperatura (60 – 80) °C, da concentração de *Emustab* (2% p/p), da Albumina (10% p/p) e da sua mistura, e da intermitência térmica sobre a cinética de secagem, da espuma de manga a manutenção da cor, o teor e a retenção de carotenoides e a solubilidade do produto desidratado, mediante um planejamento fatorial 2³. A intermitência térmica foi aplicada através da redução de 20 °C de temperatura por determinado período, durante a secagem, com posterior retorno à temperatura inicial de secagem. As espumas produzidas apresentaram elevados coeficientes efetivos de difusão de água, o que permitiu atingir baixas umidades e atividades de água em tempos curtos de processo. A intermitência térmica apresentou valores de difusividade ligeiramente maiores, quando determinados como coeficientes médios sobre todo o processo de secagem. Os parâmetros de cor L^* e b^* da manga em pó foram afetados pelo tipo e pela concentração dos agentes espumantes, sendo que as espumas produzidas com *Emustab* apresentaram os pós mais claros. Os parâmetros a^* e °Hue foram afetados pela temperatura, concentração de *Emustab* e de Albumina, sendo que o *Emustab* foi o fator mais significativo sobre a cor vermelha (a^*) e o valor de Hue, promovendo a diminuição do primeiro e o aumento do segundo, o que proporcionou uma tonalidade amarelo-alaranjada própria da manga.

Expressivas porcentagens de retenção de carotenoides foram obtidas com espumas produzidas a partir de Albumina e da mistura de Albumina-*Emustab* a 80°C, cujos valores foram 88,9 e 78,5%, respectivamente. A intermitência térmica incrementou a porcentagem de retenção de carotenoides dos pós desidratados a 80 °C que continham apenas *Emustab* (de 60,7 para 72,9 %). O valor máximo de solubilidade foi atingido para o pó produzido com *Emustab* a 60°C (90%). Pode-se concluir que a adição de agentes espumantes permite obter produtos de baixa umidade e atividade de água, em períodos curtos de processamento de até 3 horas, mantendo retenções altas de carotenoides e com manutenção da cor. Das etapas anteriores foram selecionados os pós de manga produzidos à temperatura de secagem de 80 °C, determinando-se isotermas de adsorção (30 °C), propriedades térmicas e morfológicas. As isotermas de adsorção dos pós apresentam um comportamento tipo III. O modelo de GAB representou o comportamento de adsorção dos pós de Albumina, *Emustab* e sua mistura. Os

resultados indicaram que os pós de manga produzidos apenas com *Emustab* necessitam condições de armazenamento mais rigorosas, devido ao valor baixo da monocamada, enquanto que os pós produzidos com Albumina apresentam maior estabilidade. Dos resultados obtidos pela microscopia eletrônica de varredura, as partículas dos pós que continham Albumina apresentaram uma morfologia rugosa e porosa, com poros de tamanho heterogêneo, enquanto que nos pós apenas com *Emustab*, foram observadas estruturas lisas e com poros de tamanhos homogêneos. Das análises térmicas, os pós de manga produzidos com Albumina, *Emustab* e Albumina-*Emustab* não apresentaram transições vítreas na faixa de -50 °C a 200 °C. O pó de manga que continha apenas *Emustab* apresentou endoterma de fusão em 56,9 °C, que foi associada à fusão do monoestearato de sorbitana. Os pós produzidos apenas com Albumina apresentaram endoterma de fusão em 68,8 °C, enquanto que nos pós com mistura Albumina-*Emustab*, foi observada endoterma a 84,25 °C, valor ligeiramente superior ao encontrado em Albumina pura em pó (81,88 °C). As diferenças foram atribuídas à desnaturação da ovoalbumina, cuja estabilidade teria sido influenciada por substâncias presentes na polpa e no *Emustab*. De forma geral os pós de manga apresentaram uma estrutura amorfa, porém, o pó preparado apenas com *Emustab* mostrou um sinal em R-X (21,35° 2 θ), que poderia corresponder à estrutura cristalina dos açúcares da manga.

Palavras-chave: Albumina. Carotenoides. Cinética de secagem. Cor. Difusividade Efetiva. *Emustab*. Microscopia. Temperatura de transição de fase.

ABSTRACT

Foam mat drying and thermal intermittence were developed with the objective of obtaining good quality food products and of improving the energy efficiency of the process. The objective of this study was to investigate the foam mat drying process parameters, with and without thermal intermittence, and evaluate their effects on the physical and nutritional properties of mango powder. The effects of temperature (60 and 80 °C), *Emustab* concentration (2% w/w), Albumin concentration (10% w/w), an *Emustab*-Albumin mixture and thermal intermittence on the drying kinetics, of the manga pulp foam color maintenance, carotenoid content and retention, and the solubility of the dried product, were studied using a 2^3 factorial experimental design. Thermal intermittence was applied by reducing the temperature by 20 °C for a determined period during drying, and subsequently returning to the initial drying temperature. The foams produced presented high effective water diffusion coefficients, allowing for low moisture contents and low water activities to be obtained in short processing times. Thermal intermittence resulted in slightly higher diffusivity values, when determined as the mean coefficients for the whole drying process. The color parameters L^* and b^* of the mango powder were affected by the type and concentration of the foaming agents, the foams produced using *Emustab* resulting in lighter colored, yellower powders. The parameters a^* and °Hue (h^*) were affected by the temperature and by the *Emustab* and albumin concentrations, *Emustab* being the most significant factor with respect to the red color (a^*) and the value for h^* , promoting a decrease in the first and increase in the second, providing a yellowy-orangey hue typical of mango. Expressive carotenoid retention was obtained from the foams produced using albumin and the albumin-*Emustab* mixture at 80 °C, with values of 88.9 and 78.5 %, respectively. Thermal intermittence increased the percent retention of the carotenoids in the powders dried at 80 °C containing only *Emustab* (from 60.7 to 72.9 %). The maximum value for solubility was reached for the powder produced with *Emustab* at 80 °C (91%). It was concluded that the addition of foaming agents allowed one to obtain products with low moisture contents and water activities in short processing times of up to 3 hours, with high carotenoid retention and color maintenance. From the previous steps, mango powders produced at a drying temperature of 80 °C were selected, and the adsorption isotherms (30 °C) and thermal and morphological properties determined. The adsorption isotherms of the powders showed type III behavior, and the GAB model represented the adsorption behavior of the powders produced with albumin, *Emustab* and their mixture. The

results indicated that the mango powders produced just with *Emustab* required more rigorous storage conditions due to the low value of the monolayer, whereas the powders produced with albumin were more stable. Scanning electron microscopy showed that the powder particles containing albumin had a wrinkled and porous morphology, with heterogenic pore sizes, whereas the powders produced only with *Emustab* had smooth structures and homogeneous pore sizes. In the thermal analyses, the mango powders produced with albumin, *Emustab* and albumin- *Emustab* showed no glass transitions in the temperature range from 50 °C to 200 °C. The mango powder containing only *Emustab* presented a melting endotherm at 56.9 °C, associated with the melting of sorbitan monostearate. The powders containing only albumin presented an endotherm at 68.8 °C, and those containing the albumin- *Emustab* mixture at 84.25 °C, a value slightly above that found for pure albumin powder (81.88 °C). The differences were attributed to denaturation of the ovalbumin, whose stability was influenced by substances present in the pulp and in the *Emustab*. In general the mango powders showed an amorphous structure, although the powder prepared with only *Emustab* showed a signal at R-X (21.35° 2θ), which could correspond to the crystalline structure of the mango sugars.

Keywords: Albumin; Carotenoids; Drying kinetics; Color; Effective Diffusivity; *Emustab*; Microscopy; phase transition temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Secção transversal de um fruto de manga no que se apresentam as diferentes partes que compõe sua estrutura (VAQUIRO, 2009).	20
Figura 2 - Curva de secagem (IBARZ; BÁRBOSA-CÁNOVAS, 2000).....	23
Figura 3 - Estrutura da espuma (MUTHUKUMARAN et al., 2008).....	25
Figura 4 - Diferentes tipos de intermitência adaptado de Chua et al (2003).....	29
Figura 5 - Esquema do secador piloto utilizado durante os experimentos; 1) Difusores de ar; 2) Câmara de Secagem; 3) Resistência Elétrica; 4) Válvula para controle do volume de ar reciclado; 5) Ventilador/Soprador centrífugo; a) Painel de controle da temperatura ligado aos termopares e às chaves das resistências; b) Inversor de frequência; c) Chave das resistências e chave geral.....	33
Figura 6 - Espumas geradas com Emustab distribuídas na bandeja.	34
Figura 7 - Estabilidade da espuma de manga espumada com Emustab e Albumina a diferentes concentrações.....	50
Figura 8 - Estabilidade das espumas produzidas de misturas com Emustab com concentrações de 5% para as imagens a, b, c, d, e, f com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas respectivamente e 2% para g, h ,i ,j , k ,l com tempos de repouso (0,1, 2, 3, 4 e 5) horas, respectivamente.	51
Figura 9 - Estabilidade das espumas produzidas em mistura com Albumina com concentrações de 5% para as imagens a, b, c, d, e, f com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas, respectivamente e 10% para g, h, i, j, k, l com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas, respectivamente.	52
Figura 10 – Cinética de secagem das espumas produzidas com Emustab (2 %, p/p), Albumina (10 %, p/p), mistura de Emustab (2 %, p/p) com Albumina (10 %, p/p), e polpa pura. ..	56
Figura 11 - Cinética de secagem das espumas produzidas com Emustab (2%, p/p), Albumina (10%, p/p, mistura de Emustab (2%, p/p) com Albumina (10%, p/p), e polpa pura.	58
Figura 12 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para a temperatura de secagem de 60°C da polpa fresca (a) e das espumas Emustab-Albumina (b), Albumina (c) e Emustab (d).	62
Figura 13 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para a temperatura de secagem de 80°C da polpa fresca (a) e das espumas Emustab-Albumina (b), Albumina (c) e Emustab (d).	63
Figura 14 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico	

de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a claridade (L^*) e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).	64
Figura 15 – Superfície de resposta para a claridade (L^*) em função de concentração de Emustab (% p/p) e Albumina (% p/p) (a). Gráfico de contorno para L^* em função da concentração de Emustab (% p/p) e Albumina (% p/p) (b).....	67
Figura 16 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a o parâmetro a^* e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).	68
Figura 17 – Superfície de resposta para o parâmetro a^* em função de: temperatura e concentração de Emustab (% p/p) (a); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (c).....	70
Figura 18 – Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre o parâmetro b^* e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).	71
Figura 19 – Superfície de resposta para o parâmetro b^* em função de concentração de Albumina (% p/p) e concentração de Emustab (% p/p) (a). Curvas de contorno para b^* em função de concentração de Albumina e de Emustab (% p/p) (b).	72
Figura 20 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre o parâmetro $^{\circ}\text{Hue}$ e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).	73
Figura 21 – Superfície de resposta para o parâmetro $^{\circ}\text{Hue}$ em função de: temperatura e concentração de Emustab (% p/p) (a); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (c).....	75
Figura 22 – Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta Croma (C^*) (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a o parâmetro Croma e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b)...	76
Figura 23 – Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a porcentagem de retenção de carotenoides e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).	79
Figura 24 – Superfície de resposta para retenção de carotenoides em função de: temperatura a e concentração de Emustab (% p/p) (a); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (c); concentração de Albumina e concentração de Emustab (% p/p).....	81

Figura 25 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a porcentagem de retenção de carotenoides e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).	82
Figura 26 - Isotermas de adsorção dos pós de manga produzidos com a mistura de Albumina (10 % p/p) com Emustab (2 % p/p), Emustab (2% p/p) e Albumina (10 % p/p).	86
Figura 27 - Ajustes das isotermas de adsorção com o Modelo de GAB dos pós obtidos com a mistura Albumina (10 % p/p) e Emustab (2 % p/p) (a), Emustab (2 % p/p) (b) e Albumina (10 % p/p) (c) e o Modelo de Peleg para o pós obtidos com Albumina (10 % p/p) (d).	90
Figura 28 - Termogramas da polpa de manga (a), Albumina em pó (b) e Emustab (c) a uma velocidade de aquecimento de 10 °C/min.	92
Figura 29 - Termogramas dos pós de manga Pó Albumina (a), Pó Emustab (b) e Pó Albumina-Emustab (c)	95
Figura 30 - Difrátogramas dos pós de manga produzidos com Emustab (a), com Albumina (b) e com a mistura do Emustab e Albumina (c).	97
Figura 31 - Micrografias das partículas de pó de manga produzido com Albumina (10 % p/p) 100× (a); 1000× (b); 60 000× (c).	98
Figura 32 - Micrografias das partículas de pó de manga produzido com Emustab (2 % p/p) 100× (a), 1000× (b) e 6000× (c).	99
Figura 33 - Micrografias das partículas de pó de manga produzido com a mistura de Emustab-Albumina (2 % e 10 % p/p) 100× (a), 3000× (b) e 30000× (c).	100
Figura 34 - Cinética de secagem das espumas produzidas com Emustab (2 %, p/p), Albumina (10 %, p/p), mistura de Emustab (2 %, p/p) com Albumina (10 %, p/p), com aplicação de um ciclo de intermitência térmica (60 °C-40 °C) a 60°C.	103
Figura 35 - Cinética de secagem das espumas produzidas com Emustab (2 %, p/p), Albumina (10 %, p/p), mistura de Emustab (2 %, p/p) com Albumina (10 %, p/p), com aplicação de um ciclo de intermitência térmica (80 °C-60 °C) a 80 °C.	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Planejamento fatorial 2^3 com tratamento aleatorizado e valores codificados dos fatores da secagem de espuma de manga (<i>Mangifera indica</i> L.) cv. Tommy Atkins.....	43
Tabela 2 - Valores médios das características físico-químicas da polpa de manga (<i>Médias de três replicatas seguidas de desvio padrão</i>)	45
Tabela 3 - Características da espuma de manga (Média de três replicatas, seguidas do desvio padrão).	48
Tabela 4 - Valores de umidade e atividade de água da polpa e dos pós de manga nas diferentes condições de secagem.	55
Tabela 5 - Coeficientes efetivos de difusão de água na polpa, na espuma com Albumina 10 % p/p, com Emustab 2 % p/p e com a mistura dos dois emulsificantes, calculados a partir da Lei de Fick	59
Tabela 6 - Energia de ativação da polpa, da espuma com Albumina 10 % p/p, Emustab 2 % p/p e a mistura dos dois emulsificantes.	60
Tabela 7 - Parâmetros de cor da polpa fresca e dos pós de manga obtidos nas diferentes condições de secagem segundo o planejamento experimental. (Média de três replicatas, seguidas de desvio padrão.).....	66
Tabela 8 - Conteúdo e retenção dos carotenoides nas diferentes condições de secagem dos pós de manga (Média de duas replicatas, seguidas de desvio padrão).	77
Tabela 9 - Valores de solubilidade dos pós de manga nas diferentes condições de secagem (Média de três replicatas, seguidas de desvio padrão).....	83
Tabela 10 - Valores estimados dos coeficientes e os parâmetros coeficientes de determinação, qui-quadrado, erro do quadrado médio obtidos para a seleção do modelo de sorção aplicados aos dados experimentais dos pós de manga.	88
Tabela 11 - Temperatura de desnaturação (T_d) e Temperatura de fusão (T_f) em pós de manga com agentes espumantes.....	94
Tabela 12 - Coeficientes de difusão efetivos na secagem intermitente.	105
Tabela 13 - Porcentagem de retenção dos carotenoides e parâmetros de cor, nas diferentes condições de secagem intermitente com a aplicação de um ciclo.	107

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral	19
2.2	Objetivos Específicos	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	Manga	20
3.2	Desidratação e fundamentos da secagem com ar quente.....	21
3.2.1	Etapas do processo de secagem	22
3.2.2	Secagem em leito de espuma.....	23
3.2.2.1	Definição e tipos de espumas	24
3.2.2.2	Estabilidade da espuma e agentes espumantes	25
3.2.3	Secagem intermitente	27
4	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1	Matérias primas	30
4.2	Procedimentos	30
4.2.1	Obtenção da polpa para formação da espuma	30
4.2.2	Preparação da espuma de polpa de manga	30
4.2.3	Caracterização de espumas.....	31
4.2.3.1	Densidade da espuma	31
4.2.3.2	<i>Overrun</i>	31
4.2.3.3	Estabilidade da espuma	32
4.2.4	Secagem da espuma.....	32
4.2.5	Produção do pó	33
4.3	Metodologia Analítica	34
4.3.1	Umidade	34
4.3.2	Análises de cor	35
4.3.3	Carotenoides e Porcentagem de Retenção.....	36
4.3.4	Solubilidade.....	37
4.3.5	Análises térmicas.....	37
4.3.6	Difração de Raios-X (DRX)	38

4.3.7	Análises morfológicas	38
4.4	Modelos matemáticos	38
4.4.1	Coeficiente efetivo de difusão e Energia de ativação	38
4.4.2	Isotermas de Adsorção	40
4.5	Planejamento experimental	42
4.6	Análises estatísticas	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	Caracterização da polpa de manga	45
5.2	Caracterização e seleção de espumas	46
5.2.1	Densidade e <i>overrun</i>	46
5.2.2	Análise de Cor	48
5.2.3	Estabilidade das espumas	49
5.2.4	Seleção de espumas	53
5.3	Cinética de secagem	53
5.4	Coeficientes efetivos de difusão e energia de ativação	58
5.5	Cor	64
5.5.1	Efeito da temperatura, concentração de <i>Emustab</i> e Albumina nos parâmetros de cor	64
5.5.1.1	Claridade (L^*)	64
5.5.1.2	Parâmetro a^*	68
5.5.1.3	Parâmetro b^*	71
5.5.1.4	$^{\circ}$ Hue	73
5.5.1.5	Croma (C^*)	76
5.6	Conteúdo de Carotenoides e Porcentagem de Retenção.	77
5.6.1	Conteúdo de Carotenoides	77
5.6.2	Retenção dos carotenoides totais	78
5.7	Solubilidade	82
5.8	Isotermas de Adsorção	84
5.9	Análises térmicas	91
5.10	Difração de raios-X (DRX)	96
5.11	Morfologia das partículas	98

5.12	Secagem intermitente	102
6	CONCLUSÕES.....	109
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	112

1 INTRODUÇÃO

Segundo a FAO, estima-se que em 2014 a produção mundial de frutas exóticas esteja em torno de 82,1 milhões de toneladas, representando um aumento de 1,7% em relação ao período base de 2002-2004 (FAO, 2009). O Brasil ocupa a terceira posição como produtor de frutas, depois da China e da Índia, sendo que em 2011 a produção foi de 45,5 mil toneladas (SEAB, 2012).

A fruticultura brasileira está se tornando uma atividade econômica com grande potencial devido às boas condições de clima, solo e à crescente demanda por frutas tropicais e exóticas. Além de servir ao mercado interno, está ganhando aos poucos o mercado internacional, aumentando os volumes de exportação, o número de exportadores e as variedades de frutas exportadas (AMARO, 2009). Entre as frutas exóticas que o Brasil produz e exporta destaca-se a manga (*Mangifera indica L*), considerada um produto agrícola de grande importância econômica, devido ao seu elevado volume de produção (cerca de 1.546 milhões de toneladas por ano), além de ter apresentado crescimento de 0,5% de área cultivada entre 2012 e 2013 (HORTIFRUTI BRASIL, 2013). Constata-se significativo aumento das exportações, de 67 mil toneladas em 2000 para 88,6 mil toneladas entre janeiro e outubro de 2013 (EMBRAPA, 2010; HORTIFRUTI BRASIL, 2013).

As frutas exóticas são uma fonte de compostos antioxidantes, tais como os fenóis, as vitaminas e os carotenoides, substâncias de grande importância na alimentação humana por estarem associadas à redução do risco de diversas doenças crônicas degenerativas como enfermidades cardiovasculares, arteriosclerose, câncer, dentre outras (DE SOUZA et al., 2012; DA SILVA et al., 2011; CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011). A manga é uma fruta que se destaca por conter β -caroteno, o qual contribui para seu valor nutricional por ser um composto antioxidante e também precursor da vitamina A, além de ser considerada uma fonte de vitamina C e de compostos fenólicos (RIBEIRO; SCHIEBER, 2010).

Frutas como a manga são produtos perecíveis e podem deteriorar-se em períodos curtos de tempo, razão pela qual o manejo pós-colheita (refrigeração, congelamento, desidratação) é fator importante na cadeia de produção. A secagem apresenta-se como uma alternativa para prolongar a vida útil desses produtos (SAGAR; SURESH, 2010), sendo um

dos métodos mais antigos e amplamente utilizados na conservação de frutas (MRKIĆ et al., 2007; GUINÉ et al., 2009). O objetivo da sua aplicação é remover a água presente no produto e diminuir sua atividade de água, minimizando sua deterioração química, bioquímica e microbiológica (DOYMAZ; İSMAIL, 2010; MUJUMDAR, 2006; MUJUMDAR; LAW, 2010; DOYMAZ, 2007; KOYUNCU et al., 2007).

A secagem permite obter produtos estáveis por longos tempos de armazenamento, reduzindo os requisitos de embalagem e transporte, garantindo a sua disponibilidade durante todo o ano e facilitando sua utilização em processos industriais (SAXENA et al., 2010; CAÑIZARES et al., 2007; GUPTA et al., 2013). Entretanto, a secagem convencional com ar aquecido, muito adequada para operações a batelada com pequenas capacidades, apresenta várias desvantagens, tais como a necessidade de longos períodos de tempo de “operação ou processamento” e temperaturas elevadas, o que provoca nos vegetais a degradação de vitaminas, antioxidantes e fibras dietéticas, e afeta algumas propriedades sensoriais, tais como a cor, o sabor e a textura. Além disso, quando se trata de processamento pós-colheita de produtos agrícolas, ela é umas das operações unitárias que mais consome energia (MUJUMDAR; LAW, 2010), sendo que as taxas de secagem desses produtos, em geral, são baixas, aumentando mais ainda os requerimentos energéticos (KARIM; HAWLADER, 2005; VAQUIRO, 2009; MRKIĆ et al., 2007).

Por outro lado, nos últimos anos, a manutenção da qualidade dos alimentos desidratados tem sido uma das temáticas centrais da Engenharia de Alimentos, uma vez que pode ser afetada pelo tipo de processo aplicado (SOSA et al., 2010). Consequentemente, novos métodos da secagem têm sido propostos, visando manter as características nutricionais e sensoriais dos produtos e diminuir o consumo de energia (VAQUIRO, 2009; GUPTA et al., 2013). Dentro destas novas metodologias, tem-se a secagem em leito de espuma (*Foam-Mat*), em que um material é batido até formar uma estrutura aerada que é subsequentemente desidratada. Este processo requer a adição de agentes de formação de espuma e/ou estabilizantes, sendo realizado em três etapas: a) formação de uma espuma estável que contém o produto a ser secado b) desidratação da espuma na forma de uma fina camada porosa e c) compressão e desintegração do laminado para obtenção de um pó com comportamento de escoamento livre (KARIM; WAI, 1998; SANKAT; CASTAIGNE, 2004). Essa tecnologia, na última década, tornou-se importante devido às suas vantagens, tais como altas taxas de

secagem e obtenção de produtos com boas características sensoriais, nutricionais, além de boa capacidade de reidratação.

Outra metodologia alternativa para diminuir o impacto dos efeitos da temperatura sobre o alimento, durante longos períodos de tempo, é a secagem com intermitência térmica, processo comum nos secadores que operam a batelada (*batch*) e que utilizam variações nas condições de funcionamento ao longo do tempo. A secagem contínua provoca gradientes de concentração de água no produto, que diminuem as taxas de secagem. A intermitência térmica tem como objetivo reduzir esses gradientes de umidade no interior do material e aumentar a taxa de secagem nos períodos de aquecimento subsequentes, pois, conforme há uma maior quantidade de água na superfície, os requerimentos de temperatura e energia para a evaporação diminuem (CIHAN et al., 2007). A intermitência pode se dar através da aplicação de períodos de aquecimento em diferentes intervalos de tempo e períodos de têmpera (ou tempo de relaxação), pela interrupção da secagem, redução da temperatura de secagem ou qualquer outro procedimento que promova diminuição dos gradientes de concentração de água no produto (CHUA et al., 2003). Com isso, a secagem intermitente permite obter velocidades de secagem superiores em relação à secagem contínua, sem deteriorar a qualidade do produto final, e aumentar a eficiência térmica devido à redução do consumo de energia (AQUERRETA, 2006; CIHAN et al., 2007; VAQUIRO, 2009). A aplicação dessa metodologia em materiais sensíveis ao calor tais como frutas e hortaliças, tem demonstrado melhorar a retenção de nutrientes em comparação com o processo convencional (CHUA et al., 2003).

De acordo com o exposto, esta pesquisa propõe avaliar a secagem de polpa de manga utilizando a tecnologia de leito de espuma (*Foam-Mat*) combinada com secagem intermitente, buscando um processo termicamente eficiente e a obtenção de produtos com boas propriedades sensoriais e nutricionais, de forma a contribuir para o desenvolvimento tecnológico da agroindústria brasileira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar parâmetros de processo para a secagem de polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade Tommy Atkins em leito de espuma (*Foam-mat*), com e sem aplicação de intermitência térmica, e determinar seus efeitos sobre a cinética de secagem e as características físicas e nutricionais da manga em pó.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito dos agentes espumantes Albumina e *Emustab* sobre a densidade e estabilidade da espuma formada;
- Avaliar o efeito da temperatura e concentração dos agentes espumantes sobre cor, porcentagem de retenção de carotenoides e solubilidade da manga em pó;
- Determinar as curvas de secagem e os coeficientes de difusão da água nas diferentes condições de processamento da manga em pó;
- Determinar isotermas de sorção da manga em pó produzida com agentes espumantes;
- Determinar propriedades térmicas e morfológicas da manga em pó;
- Avaliar o efeito dos agentes espumantes, da temperatura do ar de secagem e da intermitência térmica sobre cor e porcentagem de retenção de carotenoides da manga em pó.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Manga

Segundo a classificação taxonômica, a espécie *indica* do gênero *Mangifera* pertence à família Anacardiaceae. Esta espécie é procedente da Índia, de árvores de ramificações sinodais com altura entre 10 e 40 m, de folhas alargadas e brilhantes. Seus frutos (Figura 1) são drupas, cuja forma e tamanho variam em função da variedade (DE LA CRUZ MEDINA; GARCIA, 2002).

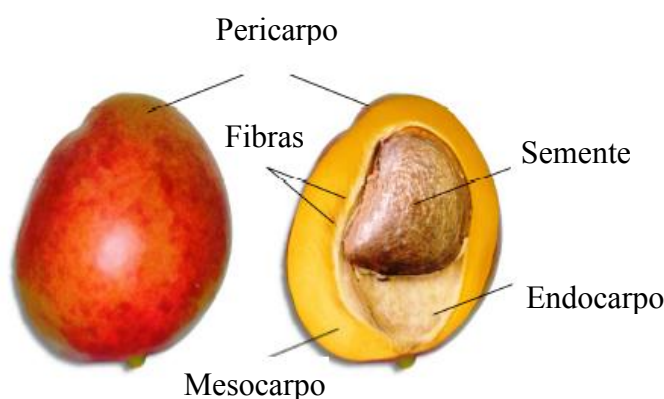


Figura 1 - Secção transversal de um fruto de manga no que se apresentam as diferentes partes que compõe sua estrutura (VAQUIRO, 2009).

A importância econômica da manga se deve ao fato de ela ser a principal fruta exótica produzida a nível mundial, seguida do abacaxi, do mamão e do abacate (FAO, 2004). A produção mundial de manga em 2014 será em torno de 28,8 milhões de toneladas, o que representa 35% da produção mundial de frutas tropicais, das quais 69% será produzida na Ásia e no Pacífico (Índia, China, Paquistão, Filipinas e Tailândia), 14% nos países de América Latina (Brasil e México) e Caribe e os 9% restantes no continente africano (FAO, 2012). A manga não é apenas um produto importante economicamente, mas é também uma fruta que possui boas características nutricionais, devido à presença de diversos compostos bioativos em sua polpa, tais como o ácido ascórbico, compostos fenólicos e carotenoides (HARNKARNSUJARIT; CHAROENREIN, 2011; SIDDIQ et al., 2013). Os carotenoides são

pigmentos naturais que proporcionam a cor característica da manga e são os precursores da vitamina A (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; SOGI et al., 2014). Porém, ainda que na manga se encontre grande número de carotenoides naturais, os cinco principais que se depositam nos tecidos humanos e que, conseqüentemente, têm uma função biológica, são o β -caroteno, o licopeno, a β -criptoxantina, a luteína e o α -caroteno (RIBEIRO; SCHIEBER, 2010). A manga Tommy, por exemplo, pode apresentar o seguinte conteúdo destes compostos: 5,8 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno, 0,4 $\mu\text{g/g}$ de β -criptoxantina total e 0,3 $\mu\text{g/g}$ de β -criptoxantina trans (MERCANTE; RODRIGUEZ-AMAYA, 1998). O β -caroteno é o carotenoide mais importante encontrado na manga, entretanto, por conter ligações duplas insaturadas, são instáveis e susceptíveis à degradação por oxidação (HARNKARNSUJARIT; CHAROENREIN, 2011). Essa degradação ocorre durante o processamento e armazenamento dos vegetais, e vai aumentando com a danificação da estrutura celular, com o aumento da área superficial, com o período ou severidade das condições de processamento, tempo e temperatura de armazenamento, exposição à luz e permeabilidade da embalagem ao oxigênio. Qualquer que seja o método de processamento selecionado para o pós-colheita, a retenção de carotenoides diminui com tempos mais longos e altas temperaturas de processamento, assim como pelo rompimento dos tecidos (RODRIGUEZ-AMAYA, 2002). Conseqüentemente, para melhorar a retenção busca-se diminuir tanto o tempo como a temperatura de processamento.

3.2 Desidratação e fundamentos da secagem com ar quente

A secagem é a operação unitária mais comum e antiga utilizada para a conservação dos alimentos (SINGH; HELDMAN, 2001). A água eliminada durante a secagem permite obter uma redução da atividade de água evitando o desenvolvimento microbiológico, assim como à diminuição de reações indesejáveis. A remoção da água é obtida pela passagem de ar seco em escoamento sobre o produto, que elimina a água da superfície, a qual passa à corrente do ar durante a operação. Além de diminuir o conteúdo de umidade, também pode ter efeito sobre outras propriedades físicas e químicas tais como destruição de nutrientes e inibição de reações enzimáticas e não enzimáticas (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 1996).

Fisicamente, a operação de secagem envolve a aplicação de calor e a remoção de umidade, observando-se assim dois fenômenos que ocorrem simultaneamente, um de transferência de calor e o outro de transferência de massa. A transferência de calor

proveniente do meio circundante pode ocorrer por convecção, radiação ou, em alguns casos, como resultado da combinação destes mecanismos, os quais fornecem calor à superfície do sólido úmido de tal maneira que o calor difunde para dentro do sólido principalmente por condução. O outro fenômeno que se apresenta na secagem é a transferência de massa desde o interior do sólido até a superfície deste, para sua posterior evaporação (MUJUMDAR, 1997; BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 1996). O movimento da umidade interna do sólido é uma função da natureza física deste, da temperatura e da concentração. A transferência de massa dentro do produto durante a operação de secagem pode dar-se devido às forças capilares, difusão do líquido devido ao gradiente de concentração, ou escoamentos devidos aos gradientes de pressão e de vaporização-condensação (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 1996; VAQUIRO, 2009).

3.2.1 Etapas do processo de secagem

O processo de secagem pode ser caracterizado através da quantificação a perda de umidade em função do tempo. A representação gráfica é denominada curva de secagem e permite diferenciar as etapas fenomenológicas durante a operação. A seguir, descrevem-se os estágios de um processo de secagem, os quais são mostrados graficamente na Figura 2 (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2000).

- i) A ou A' representam o início do processo, quando ocorre um período de adaptação às condições do processamento, durante o qual o produto sofre aquecimento ou resfriamento, o que depende de sua temperatura inicial.
- ii) O ponto B representa a condição de temperatura de equilíbrio na superfície do material.
- iii) A etapa B-C é conhecida como o período de taxa de secagem constante. Durante este período, o transporte de umidade migra do interior do material para a superfície, permitindo que esta permaneça saturada. A velocidade de secagem é controlada pelas condições externas que determinam a evaporação da água e sua transferência desde a superfície saturada do material até o ar de secagem, independente da natureza do produto.
- iv) A etapa C-D corresponde ao período de taxa de secagem decrescente, que ocorre quando a superfície do sólido se torna insaturada e a taxa de secagem diminui com o tempo, até que o conteúdo de umidade do material se aproxime de seu valor de equilíbrio. Nesta etapa, a taxa

de secagem depende da estrutura interna do material e dos mecanismos de migração de umidade (IBARZ; BÁRBOSA-CÁNOVAS, 2000).

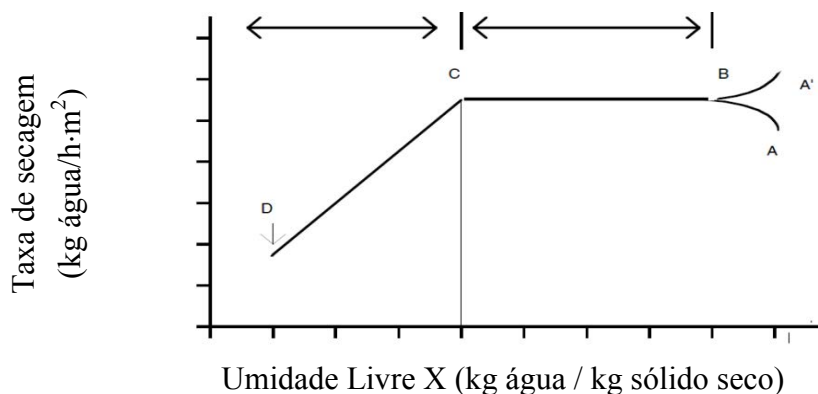


Figura 2 - Curva de secagem (IBARZ; BÁRBOSA-CÁNOVAS, 2000)

3.2.2 Secagem em leito de espuma

A secagem em leito de espuma é uma metodologia que foi desenvolvida por Arthur Morgan e colaboradores em 1959, na Califórnia, Estados Unidos, definida como um método de secagem simples em relação à preparação da amostra e ao uso de secadores tradicionais (UBOLDI, 1971; FALADE; OKOCHA, 2010). Esta metodologia consiste em converter um material líquido ou semilíquido numa espuma estável, pelo seu batimento com a adição de agentes espumantes que funcionam como formadores e estabilizadores da espuma, seguindo-se uma etapa de secagem em camadas delgadas com ar aquecido, à pressão atmosférica e, finalmente, a trituração do sólido, a fim de se obter um pó (BAG et al., 2009; KANDASAMY et al., 2012; RAJKUMAR et al., 2007). Durante a formação da espuma são geradas minúsculas bolhas que permitem obter uma maior área superficial, o que melhora a evaporação da água, aumentando as taxas de secagem. No entanto, a transferência de calor é diminuída pelo fato de haver um grande volume de gás na espuma (KUDRA; RATTI, 2006; KANDASAMY et al., 2012; RAJKUMAR et al., 2007).

A secagem em leito de espuma (*Foam-Mat*) tem sido avaliada por vários autores para a produção de suco e/ou polpa de fruta em pó, como de laranja, abacaxi, amora, maracujá

(SEGURA, 1990), manga (KADAM et al., 2010; RAJKUMAR et al., 2007), maçã (RAHARITSIFA; RATTI, 2010a), ceriguela (FURTADO et al., 2010), pitanga-roxa (CHAVES et al., 2013), araçá-boi (SOARES, 2009) e cupuaçu (SOUZA, 2011). Também tem sido aplicada para a produção de farinha de feijão caupi (FALADE et al., 2003) e albumina em pó (MUTHUKUMARAN et al., 2008). Em todos os casos, os autores obtiveram produtos com boa qualidade sensorial e altas taxas de secagem.

3.2.2.1 Definição e tipos de espumas

As espumas têm sido objeto de estudo em um grande número de processos industriais, incluindo a indústria têxtil, a de construção, de óleos e de produtos de cuidados pessoais. Na indústria alimentar, as espumas estão presentes em produtos como os sorvetes, massas, doces e carnes.

A espuma é um sistema de duas fases, uma fase dispersa, usualmente ar, e uma fase contínua, onde o volume da fase dispersa é maior que o da fase contínua. Uma típica estrutura de uma espuma é apresentada na Figura 3, onde a parede de bolha é denominada lamela e a fase dispersa é rodeada por uma borda achatada (MUTHUKUMARAN et al., 2008). A estrutura porosa pode ser produzida quimicamente (agente de crescimento), biologicamente (levedura no pão) ou de maneira mecânica (por agitação). As espumas se classificam como líquidas ou sólidas, dependendo do estado da fase contínua (BALERIN et al., 2007).

A forma da bolha nas espumas vai depender da densidade das mesmas. Quando se tem densidade baixa, estas terão formas poliédricas, contrastando com espuma densa, cuja forma será esférica. No entanto, qualquer que seja a forma das bolhas, normalmente elas têm uma distribuição de tamanho definido e uma estrutura desordenada. A instabilidade da espuma se apresenta quando a distribuição de tamanhos das bolhas é heterogênea, produzindo um desequilíbrio das forças na interface gás-líquido (RATTI; KUDRA, 2006).

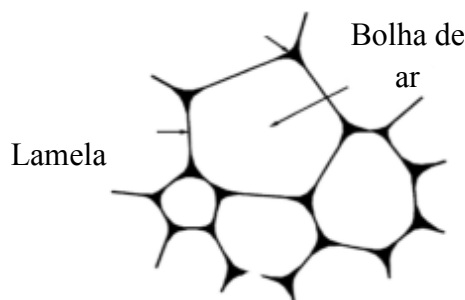


Figura 3 - Estrutura da espuma (MUTHUKUMARAN et al., 2008)

A interface ar-água das espumas possui uma alta energia de ativação livre, o que as converte em estruturas termodinamicamente instáveis e, por conseguinte, denominadas estruturas metaestáveis, isto é, ainda que inicialmente sejam estruturas homogêneas, com o tempo vão segregando para regiões onde se produz a coalescência das bolhas, o que ocasiona uma ruptura da lamela e finalmente a difusão de moléculas gasosas através do líquido, separando-se em duas fases (PERNELL et al., 2002; LAU; DICKINSON, 2005; RATTI; KUDRA, 2006; MUTHUKUMARAN et al., 2008).

3.2.2.2 Estabilidade da espuma e agentes espumantes

A estabilidade das espumas é definida como a fração de líquido drenado em um determinado tempo, ou seja, é dependente da separação das fases, o que poderá ocorrer a partir ruptura das lamelas. Por esta razão, características como a espessura e força da lamela são pontos-chave para garantir uma boa estabilidade da espuma. Para manter tais características, têm sido usados agentes com atividade superficial, como os surfactantes produzidos a partir de ácidos graxos ou alcoóis, polímeros ou proteínas maiores, os quais melhoram a força da lamela e aumentam a estabilidade das espumas (HUNTER et al., 2008). A estabilidade das espumas é um ponto crítico importante quando ela é requerida para posteriores processos, tais como assamento no caso dos bolos, congelamento para o caso de sorvetes ou na secagem de espumas de polpas de frutas (Foegeding Allen et al. 2006).

O mecanismo de ação dos diferentes agentes estabilizantes depende de sua natureza química. Para o caso dos surfactantes, esses se difundem através da delgada lamela e fortalecem-na, e sua absorção na interface reduz a energia livre e produz uma alta área superficial, reduzindo a sua tensão, gerando mais estabilidade à espuma, sendo esse

mecanismo conhecido como efeito Marangoni. As proteínas, por sua vez, são absorvidas na interface e interagem com a lamela, com ligações que podem ser do tipo eletrostático, hidrofóbico, covalente ou por meio de ligações de hidrogênio que aumentam sua rigidez e viscoelasticidade, contribuindo para o aumento da estabilidade, sendo esse mecanismo conhecido como estabilização visco-elástica (MUTHUKUMARAN, 2007; HUNTER et al., 2008).

Os agentes espumantes ou emulsificantes são moléculas que possuem uma extremidade polar e uma cadeia carbonada não polar. Comercialmente se pode encontrar uma grande família dos denominados *“span”* derivados dos ésteres de sorbitana, os *“tween”* derivados de ésteres de sorbitana etoxilados e os monoglicerídeos, entre outros. A afinidade dos emulsificantes pela fase contínua ou pela fase dispersa está geralmente associada com seu balanço hidrofílico-lipofílico (Hydrophilic- Lipophilic Balance), com as siglas em inglês HLB. Esse termo está representado em uma escala de 0 a 20, onde valores baixos significam que no caso das espumas, os agentes espumantes têm uma maior afinidade com a fase gasosa, enquanto que valores altos correspondem à maior afinidade pela fase aquosa (HASENHUETTL; HARTEL, 2008; RICHARDSON et al., 2004). Comercialmente é possível encontrar misturas de surfactantes para a produção de espumas sólidas em panificação e para a produção de sorvetes de massa, sendo uma das mais populares é conhecida como *Emustab*, uma mistura de monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearato de sorbitana (SOUZA, 2011). Os monoglicerídeos são amplamente utilizados na indústria de alimentos, podendo ser encontrados em pequenas quantidades em gorduras e óleos. Sua forma de obtenção é pela esterificação direta do glicerol com um ácido graxo e posterior glicerólise da gordura natural ou hidrolisada, seguida da purificação, que é realizada por destilação até atingir concentrações acima de 90% (HASENHUETTL; HARTEL, 2008). O monoestearato de sorbitana é obtido pela reação entre o sorbitol e o ácido esteárico. É um emulsificante não iônico de baixo peso molecular e possui propriedades emulsionantes, umectantes e dispersantes (ZHAO et al., 2013). É usado comumente para a preparação de emulsões de óleo em água devido à sua afinidade pela fase lipofílica, o que pode ser corroborado pelo seu baixo HLB. O polioxietileno de monoestearato de sorbitana, ou polisorbato 60, é obtido da reação entre ésteres de sorbitana com óxido de etileno, produzindo assim uma molécula mais hidrofílica, com um valor de HLB ao redor de 14.9 (SAMANTA; GHOSH, 2011; HASENHUETTL; HARTEL, 2008).

Por outro lado, as proteínas de alto peso molecular como a Albumina, a proteína concentrada e a proteína isolada de soro de leite, também são agentes usados para a formação de espumas estáveis (HUNTER et al. 2008). A Albumina, especificamente, possui uma grande capacidade estabilizante e, por esta razão, é utilizada em diversas aplicações industriais. Atua como um emulsificante anfifílico entre a fase de ar e a fase aquosa, sendo que essa adsorção diminui a tensão superficial e provoca a formação das bolhas (DAVIS; FOEGEDING, 2007; ŻMUDZIŃSKI et al., 2014; MLEKO et al., 2007).

3.2.3 Secagem intermitente

A intermitência térmica é um processo comum em secadores do tipo batelada (*batch*), que utiliza variações nas condições de operação em função do tempo, como por exemplo, variações cíclicas no nível de vácuo aplicado. Nesta categoria também podem ser inclusos os secadores nos quais podem realizar-se variações de tempo-temperatura ou tempo-taxa de escoamento de ar. Geralmente este método se aplica a materiais sensíveis ao calor, com períodos longos de secagem, e que durante o processo apresentam taxa de secagem decrescente (CHUA et al., 2003).

Os processos de secagem onde se fornece calor variando com relação ao tempo, podem ser classificados em (CHUA et al., 2003):

- i) Secagem intermitente, onde o fluxo de calor é fornecido intermitentemente e não continuamente. Isso pode ser feito pela interrupção da vazão do ar, proporcionando um período de “descanso” ou “têmpera”, pelo aquecimento periódico do ar que escoar continuamente, pela variação periódica da corrente de ar ou ambos.
- ii) Por *areação*, este método envolve a combinação da exposição do produto a uma alta temperatura por um curto período de tempo, a *têmpera* e um resfriamento lento, seguido pela finalização da secagem.
- iii) Secagem por inversão do escoamento, onde se realiza um sistema de mudança na direção do escoamento de ar e depois se retorna à direção original.
- iv) Secagem cíclica, onde a temperatura, a umidade ou a velocidade seguem um padrão cíclico de variação, como por exemplo, padrões sinusoidais, retangulares ou do tipo serra. Além disso, ciclos de pressão também podem ser aplicados.

A secagem intermitente é uma alternativa tecnológica à secagem convencional e, à diferença deste último, ao não fornecer continuamente calor à matriz alimentar, gera uma diminuição no consumo de energia e melhora a qualidade do produto. Neste método se aplicam períodos de aquecimento em diferentes intervalos de tempo, o que influencia a difusão da umidade, pois, nos períodos de têmpera, a água se redistribui e migra até a superfície do sólido. Este fenômeno reduz os gradientes de umidade no interior do material e incrementa a velocidade de secagem nos períodos de aquecimento posteriores, já que existe maior quantidade de água na superfície, o que diminui a temperatura e, conseqüentemente, a necessidade de energia para a evaporação (NISHIYAMA et al., 2006; BON; KUDRA, 2007; CAO et al., 2004; CIHAN et al., 2007). Este sistema é ideal para a secagem de materiais sensíveis à temperatura (alimentos, biopolímeros, produtos biotecnológicos, fármacos, substâncias nutracêuticas, ervas, especiarias e ervas medicinais).

A intermitência térmica tem sido amplamente investigada na secagem de produtos como o arroz, banana terra, goiaba, batata, soja e trigo, o que reduz em todos os casos a aplicação do calor requerido (CHOU et al., 2000; CNOSSEN et al., 2003; SHEI; CHEN, 2002; AQUERRETA, 2006; CHUA et al., 2003; NISHIYAMA et al., 2006). No estudo do processo da secagem por intermitência térmica da manga *Mangifera indica L* se observou a vantagem sobre a secagem contínua com respeito à economia de energia (VAQUIRO, 2009). A aplicação de períodos de têmpera típicos da secagem intermitente afeta a cinética da secagem de arroz, removendo-se maior quantidade de água com uma considerável diminuição no consumo energético (AQUERRETA, 2006; NISHIYAMA et al., 2006). O processo de intermitência térmica se converte numa importante ferramenta para diminuir as mudanças de cor produzidas pelo aquecimento contínuo, com taxas mais altas de remoção da umidade (ZHU et al., 2010).

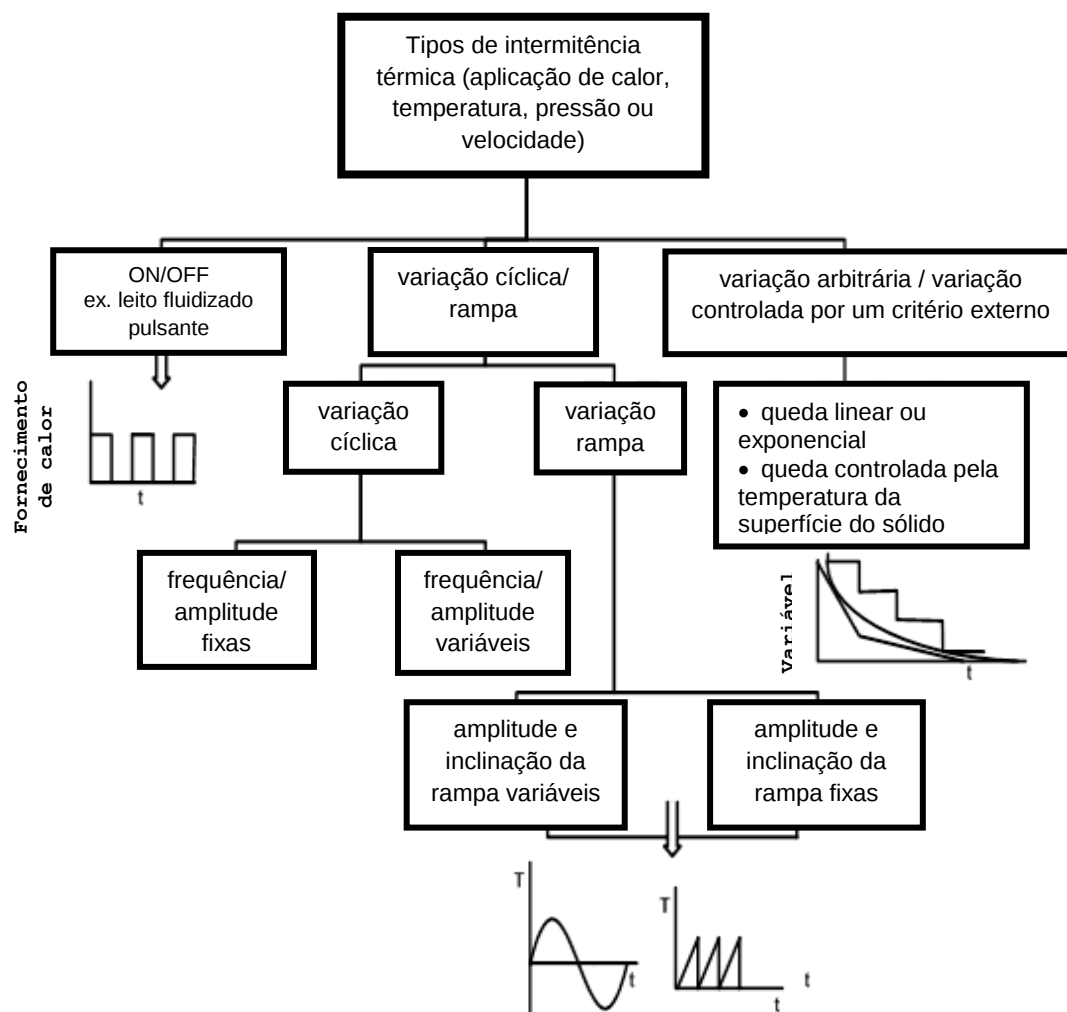


Figura 4- Diferentes tipos de intermitência adaptado de Chua et al (2003)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matérias primas

A manga (*Mangifera indica* L.) variedade “Tommy Atkins” de Petrolina (Pernambuco), foi adquirida na Central de Abastecimento (CEAGESP) da cidade de São José do Rio Preto-SP. As mangas, depois de adquiridas, foram mantidas à temperatura ambiente até seu amadurecimento. A maturação foi determinada visualmente através da observação da cor da casca. Foi considerado um estágio de maturação adequado quando a casca apresentou uma cor vermelho-amarelada e a fruta, uma consistência firme ao contato manual. Os sólidos solúveis medidos em sua polpa corresponderam ao valor de 13,8 °Brix.

A Albumina e o *Emustab* foram adquiridos em loja especializada em matéria prima para a Indústria de Alimentos, em São José do Rio Preto-SP. A Albumina foi adquirida em pó da marca comercial Naturovos (Salvador do Sul, RS, Brasil) e o *Emustab*, da empresa comercial Duas Rodas Industrial (Jaraguá do Sul, SC, Brasil).

4.2 Procedimentos

4.2.1 Obtenção da polpa para formação da espuma

Após a maturação da manga, procedeu-se à etapa de descascamento e despolpamento. Para esta operação foi usada uma despolpadora, sendo que a polpa obtida foi imediatamente embalada em sacos polietileno de alta densidade com capacidade para um quilo e posteriormente armazenada à temperatura de -18°C.

4.2.2 Preparação da espuma de polpa de manga

Previamente à formação da espuma, a polpa congelada foi retirada do freezer e mantida pelo menos 24 horas à temperatura de refrigeração (5°C), até descongelar. Para a formação da espuma pesou-se aproximadamente 300 g de polpa, que foram adicionados à

vasilha da batedeira e, de acordo com planejamento experimental, adicionou-se a quantidade correspondente de Albumina de ovo e do agente espumante *Emustab*, ou das suas combinações. A polpa de manga com o agente de formação de espuma foi batida numa batedeira doméstica (modelo RI 7110, marca Philips Walita, Brasil), a qual tem possibilidades de operar com três velocidades. O tempo de batimento foi de 5 minutos, dos quais 1 minuto foi usado para dissolver o agente espumante em velocidade média, e nos demais 4 minutos o batimento foi feito em velocidade alta, para melhorar a incorporação de ar à emulsão.

4.2.3 Caracterização de espumas

4.2.3.1 Densidade da espuma

A densidade da espuma foi determinada em triplicata, através da transferência da espuma para um recipiente com volume conhecido (150 ml), completando todo o volume e, em seguida, pesando-o. O cálculo da densidade da espuma (ρ) foi feito segundo a expressão (1):

$$\rho_{\text{espuma}} = \frac{m}{V} \quad (1)$$

onde m é massa da espuma em, kg, e V volume ocupado pela espuma, em m^3 .

4.2.3.2 Overrun

A determinação da incorporação de ar foi realizada usando uma proveta e fazendo medições do volume ocupado pela polpa de manga antes de bater e depois de bater. O *overrun* foi calculado de acordo com a seguinte expressão (RAJKUMAR et al., 2007):

$$\text{Overrun} = \left[\frac{V_1 - V_0}{V_1} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

onde V_0 é o volume inicial de polpa com o emulsificante antes do batimento e V_1 é o volume da espuma, após o batimento, em m^3 .

4.2.3.3 Estabilidade da espuma

A estabilidade foi determinada de acordo com Kato et al. (1983), dispondo em um béquer graduado e transparente a espuma produzida com *Emustab* (béquer de 50 ml) e a espuma produzida com Albumina (béquer de 100 ml), que foi deixada à temperatura ambiente, por 5 horas. A separação de fases representa a redução de volume da espuma. Esta foi medida a cada hora, durante 5 horas. Um índice de estabilidade da espuma, I_e , representando a fração de espuma remanescente em função do tempo, é descrito segundo a expressão:

$$I_e = \frac{V}{V_0} \quad (3)$$

onde I_e é o índice de estabilidade, V representa volume de espuma após um tempo t e V_0 é o volume de espuma no instante inicial.

4.2.4 Secagem da espuma

A etapa de secagem foi conduzida em secador de leito fixo com convecção forçada de ar aquecido (Figura 5). O equipamento consta de um ventilador centrífugo (motor de 1CV ou 0,735 kW), o qual é controlado por um inversor de frequência (WEG, CWF10-Brasil), que permite modificar a velocidade do ar. O ar foi aquecido com resistências elétricas e o controle da temperatura foi realizado através de um controlador digital microprocessador (Novus, model N440 - Brasil) usando um termopar tipo J. A câmara de secagem tem uma área seccional de $13,86 \times 10^{-2} m^2$, e o ar em escoamento incide paralelamente às amostras, dispostas sobre as bandejas que ocupam três posições equidistantes na direção vertical da câmara. 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 - Itália) são conectados a um sistema de aquisição de dados (ImPac®) para transmissão dos dados a um computador, onde temperatura e umidade relativa são registradas ao longo do tempo num programa compatível com planilhas eletrônicas Excel da Microsoft.

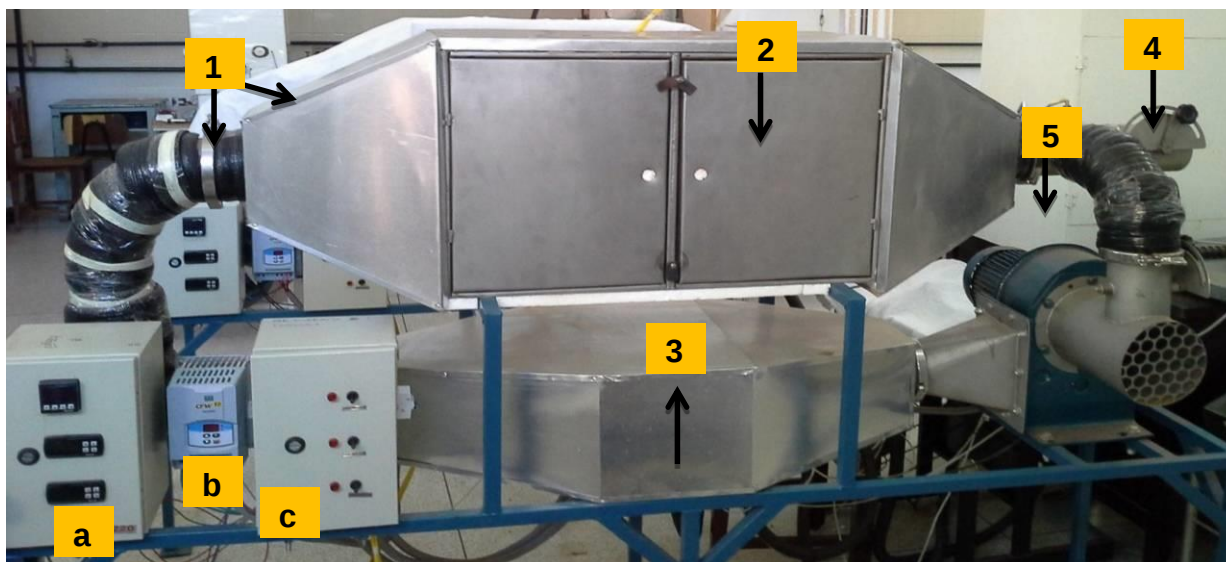


Figura 5 - Esquema do secador piloto utilizado durante os experimentos; 1) Difusores de ar; 2) Câmara de Secagem; 3) Resistência Elétrica; 4) Válvula para controle do volume de ar reciclado; 5) Ventilador/Soprador centrífugo; a) Painel de controle da temperatura ligado aos termopares e às chaves das resistências; b) Inversor de frequência; c) Chave das resistências e chave geral.

4.2.5 Produção do pó

A espuma de manga produzida com os diferentes emulsificantes foi secada com ar aquecido a duas temperaturas, 60 e 80°C, usando velocidade de ar de 1,0 m/s e espessura da camada de 3 mm. Em cada ensaio, as espumas foram colocadas em bandejas de alumínio de 30 x 30 (Figura 6), construídas especialmente para os ensaios experimentais, com altura das bordas igual a 3 mm. As bandejas foram previamente pesadas e identificadas. A massa máxima de espuma colocada em cada bandeja foi de 100 g.



Figura 6 - Espumas geradas com *Emustab* distribuídas na bandeja.

As bandejas com as amostras foram pesadas a cada 10 minutos na primeira hora de secagem e a seguir, a cada 15 minutos, até atingir massa constante. A cada pesagem, a bandeja era girada em 180° e colocada em uma nova posição vertical, dentro da câmara de secagem. Após atingir o equilíbrio, a lâmina de espuma seca era retirada com ajuda de uma espátula para posteriormente ser moída. A moagem foi realizada num micro moinho homogeneizador de hélice (TE-645, Tecnal, Brasil), a 18.000 rpm.

As curvas de secagem foram construídas com os dados de umidade, em base seca, em função do tempo de secagem. Análises de umidade, cor e teor de carotenoides foram realizadas em amostras antes e após as etapas de secagem.

4.3 Metodologia Analítica

4.3.1 Umidade

O teor de água foi determinado em triplicata, por método gravimétrico, no qual as amostras foram secadas em estufa a vácuo, a 60°C e 10 kPa, até atingir peso constante (AOAC, 1995).

4.3.2 Análises de cor

A cor foi determinada em espectrofotômetro, modelo ColorFlex45/0 (Hunterlab, Estados Unidos), com as configurações iluminante D65 e observador a 10°. O Software Universal versão 4.10 foi utilizado para determinação dos valores absolutos de L^* , a^* e b^* . O sistema de especificação de cor foi o CIELAB, recomendado internacionalmente, que utiliza a escala CIE L^* , a^* , b^* , definida pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) (OCHOA-MARTÍNEZ et al., 2012). Os valores L^* (claridade) flutuam entre zero (preto) e 100 (branco), os valores de a^* variam entre $-a^*$ (verde) e $+a^*$ (vermelho) e os valores de b^* , entre $-b^*$ (azul) e $+b^*$ (amarelo).

No sistema CIE- $L^*a^*b^*$, espaço cromático é determinado em coordenadas retangulares (L^* , a^* , b^*), mas também pode ser representado num sistema de coordenadas polares (L^* , C^* , h^*) que, segundo Francis (2005), é mais adequado para a percepção das cores, uma vez que o olho humano não tem a mesma sensibilidade para todas as cores. Dessa maneira, uma elipse é preferível a um retângulo, quando se trata da concordância entre o olho humano e as tolerâncias nas especificações das cores. No sistema de coordenadas polares, a cor foi classificada em claridade (L^*), saturação (C^*) ou intensidade e tonalidade (h^*). O autor ainda aponta que °Hue e croma são atributos mais percebidos que a claridade e que a sensibilidade é muito maior em relação à tonalidade verde que à azul ou vermelha.

As análises de cor foram feitas para a espuma e para os pós de manga produzidos em cada uma das condições de secagem por triplicata. Através das coordenadas a^* e b^* , calculou-se o croma (C^*), que expressa o grau de intensidade ou saturação da cor (Equação 4), assim como a propriedade, conhecida como ângulo Hue (h^*), que representa a tonalidade da cor (Equação 5) (FRANCIS, 2005)

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

$$h^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

4.3.3 Carotenoides e Porcentagem de Retenção

O teor de carotenoides totais foi determinado de acordo com o método descrito por Rodriguez-Amaya e Kimura (2004). Os carotenoides de aproximadamente 2 e 1 g de amostra crua e seca, respectivamente, foram extraídos em acetona, utilizando equipamento Turrattec modelo TE-102, marca Tecnal, Brasil. Para facilitar a extração, a amostra crua permaneceu por 10 minutos em acetona e as amostras secas foram previamente hidratadas com água destilada, durante 20 minutos. Em seguida, o homogeneizado foi filtrado a vácuo em funil com placa de vidro sinterizado (porosidade G2) e deu-se continuidade às extrações com acetona, até que o resíduo se apresentou destituído de cor. A separação dos carotenoides da acetona foi conduzida em funil de separação de 500 ml, contendo aproximadamente 30 ml de éter de petróleo, através da adição de porções do extrato, seguido de lenta adição de água destilada (aproximadamente 400 ml), para evitar formação de emulsão. Após a separação das fases, a inferior, constituída de água e acetona, foi descartada. As lavagens da fase etérea com água destilada prosseguiram (5 vezes) para a remoção completa da acetona. Após o descarte da água da última lavagem, o extrato etéreo foi seco em Na₂SO₄ e recolhido num balão volumétrico, por meio de sua passagem por funil de vidro contendo uma pequena porção (~2g) de sulfato de sódio anidro. As análises foram realizadas em duplicata.

A absorbância das amostras foi medida no comprimento de onda de máxima absorção (450 nm), usando um espectrofotômetro UV-Visível, modelo SP-220, marca Biospectro.

O teor de carotenoides totais, expresso como β -caroteno, em $\mu\text{g/g}$, foi calculado com a Equação 10, (RODRIGUEZ-AMAYA 2001).

$$\beta_{\text{caroteno}}(\mu\text{g/g}) = \frac{A \cdot V \cdot 10^4}{(A_{1\text{cm}}^{1\%}) \cdot M} \quad (6)$$

onde A é a absorbância da amostra a 450 nm, V é volume da amostra (ml), $A_{1\text{cm}}^{1\%}$ é o coeficiente de absorção do β_{caroteno} no solvente éter de petróleo (2592), e M é massa da amostra (g)

O cálculo da retenção dos carotenoides totais foi realizado de acordo com Murphy et al. (1975)

$$\%Ret = \frac{C_f \cdot M_f}{C_i \cdot M_i} \cdot 100 \quad (7)$$

onde %Ret é a retenção dos carotenoides totais, em porcentagem, C_f é o conteúdo final dos carotenoides totais, C_i é conteúdo inicial dos carotenoides totais nas amostras ($\mu g \beta_{caroteno} / g \text{ produto}$), M_f é a massa final da amostra e M_i é a massa inicial da amostra (g).

4.3.4 Solubilidade

A solubilidade dos pós foi determinada de acordo com Caparino et al. (2012). Uma amostra de 0,5 g de pó foi dispersa em 50 ml de água destilada e misturada a alta velocidade (~ 13.000 rpm) durante 5 minutos, utilizando equipamento Turrax modelo TE-102, marca Tecnal, Brasil. A dispersão foi centrifugada durante 5 minutos a 3.500 x g. Uma alíquota de 12 ml do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada e levada a uma estufa a 105°C (modelo MA 033, marca Marconi, Brasil) até atingir massa constante. A solubilidade do pó foi determinada a partir da diferença entre a massa úmida e a massa seca do sobrenadante. O conteúdo de sólidos solúveis no sobrenadante, dividido pelo conteúdo de sólidos totais da amostra inicial que foi diluída em 50 ml, resultou na solubilidade do pó. Para calcular o conteúdo de sólidos totais, foi considerada a umidade da amostra inicial.

4.3.5 Análises térmicas

A determinação das propriedades térmicas dos pós de manga foi realizada em calorímetro diferencial de varredura DSC (Perkin Elmer, DSC 8000, Shelton, USA) com leitura entre -50 a 200°C, e uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, utilizando uma cápsula vazia como referência. As análises foram conduzidas em triplicata e as temperaturas foram calculadas como o ponto médio da faixa de temperatura correspondente à transição de fase. As amostras foram previamente condicionadas à umidade relativa de 11,28%, em placas de Petri dispostas em dessecador contendo, ao fundo, uma solução saturada de cloreto de lítio, que permaneceu na temperatura de 30°C em estufa incubadora BOD (Simétrica, BT 71, Piracicaba, Brasil).

4.3.6 Difração de Raios-X (DRX)

Os padrões de difração de raios-X dos pós de manga foram determinados utilizando, um difractômetro de bancada (Rigaku, RINT 2000, Japão) com radiação de Cu, linha K, $\lambda=1,542$. Os difratogramas foram determinados entre os ângulos de 5° e 50° , a uma velocidade de varredura de $0,02^\circ/\text{min}$, sendo que as condições usadas foram 50 kV e 30mA.

4.3.7 Análises morfológicas

Para as análises da morfologia, os pós primeiro foram recobertos com ouro em metalizador em condições a vácuo por 3 minutos. As imagens foram analisadas usando microscópio eletrônico de varredura (FEG-MEV JEOL – JSM7500F, Alemanha),

4.4 Modelos matemáticos

4.4.1 Coeficiente efetivo de difusão e Energia de ativação

Coeficiente efetivo de difusão

A cinética de secagem foi avaliada segundo a lei de difusão. Essa teoria é descrita pela segunda lei de Fick (CRANK, 1975), que está apresentada a seguir numa forma modificada, em termos de frações de massa, em base seca, sob a consideração de que a densidade de sólidos é constante:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \nabla^2 X \quad (8)$$

onde X é a fração de massa de água em base seca (kg/kg, bs), D_{ef} é o coeficiente de difusão efetivo de água (m^2/s) e t é o tempo (s).

Para a determinação do coeficiente de difusividade, assumiu-se, no modelo de difusão, a geometria de placa infinita, onde a migração da umidade ocorre na direção da espessura do material. Portanto, considerando-se que o movimento da água ocorre somente na direção z , que a distribuição da umidade dentro da espuma, no instante inicial, é uniforme, e que a resistência externa à transferência de umidade é insignificante, a equação (8) estará sujeita às seguintes condições:

$$t = 0, \quad \text{para todo } z, \quad X = X_0 \quad (9)$$

$$t > 0, \quad z = 0, \quad \left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \quad (10)$$

$$t > 0, \quad z = L, \quad X = X_{eq} \quad (11)$$

onde X_0 e X_{eq} representam o conteúdo de água, em base seca (kg/kg, bs), no instante inicial ($t=0$) e no equilíbrio (eq).

A difusividade efetiva, quando tratada como constante, engloba efeitos de gradientes de temperatura e de concentração, que afetam o fenômeno de transferência de água no produto. Ela também absorve os efeitos do encolhimento, porosidade e tortuosidade. As soluções analíticas são aplicáveis a sólidos de geometria simples e constante ao longo do processo (CRANK, 1975), apesar de serem amplamente utilizadas em estudos de secagem, mesmo com sólidos altamente deformáveis.

Para a determinação dos coeficientes de efetivos de difusão de água segundo a lei de Fick, aplicada a uma placa infinita e sujeita à condição inicial e às condições de contorno dadas pelas equações (9) a (11), utilizou-se a solução analítica da equação (8) integrada ao longo da distância z (CRANK, 1975):

$$MR = \frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{4L^2} \right] \quad (12)$$

onde D_{ef} é a difusividade efetiva da água (m^2/s), MR é o adimensional de concentração de água, $\bar{X}$, representa o conteúdo de água médio, em base seca (kg/kg, bs), num tempo t (s), X_{eq} e X_0 representam o conteúdo de água, em base seca (kg/kg, bs) no equilíbrio e no instante inicial, respectivamente, e L é a espessura da placa que é exposta ao ar de secagem em apenas uma das faces.

A espessura da placa L foi considerada como a média entre sua dimensão inicial e final. O intuito de tal procedimento é diminuir as discrepâncias decorrentes da consideração

da espessura inicial constante ao longo de todo processo de secagem, para materiais altamente deformáveis. A incorporação de espessuras médias ou espessuras que variam em função da umidade, nas soluções analíticas integradas da equação de difusão, tem sido uma maneira aproximada de diminuir a influência do encolhimento sobre os coeficientes efetivos de difusão determinados (GARCIA et al., 2007).

Energia de Ativação

Para representar a influência da temperatura sobre os coeficientes efetivos de difusão de água, a energia de ativação foi calculada a partir da equação de Arrhenius (DISSA et al., 2008):

$$D_{ef} = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{abs}}\right) \quad (13)$$

onde E_a é a energia de ativação, R é a constante universal dos gases (8,314 J/mol K), T_{abs} é a temperatura absoluta do ar (K), e D_o é a constante ou o fator pré-exponencial de Arrhenius (m^2/s).

A forma linear da equação (6) pode ser obtida pela aplicação do logaritmo, segundo:

$$\ln D_{ef} = \ln D_o - \left(\frac{E_a}{RT_{abs}}\right) \quad (14)$$

A partir da representação gráfica da equação (14), de $\ln D_{ef}$ versus $1/T_{abs}$, se obtém o coeficiente angular da reta, que permite calcular o valor da energia de ativação.

4.4.2 Isotermas de Adsorção

A umidade de sorção de equilíbrio dos pós de manga com ar úmido a 30°C foi determinada pelo método gravimétrico. Foram utilizadas sete soluções aquosas de sais saturadas (LiCl, CH₃COOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaNO₂, e NaCl), a fim de obter umidades

relativas entre 0,1128 até 0,709. Cada solução estava contida em pote de vidro hermético, com vedação da tampa em borracha, possuindo em seu interior um tripé, que serviu como suporte para as amostras. Os potes e os tripés foram previamente lavados com água e sabão, secados e desinfetados com formaldeído 37%. Os reagentes utilizados foram adquiridos da marca Synth (Labsynth, Diadema, SP, Brasil).

Amostras entre 2 e 3 g de pó foram pesadas em pequenos recipientes de plástico previamente desinfetados, os quais foram dispostos sobre os tripés. Em seguida, os potes de vidro foram fechados hermeticamente e armazenados em estufa incubadora BOD (Simétrica, BT 71, Piracicaba, Brasil) com temperatura controlada de 30°C. Semanalmente foram realizadas pesagens das amostras em balança analítica (Shimadzu, AUX 220, Japão) até atingirem massa constante, o que se baseou num critério de equilíbrio estabelecido para a máxima variação entre duas pesagens consecutivas a cada 3 dias, que deveria ser menor ou igual a 0,1% da pesagem anterior. Após atingir o equilíbrio, a umidade final das amostras foi determinada em estufa a vácuo (Tecnal, TE-395, Piracicaba, Brasil) a 60°C e 10 kPa.

Os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais foram o de GAB, BET, Peleg, Oswin e Halsey (THYS et al., 2010; MARTÍNEZ et al., 1999; ICOZ; KOKINI, 1995), apresentados segundo a umidade de equilíbrio (X_{eq}), em base seca (kg/kg, bs), em função da atividade de água (a_w):

Modelo de GAB

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (15)$$

Modelo de BET

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1) \cdot a_w)} \quad (16)$$

Modelo de PELEG

$$X_{eq} = A \cdot a_w^B + C \cdot a_w^D \quad (17)$$

Modelo de OSWIN

$$X_{eq} = A \cdot \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B \quad (18)$$

Modelo de HALSEY

$$X_{eq} = \left[\frac{-A}{\ln(a_w)} \right]^{\frac{1}{B}} \quad (19)$$

onde X_m é o conteúdo de água na monocamada, presente nos modelos de BET e GAB; A , B , C e K são parâmetros dos modelos para a determinação das equações de isotermas.

4.5 Planejamento experimental

Delineamentos fatoriais se caracterizam por sua eficiência em experimentos que envolvem o estudo do efeito de dois ou mais fatores. Em delineamentos fatoriais é importante analisar não apenas a significância dos efeitos principais sobre a variável resposta, mas também a significância das interações entre os fatores (MONTGOMERY, 2001). Para caracterização do processo de secagem de espuma e determinação dos fatores que influenciaram as respostas dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*), o teor e a retenção de carotenoides e a solubilidade dos pós, foi usado um planejamento experimental fatorial 2^3 com duas repetições, totalizando 16 tratamentos. Cada tratamento corresponde a uma combinação dos níveis dos fatores, a saber: temperatura de secagem (x_1), concentração de *Emustab* (x_2) e concentração de Albumina (x_3). Todos os fatores foram investigados em dois níveis, sendo o valor codificado máximo igual a +1 e o mínimo, -1. Na Tabela 1, são apresentados os valores codificados dos fatores e a ordem de realização dos experimentos.

Para avaliar a influência dos fatores sobre as variáveis respostas de interesse, foram realizadas análises de variância (ANOVA), considerando um nível de significância de 5%. O

modelo de regressão foi ajustado para descrever cada variável resposta, seguindo a forma geral do modelo de primeira ordem descrito por Montgomery (MONTGOMERY, 2001)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \beta_1 x_1 + \varepsilon_i \quad (20)$$

Na equação (20) y_i identifica a variável resposta, Mais especificamente, y_{1i} representa a claridade (L^*), y_{2i} o parâmetro a^* , y_{3i} o parâmetro b^* , y_{4i} o Croma (C^*), y_{5i} o ângulo Hue, y_{6i} a porcentagem de retenção dos carotenoides e y_{7i} a solubilidade, β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_{12} , β_{13} , β_{23} e β_{123} são os coeficientes de regressão do modelo; x_1 , x_2 e x_3 são as variáveis independentes (fatores) temperatura, concentração de *Emustab* e concentração de Albumina respectivamente; $x_1 x_2$, $x_1 x_3$, $x_2 x_3$ e $x_1 x_2 x_3$ representam as interações; e ε_i é o componente de erro para cada resposta.

Tabela 1 - Planejamento fatorial 2^3 com tratamento aleatorizado e valores codificados dos fatores da secagem de espuma de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins

Ensaio	Tratamento Aleatorizado	Fatores		
		Temperatura	Concentração	Concentração
		(°C) x_1	<i>Emustab</i> (%p/p) x_2	Albumina (%p/p) x_3
1	11	80 (1)	0 (-1)	10 (1)
2	3	60 (-1)	2 (1)	0 (-1)
3	10	60 (-1)	0 (-1)	0 (-1)
4	2	80 (1)	0 (-1)	0 (-1)
5	15	80 (1)	0 (-1)	10 (1)
6	9	60 (-1)	0 (-1)	10 (1)
7	7	60 (-1)	0 (-1)	0 (-1)
8	5	80 (1)	2 (1)	10 (1)
9	1	60 (-1)	2 (1)	10 (1)
10	14	60 (-1)	2 (1)	10 (1)
11	8	80 (1)	0 (-1)	0 (-1)
12	13	60 (-1)	0 (-1)	10 (1)
13	6	80 (1)	2 (1)	10 (1)
14	4	60 (-1)	2 (1)	0 (-1)
15	12	80 (1)	2 (1)	0 (-1)
16	16	80 (1)	2 (1)	0 (-1)

Como parte do refinamento dos modelos para obter uma melhor predição, os modelos foram reajustados, mantendo-se os coeficientes que indicaram um efeito significativo sobre a variável resposta. Deste modo, foram obtidos modelos mais simplificados para descrever cada resposta, isto é, modelos reduzidos.

4.6 Análises estatísticas

Os resultados do planejamento experimental foram analisados usando o programa Minitab 16 ®, considerando-se um nível de significância de 0,05 nos testes estatísticos. Os ajustes do modelo matemático da Lei de Fick às curvas experimentais de secagem, assim como dos modelos de isothermas aos dados experimentais de umidade de sorção foram realizados com o programa Statistica 7. Para avaliar a capacidade do modelo matemático para representar a operação de secagem, foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2) e o Chi quadrado χ^2 . O melhor ajuste foi identificado por valores altos do R^2 e baixos de χ^2 .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da polpa de manga

As características físico-químicas relativas ao teor de umidade, teor de sólidos solúveis totais, pH e cor, medidas em polpa de manga da variedade Tommy Atkins, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios das características físico-químicas da polpa de manga (*Médias de três replicatas seguidas de desvio padrão*)

Parâmetro		Valor
Umidade (g/100g, b.u)		85,66 ±0,11
Sólidos Solúveis (°Brix)		13,81±0,05
pH		4,01±0,06
Carotenoides (µg/g)		16,90 ± 0,43
Cor	<i>L*</i>	58,91 ± 0,08
	<i>a*</i>	11,93 ± 0,35
	<i>b*</i>	71,78 ± 0,57
	<i>C*</i>	72,76
	<i>h*</i>	80,56

O teor de umidade médio da manga fresca foi de 85,66 % bu. Este é um dos parâmetros que varia muito com a época de colheita, região e grau de maturação. Dados reportados na literatura para manga variedade Tommy Atkins estão em torno de 85,24 % ate 86,61 % de acordo com os resultados obtidos por Bezerra (2009) e Martim (2006), respectivamente. Os sólidos solúveis são uma medida que indica o grau de maturidade de alguns frutos, e a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidas, que, em sua maioria são açúcares (BEZERRA, 2009). Verifica-se que o valor obtido de sólidos solúveis se apresentou próximo aos encontrados por autores como Vilela et al. (2013) que reportou o valor de 14,4 °Brix e Torres et al. (2012), que obteve um valor de 13,9 °Brix. No entanto autores como Moreno et al. (2010) apresentam valor de 15,4 °Brix, cujas diferenças são explicadas devido a que estes teores variam com o local de produção, condições ambientais e estágio de maturação.

A manga Tommy Atkins pode apresentar valores de pH abaixo de 6,0, que pode variar com o estágio de maturidade, como foi reportado por Rocha et al. (2001), com valores de pH de 3,23 a 4,51 unidades, sendo este último o valor correspondente ao estágio de maturação

completamente desenvolvida. Por sua vez Bezerra (2009) encontrou um valor de pH de 3,92 unidades, enquanto Martim (2006) reportou um valor de pH de 4,11 unidades, sendo os valores próximos aos encontrados neste trabalho.

O conteúdo de β -caroteno obtido para a manga variedade Tommy Atkins foi ligeiramente maior ao reportado por Oliveira et al. (2011), que foi 15,57 $\mu\text{g/g}$, e menor aos encontrados e por Bezerra (2009) que apresentou valores de 16 $\mu\text{g/g}$, e os reportados por Rajkumar et al. (2007) e Wilson et al. (2013) que quantificaram valores de 79,6 $\mu\text{g/g}$, e 166,4 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. Esta variação explica-se devido a que a concentração de componentes bioativos em frutas varia com as características genéticas do cultivo, fase de maturação, época de colheita e clima (DAMODARAN et al., 2010)

A polpa fresca apresenta uma claridade intermediária, uma intensidade da cor vermelha (a^*) baixa e uma intensidade da cor amarela (b^*) alta (Tabela 2). Os resultados obtidos foram consideravelmente diferentes dos encontrados por Martim (2006) que obteve valores maiores de claridade com 71,25, e da intensidade da cor vermelha (23,76). Por outro lado Moreno et al. (2010), reportou polpa de mango com cores amarelas (39,8) e vermelhas menos intensas (5,6).

5.2 Caracterização e seleção de espumas

Para definir as espumas a serem estudadas no presente trabalho, foram realizados ensaios preliminares, utilizando-se alguns tempos de batimento e concentrações de agentes espumantes. As espumas formadas foram, então, caracterizadas, o que permitiu selecionar as espumas mais adequadas para serem submetidas à secagem.

5.2.1 Densidade e overrun

No caso do tempo de batimento, foram avaliados 5 e 10 minutos, sendo que o batimento por 10 minutos não apresentou efeito significativo na diminuição da densidade em relação ao tempo de 5 minutos. Portanto, optou-se pelo menor tempo, para evitar a exposição prolongada da polpa ao oxigênio e consequente degradação dos carotenoides por oxidação, e também para evitar ruptura da estrutura. Cabe ressaltar que, para o caso dos monoglicerídeos

(*Emustab*), o excesso de tempo de batimento pode gerar colapso na estrutura da espuma pela deformação mecânica, levando à ruptura da parede da estrutural (FALADE et al., 2003).

Em relação às concentrações dos agentes espumantes, foram avaliadas para o *Emustab* valores de 2 % e 5 % (p/p) e de Albumina de 5 % e 10 % (p/p), utilizando 5 minutos de batimento, como já havia sido estabelecido anteriormente, o que proporcionou uma estrutura adequada da espuma para seu posterior processo de secagem, devido à baixa densidade (Tabela 3). De acordo com Hart et al. (1963) e Rajkumar et al. (2007), a densidade da espuma apresenta faixa ótima operacional para a secagem entre 200 e 600 kg/m³. Constata-se que os resultados de densidade obtidos no presente trabalho, após o processo de formação da espuma de manga, estão dentro da faixa reportada pelos autores, para as concentrações de *Emustab* testadas, e um pouco acima do limite superior estabelecido pelos mesmos, para as concentrações testadas de Albumina.

Na Tabela 3 pode-se verificar que a aumento na concentração do agente espumante tem, como efeito, um aumento na expansão da espuma e uma diminuição na densidade. Além disso, os valores de densidade obtidos pelo uso do *Emustab* foram muito mais baixos que os obtidos com o uso de Albumina. Esta situação poderia ser explicada pelo fato de que os monoglicerídeos presentes no *Emustab* permitem diminuir substancialmente a tensão superficial e interfacial, a níveis suficientemente baixos para manter a estabilidade da espuma.

Comportamento semelhante em relação ao papel de monoglicerídeos como agentes formadores de espuma, comparados à Albumina, foi obtido por Rajkumar et al. (2007) na preparação de polpa de Manga Alphonso, Falade et al. (2003), em feijão, e Bag et al. (2009) em Bael (*Aegle marmelos* L.), enquanto que as espumas produzidas com Albumina, neste trabalho, apresentaram valores de densidade similares aos obtidos por Endang et al. (2011), na obtenção de espuma de mamão para produção de suco em pó.

Tabela 3 - Características da espuma de manga (*Média de três replicatas, seguidas do desvio padrão*).

Formulação	<i>Overrun</i> (-)	ρ (kg/m ³)	Cor				
			L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
<i>Emustab</i> 2 % p/p	207,50 ± 2,52	310,48 ± 21,38	85,89 ± 0,92	3,95 ± 0,56	42,29 ± 2,13	42,47 ± 1,20	84,66 ± 0,89
<i>Emustab</i> 5 % p/p	396,68 ± 15,80	198,03 ± 2,92	91,27 ± 0,47	1,30 ± 0,19	23,62 ± 1,36	23,66 ± 0,38	86,85 ± 1,45
Albumina 5 % p/p	18,46 ± 3,05	823,48 ± 3,07	63,45 ± 0,01	11,05 ± 0,12	64,65 ± 0,81	65,59 ± 0,42	80,30 ± 1,76
Albumina 10 % p/p	39,57 ± 0,43	743,36 ± 2,76	62,87 ± 0,02	11,59 ± 0,01	57,42 ± 0,08	58,58 ± 0,16	78,59 ± 0,25

5.2.2 Análise de Cor

Mudanças de cor foram significativamente diferentes em relação aos valores obtidos para polpa fresca (Tabela 2 e 3). A concentração do agente emulsificante influenciou significativamente o valor do parâmetro de luminosidade (L^*). Para as espumas produzidas com *Emustab*, a presença do agente elevou a claridade em aproximadamente 50%, em comparação com a polpa fresca (Tabela 3). Além disso, o aumento da concentração desse emulsificante, de 2 para 5%, aumentou significativamente este parâmetro. As espumas produzidas com Albumina, ainda que tenham mostrado um pequeno aumento em L^* em relação à polpa fresca, apresentaram uma luminosidade intermediária, com uma grandeza em torno de 63. Como consequência do incremento de L^* , a claridade tende mais ao branco, o que se deve, em parte, à cor do emulsificante, mas, principalmente, à incorporação de ar dentro do produto, o que leva à percepção de tonalidades mais claras.

A intensidade da cor vermelha a^* apresentou uma diminuição com respeito à polpa. Para as espumas preparadas com o uso de *Emustab*, a diminuição foi acentuada, ou seja, a tonalidade tendeu a tons pastéis, em direção ao neutro (zero). No caso da Albumina, o valor se alterou muito pouco, mantendo-se próximo ao obtido na polpa fresca, com valores em torno de 11.

Em todas as espumas a intensidade da cor amarela (b^*) apresentou uma diminuição. Para as espumas produzidas a partir de *Emustab*, a intensidade da cor amarela foi muito menor que a encontrada nas espumas produzidas com Albumina. Esta diferença pode ser explicada em relação ao papel do *Emustab* como emulsificante, que apresentou altos valores de incorporação de ar (*overrun*, Tabela 3) em comparação com a Albumina. Constatou-se uma atenuação das cores nessas espumas, com aumento da claridade (L^*) e diminuição da vivacidade (croma, C^*). A tonalidade tendeu mais ao amarelo, o que pode ser constatado pelo aumento de Hue (h^*). Como resultado global as espumas de *Emustab* apresentaram tons mais amarelos e pastéis que a polpa fresca. Resultados semelhantes foram encontrados por Falade et al. (2003), que utilizou diferentes concentrações de monoesterato de glicerila em espumas com pasta de feijão e Falade e Onyeoziri (2010) para inhame.

5.2.3 Estabilidade das espumas

A estabilidade da espuma representa a capacidade de manter a água e o ar fixos na mesma estrutura, e é medida com respeito à variação de volume da espuma devido ao material drenado em função do tempo (BAG et al. 2009). As espumas de manga produzidas com misturas de *Emustab* e de Albumina apresentaram uma estabilidade de 100% (Figura 7), no período de 5 horas em estado de repouso a temperatura ambiente, sua estrutura não teve nenhuma alteração e não foi observada separação de fases, comportamento que é mostrado nas Figuras 8 e 9.

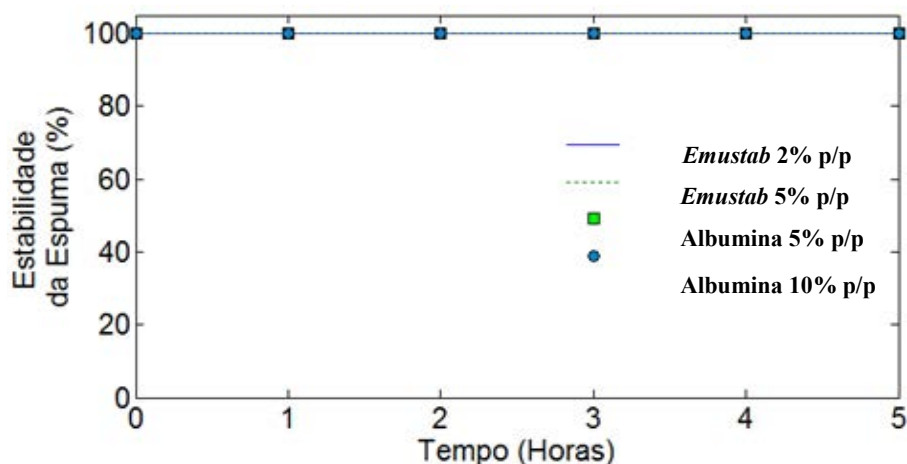


Figura 7 - Estabilidade da espuma de manga espumada com *Emustab* e Albumina a diferentes concentrações.

O *Emustab* e a Albumina, nas concentrações testadas, mantiveram a estabilidade da espuma para o processo posterior de secagem. Para o caso do *Emustab*, a mistura dos emulsificantes permite que, entre as interfases ar-água, ocorra uma redução da energia livre, o que aumenta a área interfacial e, conseqüentemente, diminui a tensão interfacial, o que proporciona maior estabilidade da estrutura. Em relação às espumas com Albumina, a presença de proteínas na interface líquido-ar também reduz a tensão superficial, o que melhora sua estabilidade (MUTHUKUMARAN, 2007). A estabilidade dessas espumas também depende de pH, força iônica, presença de açúcares, além de ser afetada pelas mudanças nas propriedades reológicas provocadas pela Albumina no meio de dispersão, que aumentaram a viscosidade da polpa de manga ((RODRÍGUEZ PATINO et al., 2008; HUNTER et al., 2008; MUTHUKUMARAN, 2007; ENDANG et al., 2011).

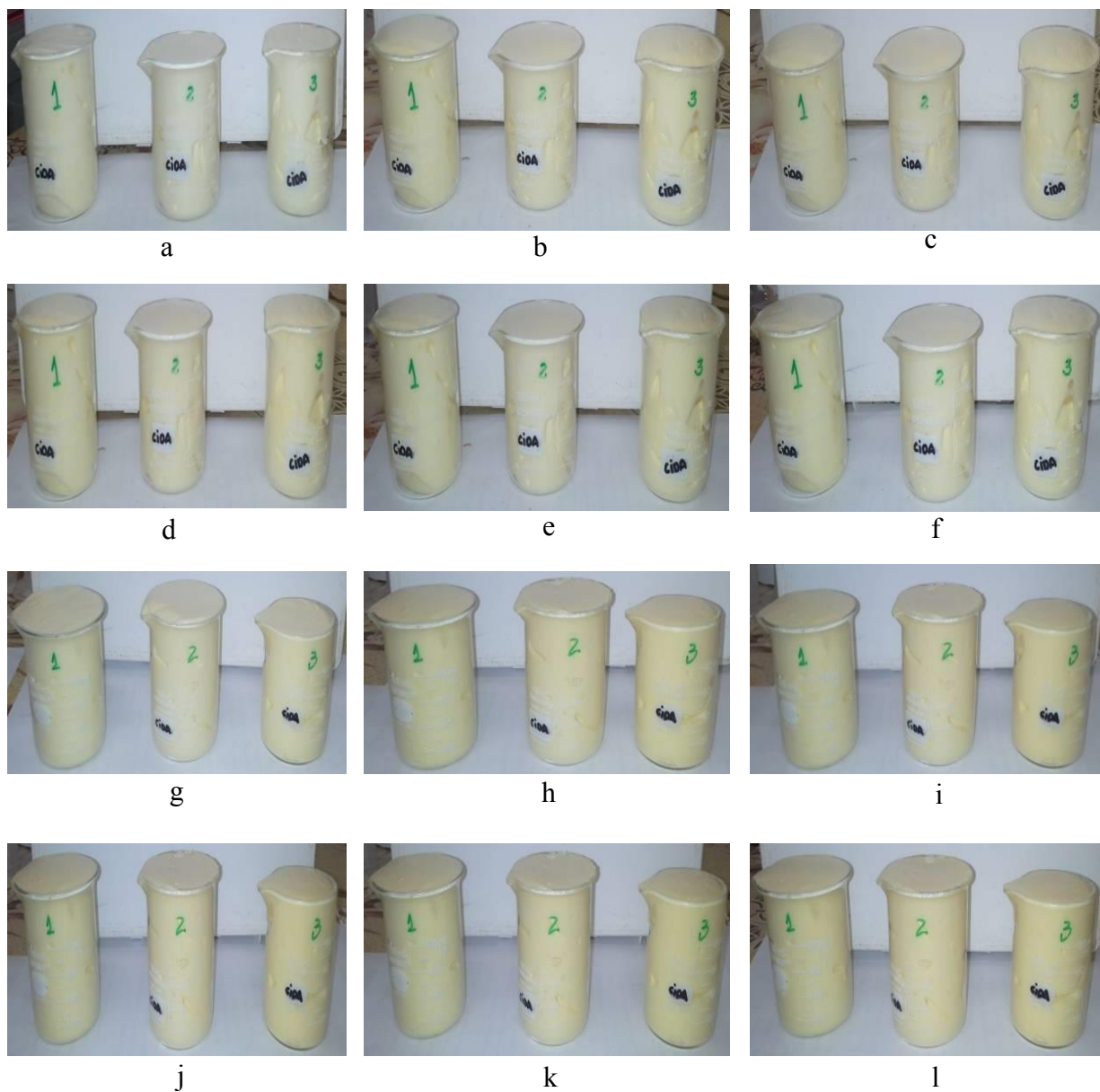


Figura 8 - Estabilidade das espumas produzidas de misturas com *Emustab* com concentrações de 5% para as imagens a, b, c, d, e, f com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas respectivamente e 2% para g, h, i, j, k, l com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas, respectivamente.

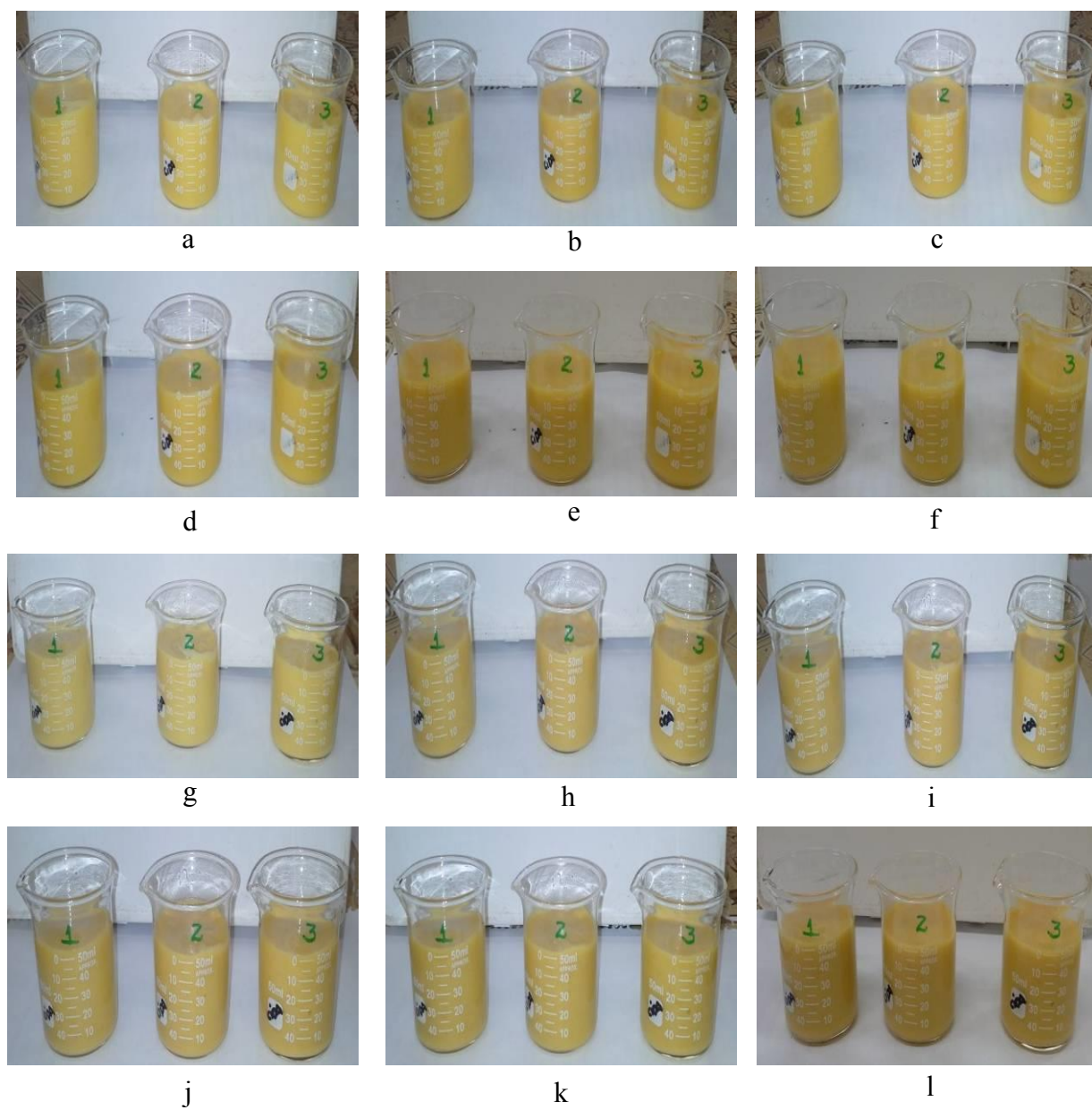


Figura 9 - Estabilidade das espumas produzidas em mistura com Albumina com concentrações de 5% para as imagens a, b, c, d, e, f com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas, respectivamente e 10% para g, h, i, j, k, l com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas, respectivamente.

5.2.4 Seleção de espumas

De acordo com os resultados encontrados para os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , estabilidade e a densidade da espuma e, sabendo que esta última varia com a concentração dos agentes espumantes, o que é um fator muito importante para a eficiência do processo de secagem, foram selecionadas as seguintes concentrações dos agentes espumantes: 2% (p/p) de *Emustab* e 10% (p/p) de Albumina.

A concentração de *Emustab* selecionada proporcionou à espuma claridade (L^*) igual a 86, tonalidade vermelha (a^*) igual a 4 e amarela (b^*) igual a 42, enquanto que a concentração de Albumina proporcionou, para o parâmetro (L^*), o valor 63, para (a^*), o valor de 12 e 57 para (b^*), 57. Esses valores caracterizaram a primeira espuma como mais clara, com cores menos intensas e tonalidade mais amarelada que a segunda. A estabilidade de ambas foi 100% e a densidade, 310 kg/m^3 para espuma com *Emustab*, e 740 kg/m^3 , com Albumina, os quais são adequados para produção de pó manga.

5.3 Cinética de secagem

As espumas produzidas com *Emustab* (2%, p/p), Albumina (10%, p/p), mistura dos dois agentes espumantes (1:5) e apenas a polpa fresca, apresentaram um teor médio de umidade inicial de $85,67 \% \pm 0,22 \% \text{ (b.u.)}$, $78,61 \% \pm 0,25 \% \text{ (b.u.)}$, $78,70 \% \pm 0,23 \% \text{ (b.u.)}$, $85,87 \% \pm 0,57 \%$, respectivamente, os quais foram reduzidos por secagem até teores de umidade na faixa de $3,33 \% \text{ a } 1,52 \% \text{ (b.u.)}$ em pós com aditivos, e de $8,44 \% \text{ a } 6,55 \% \text{ (b.u.)}$ em polpa sem aditivos (Tabela 4). Os valores de umidade dos pós com os agentes espumantes demonstram o potencial desta tecnologia, uma vez que essas baixas umidades podem conferir estabilidade, assim como propriedades requeridas para polpas de fruta em pó. Valores similares a esses foram encontrados em pós produzidos em secagem por atomização de polpa de tamarindo, que apresentou uma umidade de $3,65 \% \text{ (BHUSARI et al., 2014)}$, polpa de lulo, com um valor reportado de $2,2 \% \text{ (IGUAL et al., 2014)}$ e polpa de manga, com $0,043 \text{ kg água/kg de sólido seco}$, o que corresponde à umidade de $4,12 \% \text{, em base úmida (CAPARINO et al., 2012)}$.

Como mostra a Tabela 4, os valores de umidade dos pós de manga obtidos a partir da espuma com Albumina e com a mistura dos dois agentes espumantes apresentaram diferenças

quando o processo de secagem foi realizado a 80 °C e 60 °C, enquanto que as espumas produzidas apenas com *Emustab* apresentaram valores próximos, nas duas temperaturas de processo.

Os pós, tanto com *Emustab* como com Albumina, apresentaram valores baixos de atividade de água, na faixa entre 0,12 e 0,27, o que contribui para a preservação do produto em termos de características microbiológicas. Além disso, é importante ressaltar que valores baixos de a_w também contribuem para a estabilidade dos pigmentos e/ou cor, porque nas faixas de a_w entre 0,1 e 0,4, as reações de auto-oxidação são minimizadas pela inativação da lipooxigenasas (RAHMAN; SABLANI 1995). Também é importante destacar que, segundo os resultados de umidade e atividade de água, os pós produzidos com *Emustab*, apresentam uma capacidade maior de reter água que os pós produzidos apenas com Albumina, quando se considera a mesma atividade de água. Esse fato pode ser explicado com base na interação dos emulsificantes com a água, bem maior para as substâncias contidas no *Emustab* do que para a Albumina, cuja discussão será retomada nos resultados concernentes às 'Isotermas de Adsorção', no item 5.8. Portanto, a capacidade de abaixamento da atividade de água pelo *Emustab* é um fator que pode favorecer a redução de reações indesejáveis, mas, ao mesmo tempo, pelo fato de conter substâncias que têm papel de umectante (HASENHUETTL; HARTEL, 2008), poderia prejudicar a operação de moagem e, conseqüentemente, o tamanho das partículas e sua distribuição, e, em sequência afetar outras propriedades do pó, como, por exemplo, sua fluidez.

Conteúdos de umidade (bs) das espumas, em função do tempo de secagem, são apresentados nas Figuras 10 e 11, para secagem às temperaturas de 60 °C e 80 °C. As curvas obtidas no presente trabalho mostraram que a secagem da espuma de manga apresentou só o período de taxa decrescente, não tendo sido detectado período de taxa constante, nas duas temperaturas de secagem (60 e 80) °C. Resultado similar em relação às taxas de secagem também foi encontrado por outros autores, na secagem de espumas de manga (WILSON et al., 2013; RAJKUMAR et al., 2007), de banana (SANKAT; CASTAIGNE, 2004; THUWAPANICHAYANAN et al., 2008), carragenina (DJAENI et al., 2013) e camarão (AZIZPOUR et al., 2014).

Tabela 4 - Valores de umidade e atividade de água da polpa e dos pós de manga nas diferentes condições de secagem.

Formulação	Temperatura de Secagem (°C)	Umidade final (b.u) (%)	a_w (-)
Polpa	60	$8,44 \pm 0,32^a$	$0,48 \pm 0,03^a$
	80	$6,55 \pm 0,69^b$	$0,35 \pm 0,03^b$
Albumina (10%)	60	$2,95 \pm 0,97^c$	$0,27 \pm 0,01^c$
	80	$1,55 \pm 0,17^d$	$0,18 \pm 0,01^d$
Emustab (2%)	60	$3,33 \pm 0,34^c$	$0,23 \pm 0,01^e$
	80	$2,87 \pm 0,25^c$	$0,20 \pm 0,01^f$
Emustab (2%)-Albumina (10%)	60	$3,43 \pm 0,23^c$	$0,27 \pm 0,03^c$
	80	$1,32 \pm 0,20^d$	$0,12 \pm 0,03^g$

Médias na mesma coluna com letras iguais não diferem significativamente a $p < 0,05$, de acordo com o teste de Tukey.

A Figura 10 apresenta a média dos valores de umidade obtidos nos experimentos realizados em duplicata, em função do tempo de secagem, sendo que as curvas representam as cinéticas de secagem na temperatura de processo de 60°C para as espumas de polpa de manga com *Emustab* a 2 % p/p, Albumina 10 % p/p, mistura dos dois emulsificantes *Emustab* 2 % p/p–Albumina 10 % p/p e polpa fresca 100 % p/p. Uma avaliação dos tempos de secagem, à temperatura de 60°C, mostra que as espumas que continham *Emustab* tiveram uma tendência a apresentar maiores tempos de secagem do que as espumas produzidas só com Albumina ou com a polpa fresca. Entretanto, a Albumina diminuiu consideravelmente a umidade da mistura, mesmo com uma menor taxa de secagem, o que pode ser verificado pela inclinação menos pronunciada da curva. Já a espuma com Albumina atingiu baixos níveis de umidade mais rapidamente que as demais espumas e que a polpa sem aditivos.

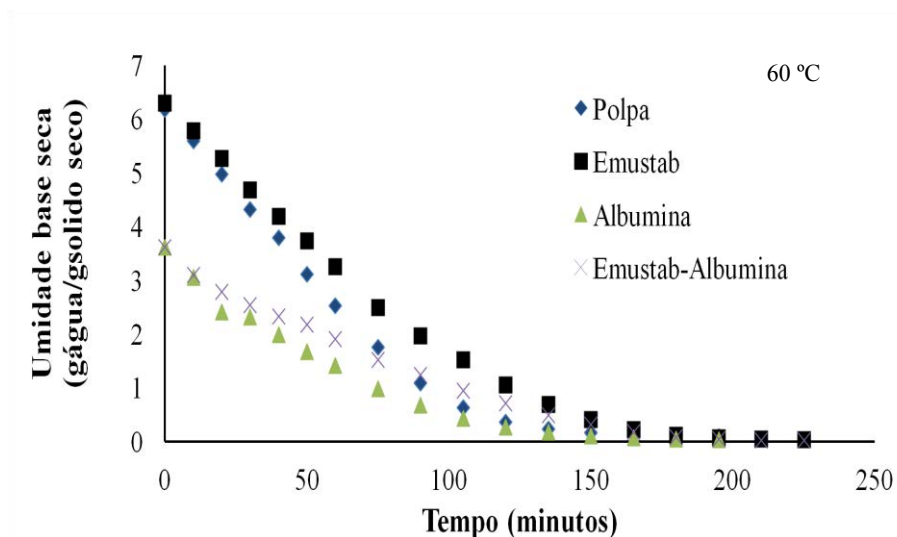


Figura 10 – Cinética de secagem das espumas produzidas com *Emustab* (2 %, p/p), Albumina (10 %, p/p), mistura de *Emustab* (2 %, p/p) com Albumina (10 %, p/p), e polpa pura.

A capacidade do *Emustab* de reter água já foi observada através dos valores de umidade correspondentes à atividade de água dos pós com esse emulsificante (Tabela 4) e pode ser explicada com base no polioxietileno de monoestearato de sorbitana, um agente também umectante (HASENHUETTL; HARTEL, 2008) presente na composição do *Emustab*. Essa substância possui grande afinidade pela fase aquosa, o que é demonstrado por um valor alto em seu HLB em torno a 14,9; no caso dos monoglicerídeos, tem sido demonstrado que eles são capazes de formar celas que capturam a água, formando estruturas em forma de gel (HUNTER et al., 2008; FALADE; ONYEOZIRI, 2010; HASENHUETTL; HARTEL, 2008).

Ainda em relação à secagem a 60 °C, mesmo que polpa sem aditivos tenha apresentado maiores taxas de secagem do que as espumas que continham apenas *Emustab* (Figura 10), a umidade de equilíbrio atingida pela polpa foi de 8,44 % ± 0,32 % b.u (tabela 4), significativamente diferente da umidade de equilíbrio obtida com *Emustab*, cujo valor foi de 3,33 % ± 0,22 % b.u. Uma vez que a taxa de secagem da polpa se mostrou a mais alta no início da secagem, isso sugere uma possível formação de crosta endurecida sobre a superfície da polpa desidratada exposta ao ar a 60 °C, dificultando a perda de água nas últimas etapas de secagem da mesma. Além disso, há o efeito da concentração de açúcares da polpa sobre a

umidade de equilíbrio. Essa concentração diminui quando a polpa é misturada com os agentes espumantes, o que propicia diminuição da umidade de equilíbrio, sobretudo com a Albumina, uma vez que a capacidade de retenção de água pelos açúcares é bem superior à da proteína. Além disso, deve-se considerar que, se por um lado, a migração da água dentro da espuma até a superfície é facilitada por sua estrutura porosa, por outro, agentes emulsificantes como o *Emustab* têm em sua composição substâncias também umectantes (HASENHUETTL; HARTEL, 2008). Consequentemente, as curvas de secagem são o resultado de diversos fatores que podem exercer efeitos de maneira oposta sobre as taxas de secagem e sobre as umidades de equilíbrio dos produtos.

O comportamento da curva de secagem à 80 °C (Figura 11) mostra que a perda de umidade ao longo do tempo foi maior do que a obtida a 60 °C, com uma considerável diminuição nos tempos de secagem. Ao comparar as espumas só com *Emustab* e polpa fresca, constata-se que as curvas apresentaram um comportamento similar em relação à perda de umidade, sendo que a taxa de secagem da espuma com *Emustab* superou ligeiramente a da polpa, indicando aumento da eficiência do processo quando se aplica o leito de espuma. Novamente, a umidade de equilíbrio atingida pela polpa fresca foi de $6,55 \% \pm 0,69 \% \text{ b.u.}$ (Tabela 4), que é significativamente maior que a obtida na espuma com *Emustab*, que foi de $2,87 \% \pm 0,25 \% \text{ b.u.}$, comportamento já observado na secagem a 60 °C.

Em relação aos agentes emulsificantes, na cinética de secagem a 60 °C ou 80 °C, as espumas produzidas somente com *Emustab* apresentaram taxas de secagem sempre superiores às espumas com Albumina em sua formulação. Isto poderia ser o resultado da densidade menor obtida nas espumas com *Emustab*, que melhoram a velocidade de migração de água dentro do produto.

Nas curvas de secagem à 80°C (Figura 11) das espumas produzidas com agentes espumantes ou com polpa fresca, se observou uma tendência da perda de umidade mais pronunciada no começo da secagem, até aproximadamente a primeira hora, que foi diminuindo com o transcorrer do processo. Ao comparar a secagem de produtos de umidade alta como fatias de alho e de manga de 3 mm de espessura, secadas durante aproximadamente 3 horas a 75 °C e 80 °C, respectivamente, cujas condições são similares às utilizadas na secagem da espuma de manga, observa-se que as umidades finais atingidas, de 5 % (b.u.) para o alho e 24,5 % (b.u.) para a manga (DEMIRAY; TULEK, 2014; CORZO et al., 2008), estão acima das encontradas para as espumas estudadas neste trabalho. Isso mostra que o processo

de formação de espuma permite atingir umidades abaixo de 4 % b.u em tempos curtos de secagem. Além disso, a umidade dos pós obtidos por esta metodologia são similares aos produzidos por liofilização ou mediante spray dryer (BHUSARI et al., 2014; IGUAL et al., 2014; CAPARINO et al., 2012; SOGI et al., 2014).

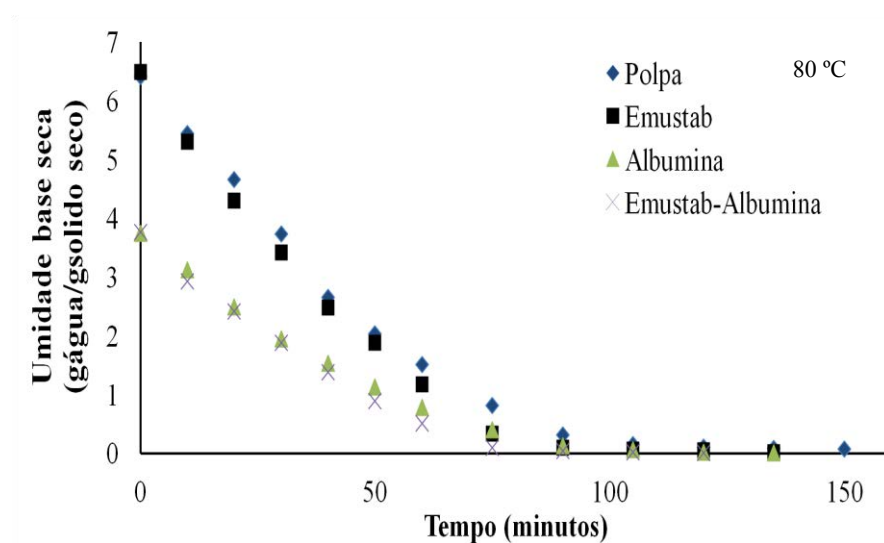


Figura 11 - Cinética de secagem das espumas produzidas com *Emustab* (2%, p/p), Albumina (10%, p/p, mistura de *Emustab* (2%, p/p) com Albumina (10%, p/p), e polpa pura.

5.4 Coeficientes efetivos de difusão e energia de ativação

Das curvas de secagem representadas nas Figuras 10 e 11, constata-se que o conteúdo de umidade decresce exponencialmente com o tempo, podendo ser representado pela Lei de difusão de Fick. Outros autores têm tratado a cinética de secagem de espumas usando o modelo de difusão, como Thuwapanichayanan et al. (2008) para a espuma de banana e Djaeni et al. (2013) na espuma de carragena.

Os coeficientes efetivos de difusão da água na polpa fresca e nas espumas de manga foram calculados a partir da solução da equação de Fick (Equação 8), usando sete termos da

série, com o software Statistica 7.0. Eles foram calculados com os valores médios de umidade obtidos em dois experimentos. A espessura média utilizada na Equação 12 foi igual a 1 mm para a polpa pura e 1,5 mm para todas as espumas.

Os resultados são apresentados na Tabela 5 e os gráficos que comparam os dados experimentais e os dados preditos são mostrados nas Figuras 12 e 13.

Tabela 5 - Coeficientes efetivos de difusão de água na polpa, na espuma com Albumina 10 % p/p, com Emustab 2 % p/p e com a mistura dos dois emulsificantes, calculados a partir da Lei de Fick

Formulação	Temperatura de Secagem (°C)	D_{ef} (m²/s)	χ^2	R^2
Polpa	60	$6,70 \times 10^{-11}$	6,53	0,98
	80	$1,75 \times 10^{-10}$	4,39	0,96
Albumina 10%	60	$2,20 \times 10^{-10}$	0,97	0,98
	80	$3,09 \times 10^{-10}$	1,09	0,97
Emustab 2%	60	$1,64 \times 10^{-10}$	7,08	0,96
	80	$3,26 \times 10^{-10}$	3,71	0,96
Emustab (2%)-Albumina (10%)	60	$1,61 \times 10^{-10}$	1,58	0,97
	80	$3,55 \times 10^{-10}$	1,10	0,96

Considerando os coeficientes de difusividade (D_{ef}) mostrados na Tabela 5, pode-se afirmar que, à temperatura de 60 °C, as espumas produzidas com *Emustab* têm um menor valor do D_{ef} em comparação às espumas com Albumina. A mudança de temperatura, de 60 °C para 80 °C provocou um aumento significativo do coeficiente de difusão, tanto para as espumas como para a polpa. Cabe destacar que nas espumas produzidas com *Emustab*, o valor da difusividade dobrou em relação ao obtido a 60 °C. Este comportamento pode ser mais bem observado através do valor da energia de ativação (Tabela 6) encontrado para as espumas com *Emustab*, o que indica que a difusividade nessas espumas varia mais com mudanças de temperatura do que as demais espumas. Além disso, sabe-se que quando monoglicerídeos estão na presença de água e em temperaturas acima do seu ponto de fusão, suas cadeias de carbono entram em um estado desordenado e a água, que inicialmente estava presa na cauda dos emulsificantes, poderia ser liberada e, assim, ter mais água disponível para ser evaporada (VAN DE WALLE et al., 2008).

Tabela 6 - Energia de ativação da polpa, da espuma com Albumina 10 % p/p, *Emustab* 2 % p/p e a mistura dos dois emulsificantes.

Formulação	Ea (KJ/mol)
Polpa	16,92
Albumina 10 % p/p	16,50
<i>Emustab</i> 2 % p/p	33,67
<i>Emustab</i> 2 % p/p - Albumina 10 % p/p	38,59

Outra consideração é que em todas as espumas produzidas, os valores dos coeficientes de difusão foram maiores que os encontrados na polpa de manga. Entretanto, os coeficientes efetivos de difusão obtidos nas espumas estudadas no presente trabalho são bem inferiores aos reportados por Wilson et al. (2013) e Rajkumar et al. (2007) para polpa de manga espumada com Albumina, cujos valores dos coeficientes de difusão reportados estão em torno de $1,53 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para temperaturas de processo de 65 °C e $2,63 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ a 85 °C. Na secagem de espuma de camarão, Azizpour et al. (2014) também encontraram valores altos, de $3,51 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ a 85 °C. Os autores citados calcularam a difusividade com base na solução analítica da equação de difusão para placas, porém, utilizaram apenas o primeiro termo da série, o que costuma ser adequado para valores de Fo maiores que 0,2 (CREMASCO, 2002). No presente

trabalho, tal simplificação foi testada e resultou em valores altos de difusividade, também da ordem de $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, comprovando que a aproximação seria inadequada para a secagem dessas espumas.

Por outro lado, a secagem do polissacarídeo carragena, na forma de espuma com o emulsificante Albumina, apresentou valores de difusividade de água de $2,74 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para 60°C e de $6,47 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 80°C (DJAENI et al., 2013). Os autores usaram também a Equação (8) com o primeiro termo da série. Entretanto, a carragena, que é um espessante e estabilizante alimentício, apresenta grande afinidade pela água, e a principal dificuldade de secá-la é que ela forma gel com a água, reduzindo a difusão desta para a superfície, o que provavelmente explica esses valores de difusividade efetiva, que seriam mais baixos ainda se maior número de termos da série fossem aplicados.

Em termos gerais, a Lei de Fick representou razoavelmente bem o processo difusivo da secagem da espuma de manga obtida com Albumina, com *Emustab* e com a mistura dos dois, o que pode ser corroborado com os parâmetros estatísticos de R^2 e χ^2 obtidos pelo ajuste deste modelo (Tabela 4). Os valores experimentais e calculados são mostrados nas Figuras 12 e 13.

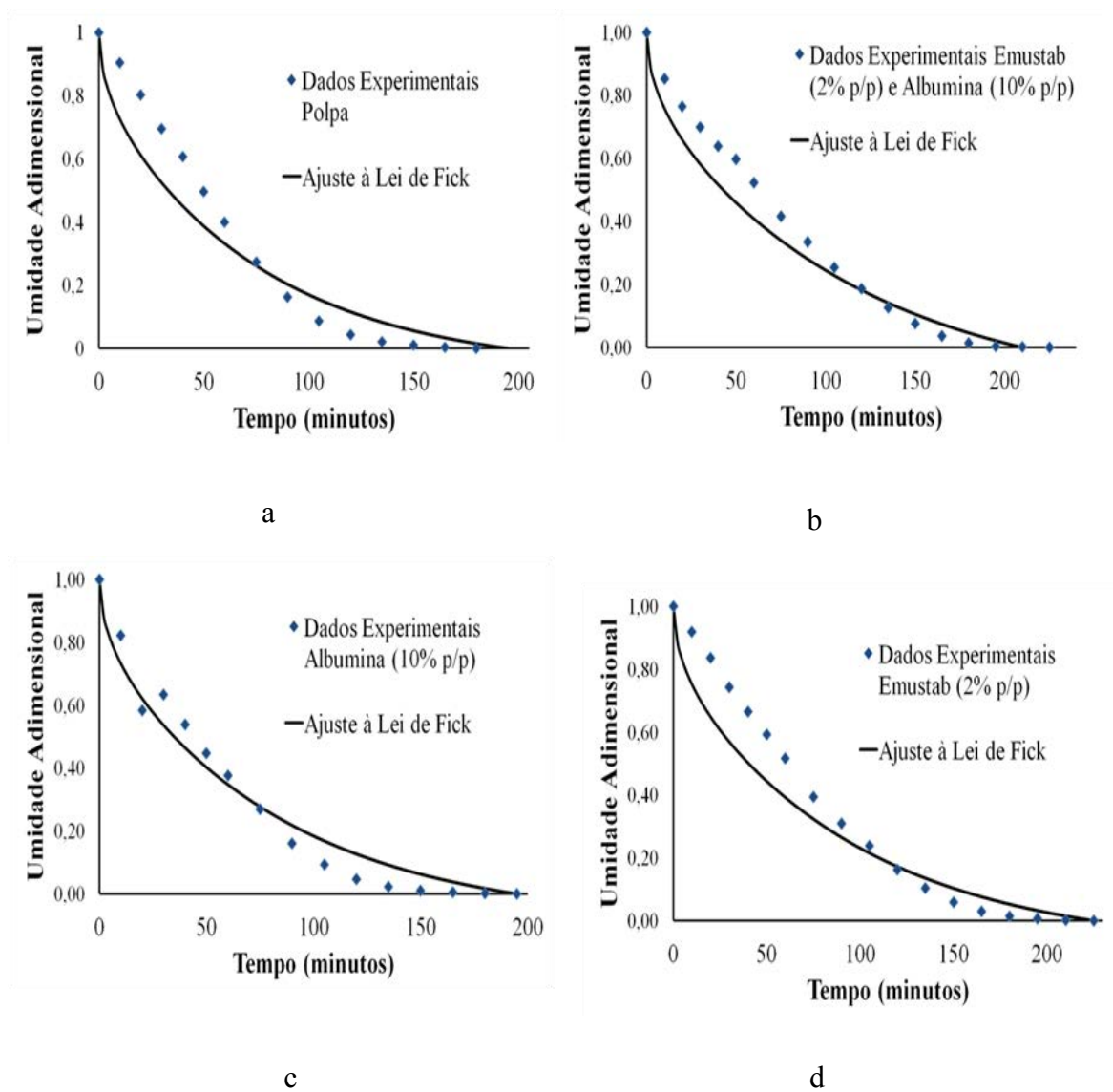


Figura 12 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para a temperatura de secagem de 60°C da polpa fresca (a) e das espumas *Emustab*-Albumina (b), Albumina (c) e *Emustab* (d).

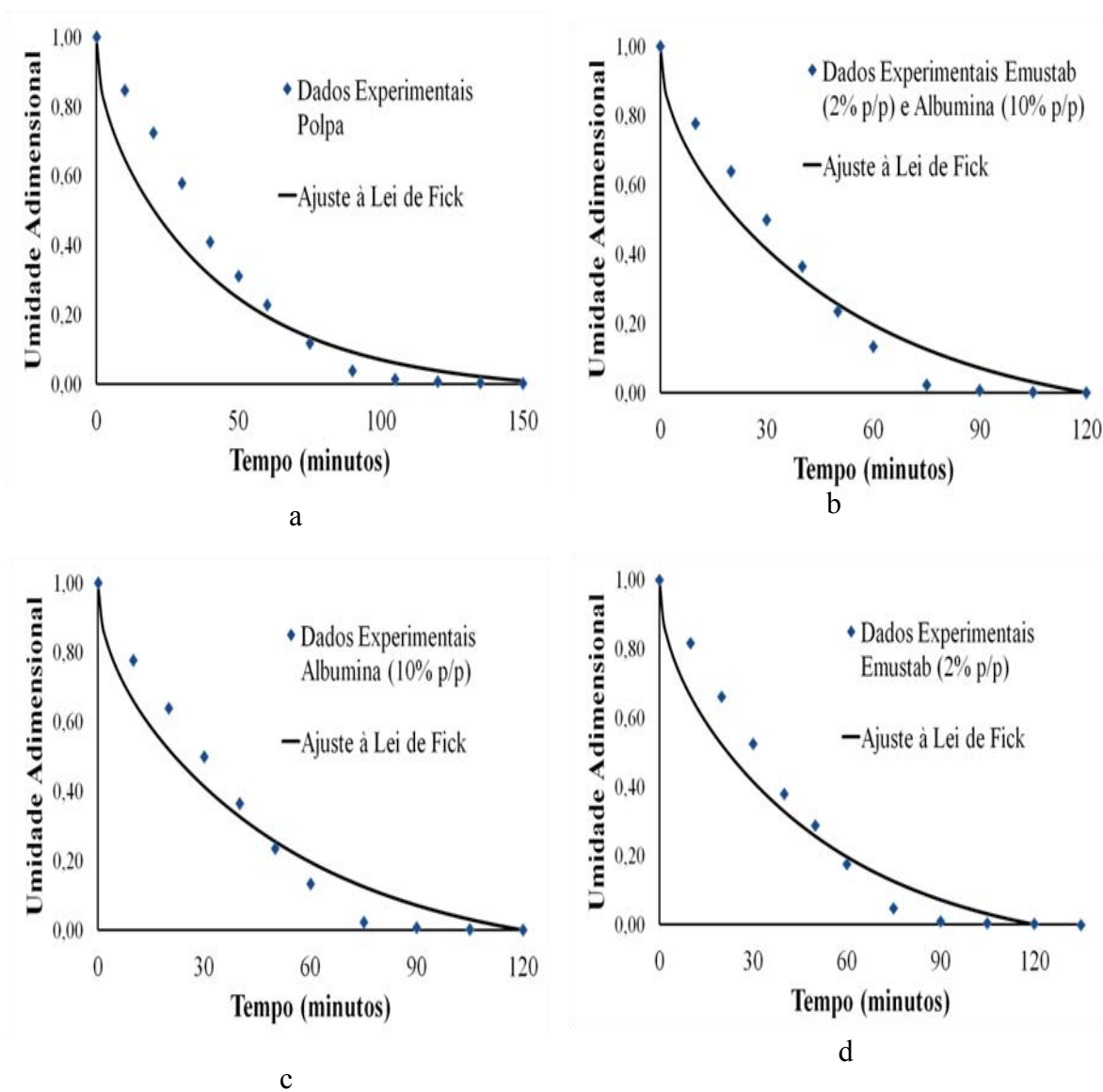


Figura 13 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para a temperatura de secagem de 80°C da polpa fresca (a) e das espumas *Emustab*-Albumina (b), Albumina (c) e *Emustab* (d).

5.5 Cor

5.5.1 Efeito da temperatura, concentração de *Emustab* e Albumina nos parâmetros de cor.

5.5.1.1 Claridade (L^*)

Os efeitos das condições de processo sobre os parâmetro (L^* , a^* , b^* , $^{\circ}$ Hue e Croma) são apresentados a seguir. Na Figura 14a observa-se que a claridade (L^*) é afetada significativamente pela concentração de *Emustab* (B), pela concentração de Albumina (C) e pela interação entre esses dois fatores (BC). A variável que mais afetou a resposta foi a concentração de *Emustab*, seguida da concentração de Albumina e, finalmente, da interação entre essas variáveis (Figura 14b). Os dois primeiros fatores têm uma tendência positiva, isto é, um aumento na sua concentração provoca um aumento na claridade, porém, a interação entre eles mostra um decréscimo no valor de L^* .

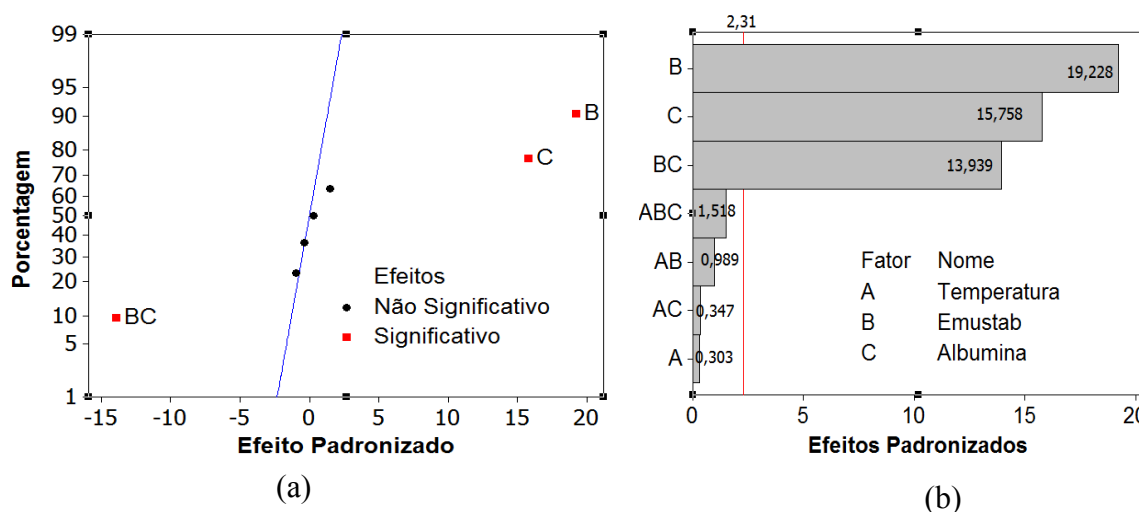


Figura 14 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a claridade (L^*) e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).

O modelo de regressão ajustado, que descreve a claridade em função dos efeitos principais descritos anteriormente e das interações entre eles, mostrou-se adequado, com um

R^2 de ajuste de 0,98. O modelo reduzido ajustado às variáveis codificadas é apresentado pela Equação (21) e o modelo para variáveis originais não codificadas, pela Equação (22), que pode ser usada para fins preditivos.

$$y_{1i} = 72,918 + 10,270x_2 + 8,417x_3 - 7,445x_2 \cdot x_3 \quad (21)$$

onde: y_{1i} é a claridade (L^*) depois da secagem, x_2 é a concentração do *Emustab*, x_3 concentração de Albumina e x_2x_3 a interação da concentração do *Emustab* e da Albumina.

$$L^* = 34,9833 + 27,0873Em + 4,56654Al - 2,62377Em \cdot Al \quad (22)$$

sendo que *Em* é a concentração de *Emustab* % p/p, *Al* é concentração de Albumina % p/p, e $Em \cdot Al$ é a interação entre a concentração de *Emustab* e concentração de Albumina.

Da Figura 15 e Tabela 7, observa-se a claridade (L^*) varia com a presença dos agentes espumantes. Aumentando a concentração de Albumina, constata-se uma tendência pronunciada de crescimento do valor da claridade (L^*). Comportamento semelhante é revelado quando se tem um aumento na concentração de *Emustab*. As espumas produzidas com *Emustab* são significativamente mais claras do que as produzidas com Albumina (Tabela 7). Tais diferenças poderiam ser explicadas pelo fato de que o *Emustab* fornece uma maior incorporação de ar na estrutura, o que faz com que a cor seja mais branca, pela facilidade da passagem do feixe de luz.

Tabela 7 - Parâmetros de cor da polpa fresca e dos pós de manga obtidos nas diferentes condições de secagem segundo o planejamento experimental. (*Média de três replicatas, seguidas de desvio padrão.*).

	Formulação	L^*	a^*	b^*	Croma (C^*)	°Hue (h^*)
Secagem 60°C	Polpa	51,59 ± 6,90	8,79 ± 2,37	41,27 ± 1,50	41,78 ± 3,25	81,06 ± 0,79
	Albumina 10%	78,82 ± 0,87	6,74 ± 0,20	44,59 ± 0,81	44,80 ± 1,72	81,49 ± 0,17
	Emustab 2%	83,21 ± 0,83	4,62 ± 0,48	49,73 ± 0,15	50,07 ± 2,81	84,74 ± 0,26
	Emustab (2%)-Albumina (10%)	81,36 ± 3,47	3,16 ± 0,27	38,25 ± 0,28	38,38 ± 2,06	85,29 ± 0,16
Secagem 80°C	Polpa	48,47 ± 3,98	12,60 ± 1,89	46,86 ± 2,62	47,52 ± 1,34	74,99 ± 1,77
	Albumina 10%	78,20 ± 0,71	6,68 ± 0,16	44,92 ± 0,48	45,37 ± 2,15	81,50 ± 0,30
	Emustab 2%	81,23 ± 0,76	6,15 ± 0,57	50,12 ± 0,28	50,51 ± 1,49	83,01 ± 0,54
	Emustab (2%)-Albumina (10%)	84,42 ± 0,76	3,01 ± 0,55	36,80 ± 0,14	36,93 ± 1,38	85,35 ± 0,68

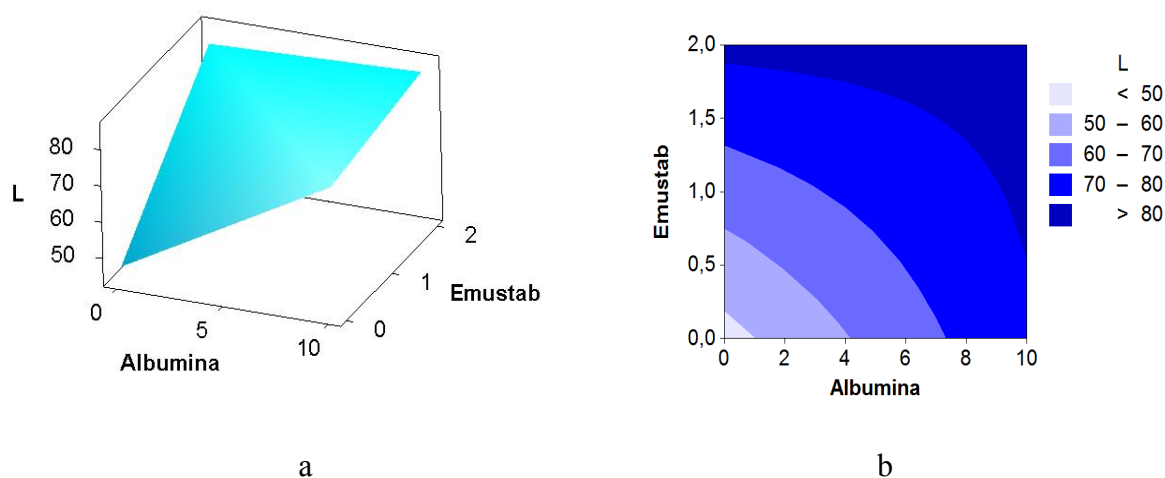


Figura 15– Superfície de resposta para a claridade (L^*) em função de concentração de *Emustab* (% p/p) e Albumina (% p/p) (a). Gráfico de contorno para L^* em função da concentração de *Emustab* (% p/p) e Albumina (% p/p) (b).

Entretanto, após o processo de secagem, a claridade dos pós resulta semelhante à das espumas de *Emustab*, ao redor de 80. Portanto, a claridade dos pós é sempre superior à da polpa fresca e da espuma com Albumina. .

Outros autores têm encontrado valores altos de claridade em pós obtidos por secagem em leito de espuma. Falade et al. (2003) obteve L^* de 76,76 em pó de pasta de feijão caupi batida com monoestearato de glicerila, enquanto que Karim e Wai (1998), obtiveram valores de 78,4 no pó de carambola obtido pela mistura da polpa com metilcelulose, como agente espumante. Valores altos de claridade também têm sido reportados por Chauhan e Patil (2013) em secagem de polpa de manga com leite por atomização em spray dryer, obtendo valores de claridade de 70,10.

5.5.1.2 Parâmetro a^*

Na Figura 16a o parâmetro a^* diminui com o aumento da concentração de *Emustab*, da concentração de Albumina, das interações temperatura-concentração de *Emustab* e temperatura-concentração de Albumina. Por sua vez, quando se eleva a temperatura, há um aumento desta resposta. O parâmetro que provocou maior efeito sobre a^* foi a concentração de *Emustab* (Figura 16b), com um efeito negativo.

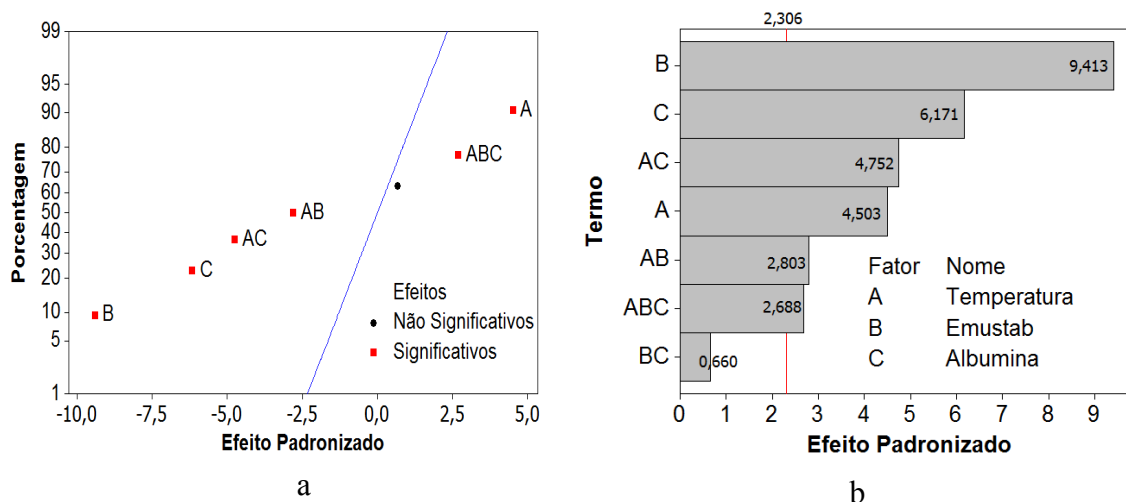


Figura 16 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a o parâmetro a^* e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).

O modelo de regressão linear capaz de descrever o comportamento do parâmetro a^* em função das variáveis de processo é definido pelas Equações (23) e (24). O coeficiente R^2 foi de 0,92, o qual indica um bom ajuste do modelo, e este pode ser usado para fins preditivos.

$$y_2 = 6,177 + 0,933x_1 - 1,951x_2 - 1,279x_3 - 0,581x_1 \cdot x_2 - 0,985x_1 \cdot x_3 + 0,557x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (23)$$

onde y_{2i} é o parâmetro a^* depois da secagem, x_1 é a temperatura, x_2 é concentração de *Emustab*, x_3 é concentração de Albumina, $x_1 \cdot x_2$ é a interação temperatura e concentração *Emustab*, $x_1 \cdot x_3$ a interação temperatura e concentração de Albumina e $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ é a interação temperatura, concentração de *Emustab* e concentração de Albumina. A Equação 24 representa os valores dos coeficientes não codificados que descreve o comportamento de a^* .

$$a^* = -11,849 + 0,3056T + 5,878Em + 1,876Al - 0,114T \cdot Al - 0,031T \cdot Em + 0,011T \cdot Em \cdot Al \quad (24)$$

onde T é a temperatura, Em é a concentração de *Emustab* % p/p, Al é concentração de Albumina % p/p, $T \cdot Em$ é a interação temperatura e concentração de *Emustab*, $T \cdot Al$ é a interação temperatura e concentração de Albumina % p/p e $Em \cdot Al$ é a interação concentração de *Emustab* e concentração de Albumina % p/p.

Nas Figuras 17a e 17c, constata-se que, com a mudança da temperatura do ar, de 80°C a 60°C, há uma leve diminuição da tonalidade vermelha da polpa sem aditivos, podendo indicar perda de pigmentos, os quais seriam relacionados aos carotenoides. O valor de a^* na polpa processada a 80°C ($a^*=12,60$, Tabela 7) resultou muito próximo ao da polpa de manga fresca ($a^*=11,93$, Tabela 2).

A adição dos agentes espumantes provocou um decréscimo no valor de a^* , sendo que os menores valores foram encontrados nos pós provenientes da mistura de *Emustab* e Albumina, independente da temperatura de secagem (Tabela 3)

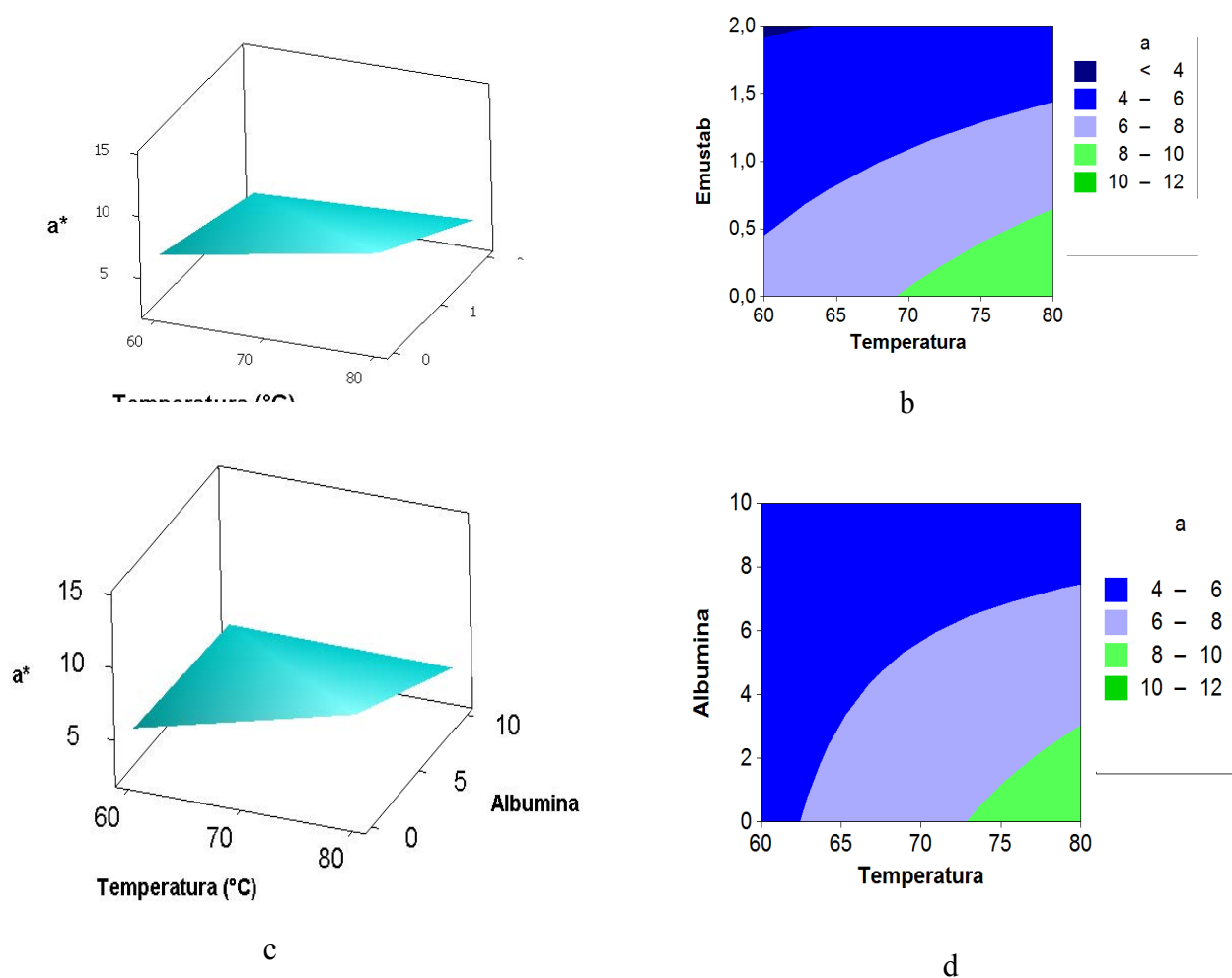


Figura 17 – Superfície de resposta para o parâmetro a^* em função de: temperatura e concentração de *Emustab* (% p/p) (a); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (c).
Curvas de contorno para a^* em função de: temperatura e concentração de *Emustab* (% p/p) (b); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (d).

5.5.1.3 Parâmetro b^*

O parâmetro b^* é umas das características mais importantes em termos de cor da manga, devido ao fato de que ele indica a intensidade amarela. Durante o processamento, b^* foi mais afetado pela interação entre os agentes *Emustab*-Albumina, seguido pela concentração de Albumina (Figura 18b). Um aumento na concentração da Albumina implica uma diminuição na intensidade amarela.

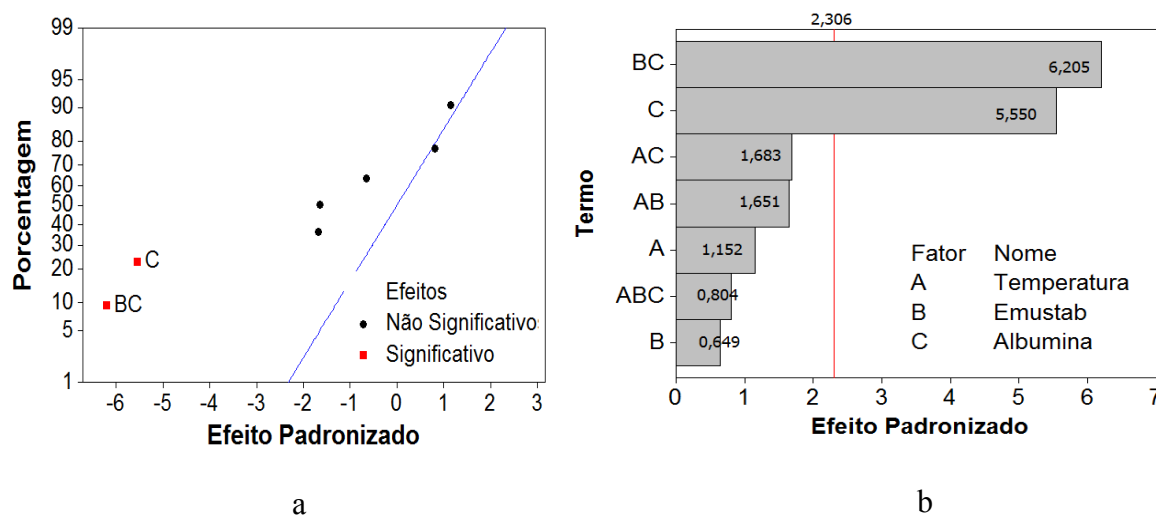


Figura 18 – Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre o parâmetro b^* e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).

A descrição do comportamento do parâmetro b^* com as variações da concentração da Albumina e a interação da concentração da Albumina-*Emustab* é representada pelas Equações (25) e (26), com um R^2 ajustado de 0,82.

$$y_{3i} = 44,068 - 0,343x_2 - 2,928x_3 - 3,274x_2 \cdot x_3 \quad (25)$$

onde y_{3i} é o parâmetro b^* depois da secagem, x_2 é concentração de *Emustab*, x_3 é concentração de Albumina, e $x_2 \cdot x_3$ é a interação da concentração de *Emustab* e concentração de Albumina.

O modelo expresso pela Equação (26) representa os valores dos coeficientes não codificados, que descrevem o comportamento de b^* :

$$b^* = 24,5263 + 11,9981Em + 1,90625Al - 1,24854Em \cdot Al \quad (26)$$

onde Em é a concentração de *Emustab* (% p/p), Al é concentração de Albumina (% p/p), e $Em \cdot Al$ é a interação concentração de *Emustab* e concentração de Albumina (% p/p).

Na Figura 19, observa-se que, na concentração máxima de apenas de *Emustab*, o valor é notavelmente elevado, isto é, encontra-se a maior intensidade da cor amarela nos pós produzidos com esse agente. No entanto, com a máxima concentração de Albumina, conforme se aumenta a concentração do *Emustab*, constata-se uma tendência de diminuição desse parâmetro. A tonalidade amarelada encontrada no produto em pó pode ser resultante de certa proteção que as lamelas de emulsificante exerceriam sobre os pigmentos, protegendo-os dos efeitos das condições de temperatura elevada.

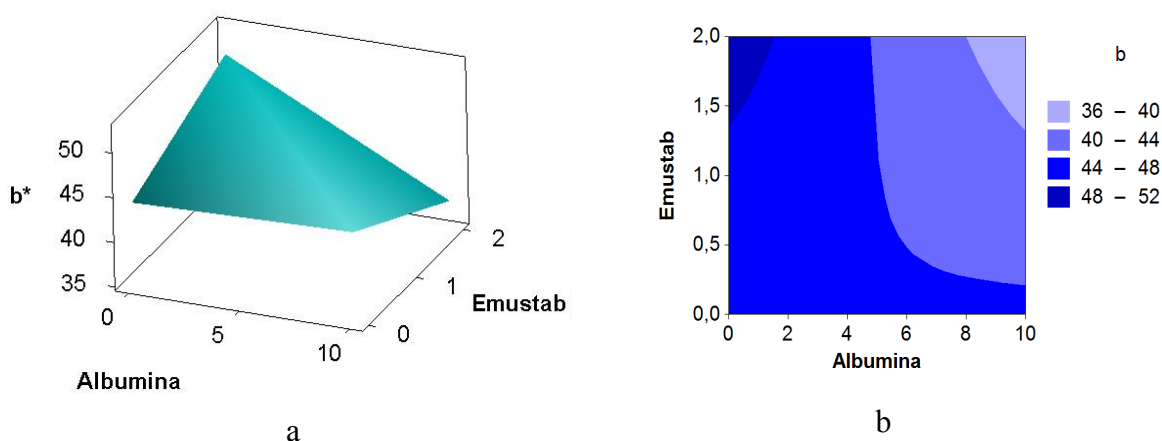


Figura 19 – Superfície de resposta para o parâmetro b^* em função de concentração de Albumina (% p/p) e concentração de *Emustab* (% p/p) (a). Curvas de contorno para b^* em função de concentração de Albumina e de *Emustab* (% p/p) (b).

5.5.1.4 °Hue

O parâmetro °Hue foi afetado pelas três variáveis envolvidas no processo, a temperatura, a concentração de *Emustab* e a concentração de Albumina, assim como pelas interações da temperatura-concentração de *Emustab* e da temperatura-concentração da Albumina. Na Figura 20b, pode-se observar que o *Emustab* foi o fator que apresentou um maior efeito, sendo que, em ordem decrescente, segue a concentração de Albumina e a interação temperatura-concentração de Albumina. Todos esses fatores mostraram um aumento no valor de °Hue, quando incrementados, enquanto que um aumento da temperatura tende a diminuir o valor de °Hue (Figura 21 e Equações 27 e 28).

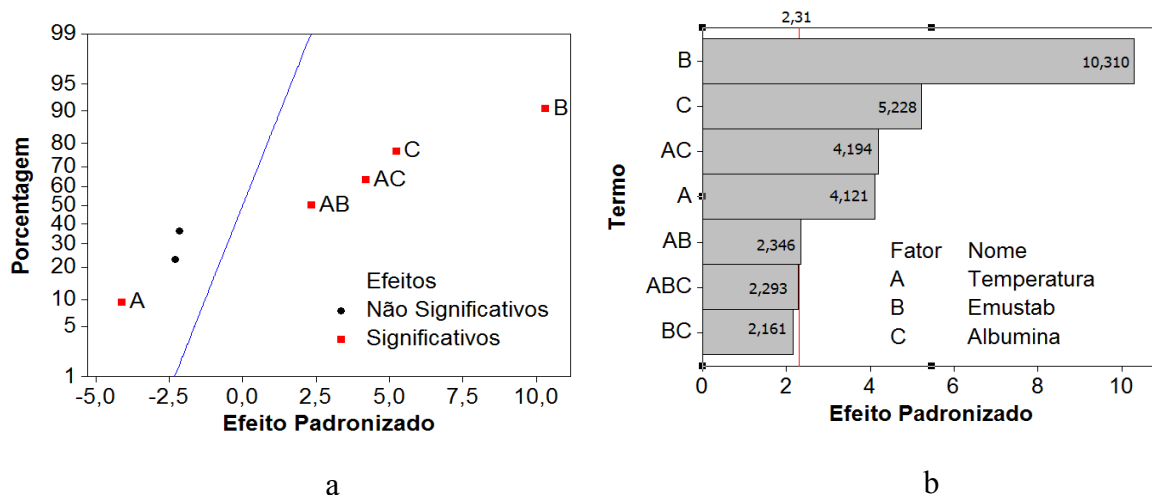


Figura 20 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre o parâmetro °Hue e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).

O modelo que representa o comportamento da resposta °Hue em função dos efeitos simples e as interações é apresentado nas Equações 27 e 28, com coeficiente de ajuste de R^2 de 0,92 que consiste em um bom ajuste, sendo adequado usa-lo para fins preditivos.

$$y_{4i} = 82,1772 - 0,9669x_1 + 2,4186x_2 + 1,2264x_3 + 0,5503x_1 \cdot x_2 + 0,9838x_1 \cdot x_3 - 0,5380x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (27)$$

onde y_{4i} é o parâmetro °Hue depois da secagem, x_1 é a temperatura, x_2 é concentração de *Emustab*, x_3 é concentração de Albumina, $x_1 \cdot x_2$ é a interação temperatura e concentração *Emustab*, $x_1 \cdot x_3$ a interação temperatura e concentração de Albumina e $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ é a interação temperatura, concentração de *Emustab* e concentração de Albumina.

O modelo apresentado pela Equação (28) representa os valores dos coeficientes não codificados que descreve o comportamento de °Hue.

$$^{\circ}\text{Hue} = 99,2976 - 0,303T - 4,692Em - 1,783Al + 0,108T \cdot Em + 0,0304T \cdot Al - 0,0107602T \cdot Em \cdot Al \quad (28)$$

onde T é a temperatura, Em é a concentração de *Emustab* % p/p, Al é concentração de Albumina % p/p, $T \cdot Em$ é a interação temperatura e concentração de *Emustab* % p/p, $T \cdot Al$ é a interação temperatura e concentração de Albumina % p/p e $Em \cdot Al$ é a interação concentração de *Emustab* e concentração de Albumina % p/p.

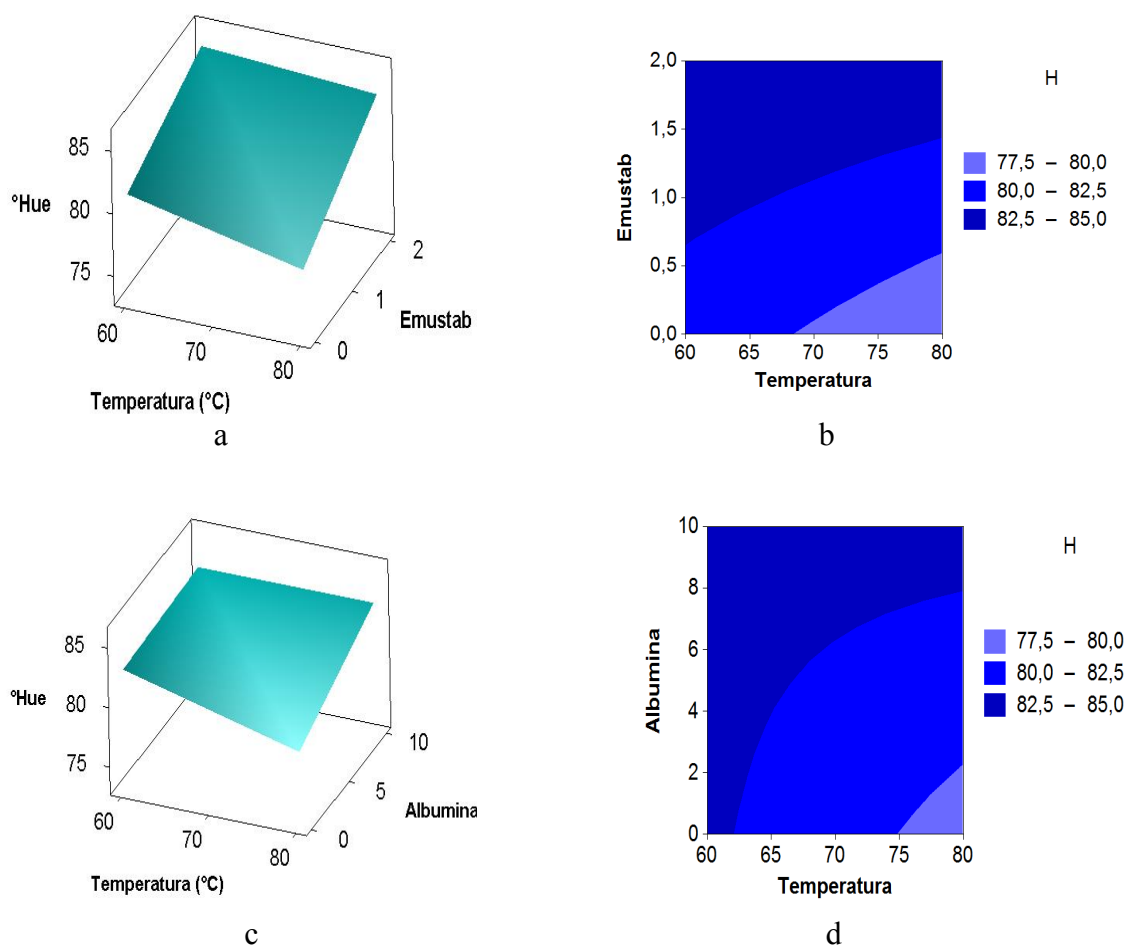


Figura 21 – Superfície de resposta para o parâmetro $^{\circ}\text{Hue}$ em função de: temperatura e concentração de *Emustab* (% p/p) (a); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (c).
Curvas de contorno para $^{\circ}\text{Hue}$, em função de: temperatura e concentração de *Emustab* (% p/p) (b); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (d).

5.5.1.5 Croma (C^*)

O parâmetro Croma, medido nos pós submetidos à diversas condições de processamento, não foi afetado significativamente pela temperatura, concentração de *Emustab* e concentração de Albumina e, finalmente, pela interação entre esses dois fatores (Figura 22).

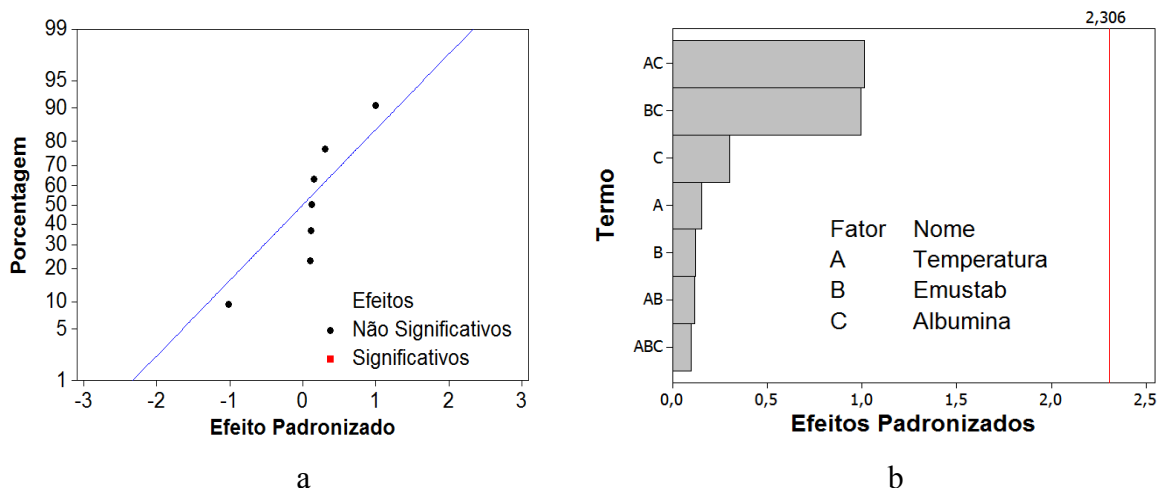


Figura 22 – Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta Croma (C^*) (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a o parâmetro Croma e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).

É muito importante fazer uma análise de como se percebe a cor em termos do valor de $^{\circ}\text{Hue}$ e de Croma, já que eles indicam qual é a tonalidade dos pós de manga e quão viva é sua cor, depois de serem secados nas diferentes condições de processo. Dos resultados obtidos (Tabela 7), pode-se observar que os valores encontrados para $^{\circ}\text{Hue}$ foram próximos de 80° , o que indica um tom amarelo-alaranjado, pouco alterado em relação à polpa fresca, que foi $80,56$ (Tabela 2). Adicionalmente, o Croma apresentou valores entre a 36 e 50 unidades, o que indica uma saturação bem inferior à da polpa fresca, cujo croma foi $72,76$ (Tabela 2), significando uma cor menos intensa. Caparino et al. (2012) reportou dados de pós de manga secados por *spray dryer*, com valores de $^{\circ}\text{Hue}$ em torno de 80 e Croma em torno de 40, todos próximos aos obtidos neste trabalho. Porém, é importante ressaltar que as espumas produzidas apenas com *Emustab* apresentaram cores mais vivas do que as produzidas com Albumina e *Emustab*.

5.6 Conteúdo de Carotenoides e Porcentagem de Retenção.

5.6.1 Conteúdo de Carotenoides

Em todos os tratamentos houve um decréscimo do valor dos carotenoides com relação à polpa fresca, possivelmente devido a que a estrutura tem ligações duplas, que o faz susceptível à degradação por oxidação (RAWSON et al., 2011; RODRIGUEZ-AMAYA, 2002). Dos resultados obtidos (Tabela 8) se pode dizer que as espumas produzidas apenas com *Emustab* não apresentaram diferenças significativas no teor de carotenoides nas temperaturas de 60 °C e 80 °C, e os valores são os mais altos, lembrando que a concentração de *Emustab* foi apenas de 2 %, alterando pouco a composição original da polpa.

Tabela 8 - Conteúdo e retenção dos carotenoides nas diferentes condições de secagem dos pós de manga (*Média de duas replicatas, seguidas de desvio padrão*).

Temperatura de Secagem (°C)	Formulação	Carotenoides (µg/g)	Retenção (%)
60	Polpa fresca	16,82 ± 0,43	-
	Polpa sem aditivos	45,28 ± 4,66 ^d	41,31 ± 4,82 ^a
	Albumina 10 % p/p	38,60 ± 4,95 ^e	55,63 ± 2,74 ^b
	<i>Emustab</i> 2 % p/p	75,55 ± 3,77 ^a	63,78 ± 3,72 ^c
	<i>Emustab</i> (2 % p/p) -Albumina (10 %p/p)	56,83 ± 3,66 ^{bc}	75,72 ± 4,07 ^d
80	Polpa sem aditivos	53,89 ± 4,66 ^c	46,31 ± 4,82 ^a
	Albumina 10 % p/p	69,75 ± 8,92 ^a	88,92 ± 6,16 ^c
	<i>Emustab</i> 2 % p/p	74,01 ± 2,52 ^a	60,70 ± 3,74 ^c
	<i>Emustab</i> (2 % p/p)-Albumina (10 % p/p)	62,17 ± 5,05 ^b	78,49 ± 3,86 ^d

Médias na mesma coluna com letras iguais não diferem significativamente a p<0,05, de acordo com o teste de Tukey.

As espumas preparadas com Albumina e secadas a 80 °C apresentaram conteúdo um pouco menor que o obtido com *Emustab*, porém, consideravelmente maior que aquele o obtido com Albumina na secagem a 60 °C. Além disso, o valor a 60 °C é inferior ao encontrado na polpa sem aditivos, sugerindo que, além do efeito da adição de 10 % de Albumina na massa de polpa, que diminui a concentração de carotenoides na massa da mistura, o baixo teor também evidencia que a Albumina não exerceu nenhum efeito protetor nessa condição de secagem.

O desempenho da Albumina sobre o teor de carotenoides, observado no presente trabalho, está em concordância com o reportado por Kandasamy et al. (2012), na secagem de espuma de mamão com 15% de Albumina e uma espessura da camada de 2 mm. Esses autores reportaram valores maiores de carotenoides a temperaturas mais altas (70°C), o que pode estar relacionado ao menor tempo de exposição ao ar, favorecendo a manutenção destes compostos bioativos. No entanto, os dados obtidos neste trabalho divergem dos encontrados por Wilson et al. (2013), na secagem de espuma de manga com Albumina (9 %, p/p) às temperaturas de 65 °C, 75 °C e 85 °C e uma espessura de 8 mm, o qual reportou que na menor temperatura do processo foi encontrado maior conteúdo de carotenoides. Essas diferenças podem ser devido à maior espessura da camada de espuma, prolongando os tempos de exposição do produto ao oxigênio e à temperatura.

5.6.2 Retenção dos carotenoides totais

A retenção dos carotenoides foi a resposta afetada significativamente por todos os fatores, incluindo suas interações. O efeito mais significativo foi devido à concentração de Albumina, que apresentou uma maior retenção com o aumento da sua concentração. Da mesma maneira, um incremento na concentração de *Emustab*, na temperatura e na interação temperatura-concentração de Albumina exercem efeitos positivos sobre a retenção, enquanto que as interações temperatura-concentração de *Emustab* e Albumina-concentração de *Emustab*, tendem a diminuir o valor da resposta (Figura 23 e 24).

$$\begin{aligned} \%Ret = & 24,4363 + 0,276815T + 24,5857Em - 6,90920Al - 0,2205572T \cdot Em \\ & + 0,139634T \cdot Al + 3,13451E \cdot Al - 0,0545018T \cdot Em \cdot Al \end{aligned} \quad (30)$$

onde T é a temperatura, Em é a concentração de *Emustab* % p/p, Al é concentração de Albumina % p/p, $T \cdot Em$ é a interação temperatura e concentração de *Emustab* % p/p, $T \cdot Al$ é a interação temperatura e concentração de Albumina % p/p e $Em \cdot Al$ é a interação entre concentração de *Emustab* e concentração de Albumina % p/p.

Comparando-se a secagem de polpa sem aditivos e das espumas produzidas com os agentes espumantes, constata-se que a adição desses agentes melhora a retenção dos carotenoides, já que se obtêm retenções acima dos 50 %. A maior porcentagem de retenção foi obtida na secagem com a Albumina 10 % p/p a 80°C, a qual foi de 88 %. Retenções do conteúdo de carotenoides totais em torno de 60% também foram obtidas por Saini et al. (2014), na secagem de folhas de *Moringa olifera*, em secador de bandejas. De acordo com Pott et al. (2003), na secagem de rodela de manga com tempos curtos de 3,5 h, a retenção de *trans-β*-caroteno resultou entre 70 % e 93 %, o que é semelhante à encontrada para carotenoides totais durante a secagem de espuma de manga, no presente trabalho.

De forma geral, obtiveram-se melhores porcentagens de retenções de carotenoides na maior temperatura. Essa situação poderia ser devido a que, a altas temperaturas, as lipooxigenases responsáveis pela degradação enzimática dos carotenoides apresentariam uma mínima taxa de atividade (DAMODARAN et al., 2010). Porém, é importante ressaltar que, além da temperatura alta, os tempos de exposição foram baixos, combinação que poderia ter contribuído para a manutenção desses compostos. Também se deve ressaltar que as espumas produzidas com Albumina ou combinação de *Emustab*-Albumina apresentaram menor conteúdo de carotenoides no pó desidratado e maiores retenções, o que pode ser explicado pela adição de grande quantidade de aditivos (10 % ou 12%, respectivamente), o que diminui a concentração dos carotenoides (µg/g) em relação à concentração de carotenoides na polpa pura.

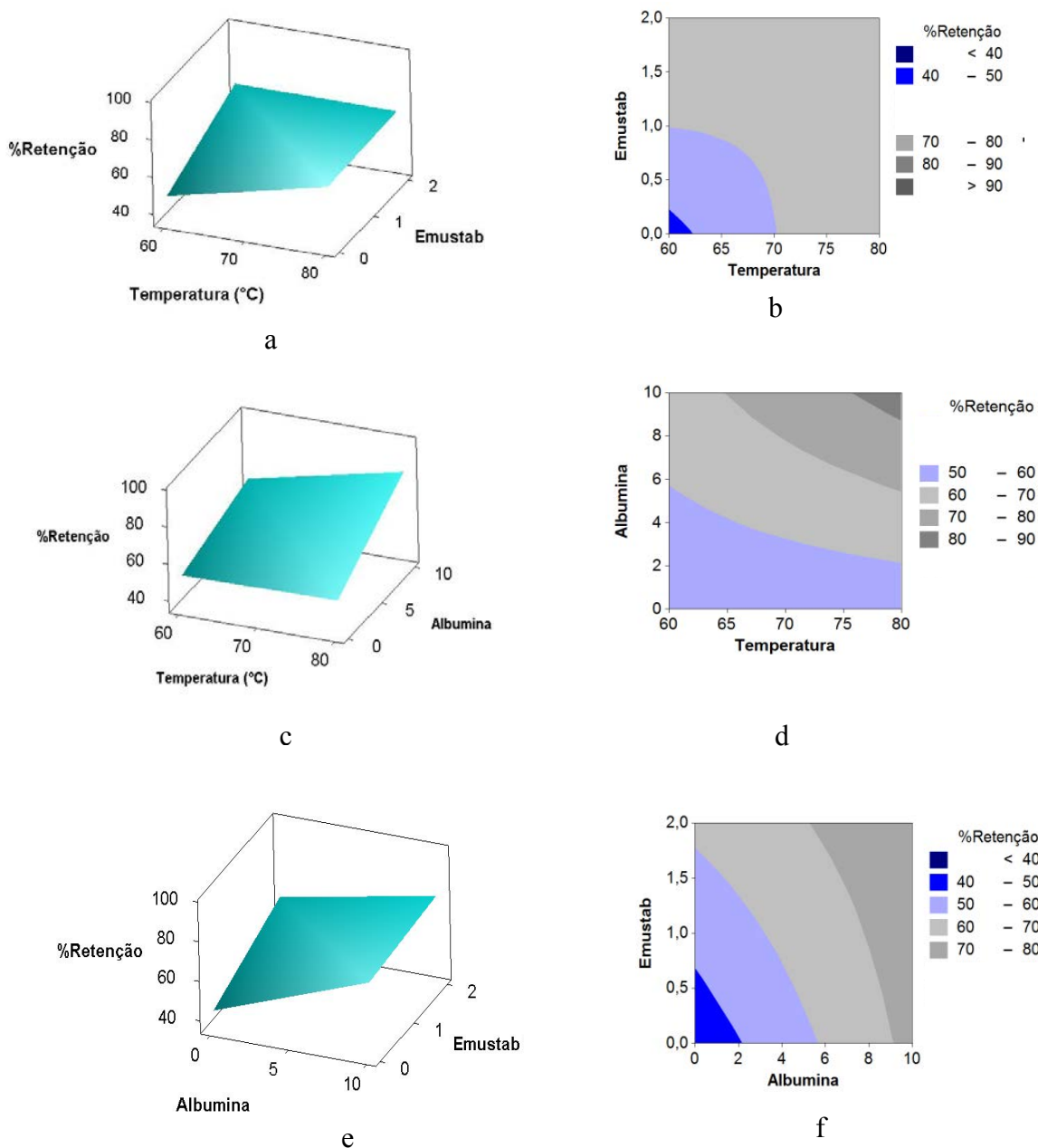


Figura 24 – Superfície de resposta para retenção de carotenoides em função de: temperatura e concentração de *Emustab* (% p/p) (a); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (c); concentração de Albumina e concentração de *Emustab* (% p/p).

Curvas de contorno em função de: temperatura e concentração de *Emustab* (% p/p) (b); temperatura e concentração de Albumina (% p/p) (d); concentração de Albumina (% p/p) e concentração de *Emustab* (% p/p) (f).

5.7 Solubilidade

A solubilidade dos pós de manga obtidos não foi afetada significativamente pelos fatores concentração da Albumina, concentração de *Emustab* e temperatura de secagem (Figura 25), uma vez que algumas análises apresentaram elevado desvio padrão.

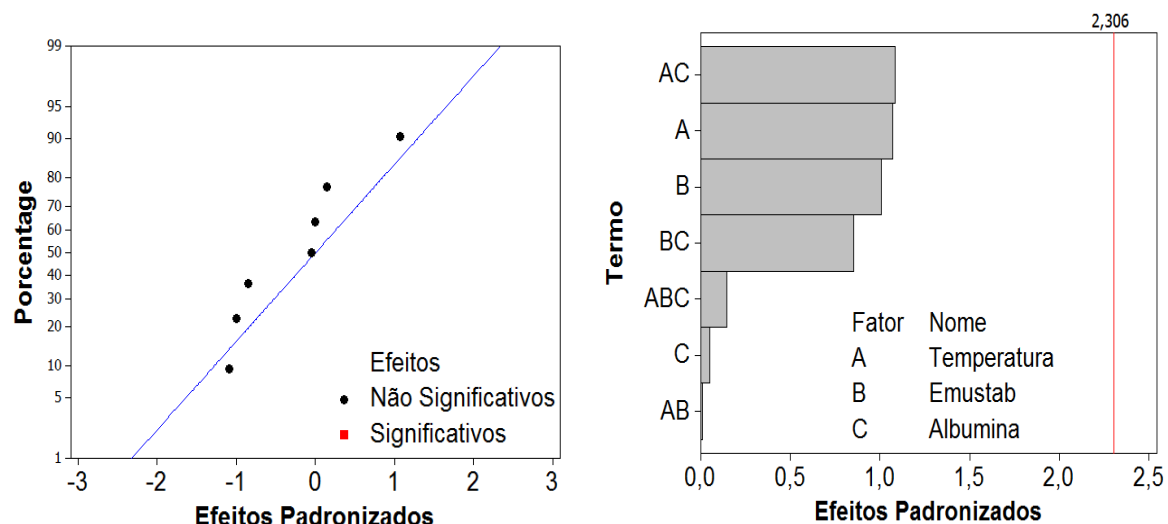


Figura 25 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados identificando fatores de efeitos significativos e não significativos, negativos ou positivos, sobre a resposta (a). O gráfico de Pareto destaca a significância dos efeitos padronizados sobre a porcentagem de retenção de carotenoides e a linha vermelha separa os efeitos significativos, à sua direita (b).

Entretanto, observando-se os resultados experimentais (Tabela 9), pode-se constatar que os pós produzidos com Albumina, *Emustab* e a mistura dos dois agentes espumantes apresentaram uma tendência nos valores de solubilidade, onde a solubilidade do pó preparado com *Emustab* foi superior ao preparado unicamente com Albumina, seguido da mistura dos dois agentes, que proporcionou as menores solubilidades.

Essas diferenças poderiam ser ocasionadas pela natureza dos emulsificantes utilizados, já que esses têm a capacidade de melhorar a solubilidade através do balanço lipofílico-hidrofílico de sua molécula (HASENHUETTL; HARTEL, 2008). Cano-Chauca et al. (2005) desidrataram polpa de manga usando um secador por atomização *“spray dryer”*, utilizando como agente protetor a maltodextrina, com adição de celulose microcristalina. Os autores reportaram que a adição deste último agente diminuiu a solubilidade do pó, de 90 % a 72 %. De acordo com os mesmos, a celulose microcristalina provocou uma mudança na morfologia

dos pós, influenciando a formação de estruturas parcialmente cristalinas, o que exerce uma influência direta sobre a solubilidade, uma vez que partículas no estado cristalino são menos solúveis que no estado amorfo.

Constatou-se também semelhança de solubilidade com os pós obtidos por Caparino et al. (2012), por liofilização de manga da variedade Philipppine “Carabao” (89,70%), porém, menores aos obtidos pela secagem da mesma manga em tambor rotatório e por *spray dryer*, este último com adição de maltodextrina, os quais apresentaram valores de 94,38 % e 95,31 %, respectivamente. Por outro lado, as solubilidades dos pós com *Emustab* e/ou Albumina foram mais altas que as reportadas por Sogi et al. (2014). Esses autores desidrataram cubos de manga da mesma variedade utilizada no presente trabalho (Tommy Atkins), que foram posteriormente triturados. A solubilidade dos pós variou entre (67 e 79) g/100g b.s., em função dos diferentes processos de secagem: liofilização, secagem com ar quente, secagem a vácuo e secagem usando radiação infravermelha.

Tabela 9 - Valores de solubilidade dos pós de manga nas diferentes condições de secagem (Média de três replicatas, seguidas de desvio padrão).

Temperatura de Secagem (°C)	Formulação	Solubilidade (%)
60	Albumina 10%	86,99 ± 1,68 ^b
	<i>Emustab</i> 2%	90,77 ± 1,60 ^a
	Albumina (10%)- <i>Emustab</i> (2%)	85,43 ± 0,42 ^c
80	Albumina 10%	85,17 ± 1,10 ^a
	<i>Emustab</i> 2%	91,02 ± 1,78 ^a
	Albumina (10%)- <i>Emustab</i> (2%)	85,77 ± 3,67 ^a

Médias na mesma coluna com letras iguais não diferem significativamente a $p < 0,05$, de acordo com o teste de Tukey.

Das condições avaliadas encontrou-se que as espumas de manga obtidas com *Emustab*, Albumina e a mistura dos dois agentes espumantes, submetidas à secagem a 80°C, apresentaram melhores resultados em relação às características de cor e retenção dos carotenoides. Baseando-se nesses resultados, foram avaliadas propriedades termodinâmicas e morfológicas desses pós à base de manga.

5.8 Isotermas de Adsorção

As isotermas de adsorção dos três pós de manga produzidos mostram que, à medida que se aumenta a atividade de água, a umidade de equilíbrio dos produtos cresce entre uma forma sigmoideal do tipo II e uma curva apresentando um aumento gradual do tipo III, segundo classificação de Brunauer et al. (1940). A isoterma do tipo III é exibida por alimentos que apresentam alto conteúdo de substâncias solúveis de baixa massa molar, como açúcares e sais, e baixo conteúdo de substâncias de alta massa molar, como compostos celulósicos, amidos e proteínas. Como consequência, o ponto de inflexão ocorre em níveis de umidade muito baixos, resultando numa forma de crescimento gradual.

Quando os níveis de umidade são muito baixos, a água encontra-se fortemente ligada a sítios de sorção polares individuais de macromoléculas rígidas como proteínas, compostos celulósicos e biopolímeros (RUAN; CHEN, 1998). Essa água tem mobilidade muito baixa e é frequentemente referida como monocamada, isto é, a primeira camada de moléculas de água adsorvida sobre a superfície das macromoléculas que constituem a estrutura do alimento sólido. Conforme a umidade aumenta, a força de ligação da água decresce à medida que vão se constituindo camadas que se distanciam da superfície da macromolécula. Em maiores umidades, conforme a água é capaz de atuar como solvente haverá dissolução dos sólidos solúveis.

Portanto, alimentos cuja massa seca é constituída predominantemente por sólidos insolúveis como polímeros, a água pode se ligar fortemente aos sólidos através de pontes de hidrogênio. Consequentemente, o potencial químico da água no alimento será influenciado por essas interações em níveis baixos de umidade.

Por outro lado, se o alimento contém muitos sólidos solúveis, o potencial químico da água será fortemente influenciado em pressões de vapor acima de sua pressão de saturação. Pressões mais baixas promovem evaporação e, geralmente, a retenção de água por esses sólidos é insignificante, especialmente se estiverem no estado cristalino. O estado amorfo é capaz de reter maior quantidade de água devido a um maior espaçamento entre as moléculas (SALTIMARCH; LABUZA, 1980), sendo que pressões de vapor mais altas promovem dissolução dos açúcares.

Essa tendência se apresenta tipicamente em materiais alimentícios amorfos (GOULA et al., 2008) devido à presença de compostos solúveis em água que, no caso específico da

manga, são constituídos predominantemente por açúcares. Portanto, em baixas atividades de água, um aumento no conteúdo de umidade do alimento corresponderia a uma forte sorção física nos sítios ativos de grandes moléculas, como proteínas, uma vez que a sorção de água em açúcares cristalinos só ocorreria nos sítios –OH das superfícies externas dos cristais (GOULA et al., 2008). Ainda, segundo os autores, nesses baixos conteúdos de umidade poderiam ser esperadas dissolução de poliálcoois e expansão de biopolímeros, o que levaria ao surgimento de novos sítios ativos. Conforme a atividade de água aumenta, a sorção vai ocorrendo em sítios menos ativos, e em seguida haverá uma gradual dissolução dos açúcares.

Os pós que possuem apenas *Emustab* apresentam maior conteúdo de água no equilíbrio, nas atividades de água mais altas, em comparação com os pós que contêm apenas Albumina. Uma das explicações é que a porcentagem dos aditivos na composição dos pós variou bastante. O *Emustab* adicionado à manga era de apenas 2 % da massa total, enquanto que 10 % de aditivo foi utilizado no pó apenas com Albumina. No pó com os dois aditivos, havia 10% de Albumina e 2 % de *Emustab*. Portanto, os pós com *Emustab* continham, em sua composição de massa seca, uma proporção muito maior de açúcares provenientes da polpa de manga que os demais. Como exposto anteriormente, os açúcares, em umidades intermediárias e altas, onde são solubilizados, apresentam uma importante contribuição sobre o abaixamento do potencial químico da água, pois, ao serem dissolvidos, diminuem o potencial osmótico da fase solução. Já para o caso da Albumina, pelo fato de ser uma proteína, nas umidades médias e altas exerce menor influência sobre o valor atividade de água, quando comparada aos açúcares.

Esses resultados mostram que as diferenças na composição química e o tipo de interação com a água têm grande influência sobre a adsorção da água (RAHARITSIFA; RATTI, 2010b). Essas diferenças relacionadas à formulação também foram constatadas em isothermas de fatias de manga e de maçã africana desidratada pela metodologia combinada de desidratação osmótica e secagem (FALADE; AWORH, 2004), marmelo desidratado osmoticamente (NOSHAD et al., 2012), fatias de cogumelos (SHIVHARE et al., 2004), polpa de tomate secado por aspersão (GOULA et al., 2008), maçã, damasco e uvas desidratadas (KAYMAK-ERTEKIN; GEDIK, 2004) e na secagem de espuma de polpa de maçã por ar quente e por micro-ondas (JAKUBCZYK et al., 2010).

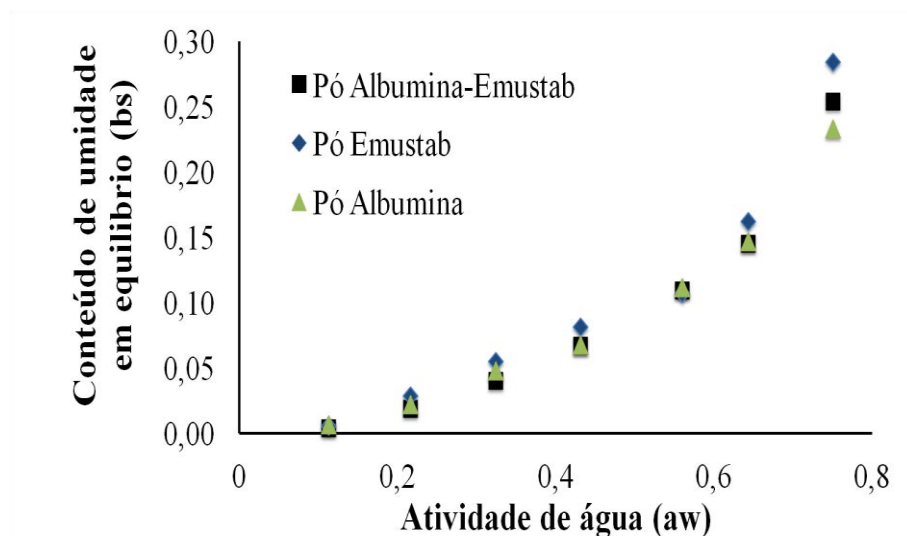


Figura 26 - Isotermas de adsorção dos pós de manga produzidos com a mistura de Albumina (10 % p/p) com *Emustab* (2 % p/p), *Emustab* (2% p/p) e Albumina (10 % p/p).

Na Figura 27 são apresentados os gráficos dos valores preditos e os dados experimentais das umidades de equilíbrio, e na Tabela 10 são apresentados as constantes e os parâmetros estatísticos dos cinco modelos de sorção para os três pós de manga analisados. A seleção dos melhores ajustes foi definida para os modelos que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) próximos a 1, menores valores de qui-quadrado (χ^2) e de erro médio quadrático (EMC), e erro relativo médio percentual (%P) <10.

Dos resultados obtidos na Tabela 10, pode-se observar que, para as isotermas dos pós de manga que tinham em sua composição *Emustab*, o modelo de GAB foi o que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, enquanto que para os pós de manga apenas com Albumina, tanto o modelo de GAB como a equação de Peleg foram eficientes. Ainda que o modelo de Peleg tenha apresentado um menor valor de %P em relação ao modelo de GAB, o modelo selecionado para fins preditivos foi o do GAB, devido a que seus três parâmetros possuem significado físico (RIVZI, 2005).

Ao realizar os ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais, é possível avaliar os o conteúdo de umidade da monocamada dos alimentos. Este parâmetro é de grande importância para determinação da estabilidade física durante o armazenamento dos produtos alimentícios, especialmente para o caso de pós, devido ao fato que ele determina o limite em que a água estará fortemente sorvida ao material sólido. De acordo com Kiranoudis et al. (1993), a umidade da monocamada de frutas desidratadas pode estar entre 10,5 % a 15% b.s.

Entretanto, a disponibilidade da água para reações químicas e desenvolvimento microbiológico deve ser observada com atenção.

Os pós de manga apresentaram valores da umidade da monocamada de 5,71 % bs para os pós de *Emustab*, de 9,56 % b.s para os pós com a mistura *Emustab*-Albumina e 10,21 % para os pós que continham apenas *Emustab*. Portanto, os pós que contêm apenas *Emustab* devem ter condições mais rigorosas de armazenamento, em condições de atividade de água abaixo de 0,3, enquanto os pós com Albumina em sua composição apresentarão estabilidade em condições mais altas de atividade de água do ambiente, limitada à atividade de água 0,6. Segundo Martínez et al. (1999), os pós armazenados nessas condições ambientais são mais estáveis em termos de oxidação de lipídeos, reações de Maillard e deterioração enzimática.

Comparando-se esses dados com os obtidos por Telis-Romero et al. (2005) para o valor de umidade da monocamada da polpa de manga pura, observaram-se valores em torno de 12 % b.s , mais altos que os obtidos no presente trabalho. Tonon et al. (2009) também obteve valores mais altos de monocamada para pós de açaí preparados por aspersão de suco com maltodextrina 10 DE, maltodextrina 20 DE, goma arábica e amido de tapioca, ao igual que Vasquez et al. (2013) em amora liofilizadas (11 % b.s).

Tabela 10 - Valores estimados dos coeficientes e os parâmetros coeficientes de determinação, qui-quadrado, erro do quadrado médio obtidos para a seleção do modelo de sorção aplicados aos dados experimentais dos pós de manga.

Modelo	Parâmetros	Pó <i>Emustab</i> -Albumina 30°C	Pó <i>Emustab</i> 30°C	Pó Albumina 30°C
BET	Xm	0,0849	0,0912	0,0710
	C	0,9446	1,0614	1,5502
	R^2	0,9934	0,9957	0,9977
	χ^2	0,0267	0,0350	0,0688
	ECM	0,0089	0,0078	0,0047
	%P	15,597	16,437	17,771
GAB	Xm	0,0956	0,0571	0,1021
	C	0,8106	2,3678	0,9265
	K	0,9806	1,0867	0,8367
	R^2	0,9928	0,9973	0,9980
	χ^2	0,0126	0,0092	0,0085
	ECM	0,0094	0,0053	0,0045
	%P	9,5509	8,1553	9,9834
PELEG	A	-20,921	1,2736	1,0139
	B	2,5654	2,4771	9,7856
	C	21,4261	-0,7313	0,2723
	D	2,5654	2,4772	1,6150
	R^2	0,9850	0,9797	0,9987
	χ^2	0,0664	0,1494	0,0051
	ECM	0,0135	0,0173	0,0037
	%P	23,9673	29,4052	7,2249
OSWIN	A	0,0823	0,0938	0,0864
	B	1,0150	0,9888	0,9037
	R^2	0,9934	0,9957	0,9978
	χ^2	0,0332	0,0607	0,0160
	ECM	0,0089	0,0079	0,0044
	%P	16,3170	18,5076	13,2237
HASLEY	A	0,2355	0,2490	0,1981
	B	0,7548	0,7722	0,8368
	R^2	0,9914	0,9960	0,9932
	χ^2	0,0286	0,0200	0,0272
	ECM	0,0096	0,0061	0,0067
	%P	19,2952	13,9208	17,8724

As diferenças nos valores da umidade da monocamada são explicadas pelos tipos de substâncias que constituem os produtos, que apresentam diferentes conformações e topologia das moléculas e dos sítios de adsorção hidrofílica/hidrofóbica nas interfaces (PÉREZ-ALONSO et al., 2006). No presente trabalho, a estrutura física dos pós de manga é significativamente afetada pela presença de Albumina e emulsificantes (*Emustab*), que apresentam características específicas.

O modelo de adsorção de multicamadas descrito pela equação de BET tem a habilidade de ajustar isothermas como forma sigmoideal até atividades de água de 0,3, sendo que para alguns alimentos pode chegar a 0,5 (LEWICKI, 1997). As derivações dessa equação, que levaram ao modelo de GAB, ampliaram a faixa para atividades de água até 0,9. Os pós que tinham na sua composição Albumina, apresentaram valores de K menores que 1, mostrando assim que o ajuste do modelo de GAB aos resultados experimentais é feita com sucesso. Para o pó apenas com *Emustab*, o valor foi ligeiramente superior a 1. Se o modelo de GAB fosse reduzido ao modelo de BET (ICOZ; KOKINI, 1995), o que significa considerar que K é igual a 1, eficiência do ajuste pioraria em termos de χ^2 e de parâmetro %P.

Analizando ainda o ajuste do modelo de GAB aos resultados, os valores de C se encontram entre 0,80 e 2,36. De acordo com Lewicki (1997), as constantes do modelo de GAB devem estar dentro das faixas de valores ($0,24 < K \leq 1$) e ($5,67 \leq C \leq \infty$) para que a equação apresente forma sigmoideal e que a monocamada seja estimada com um erro de, no máximo, 15,5 %. Apesar dos bons ajustes obtidos com o modelo de GAB, os valores de C não preenchem os requisitos para que a equação seja sigmoideal e que a estimativa da monocamada apresente um erro menor 15,5 %.

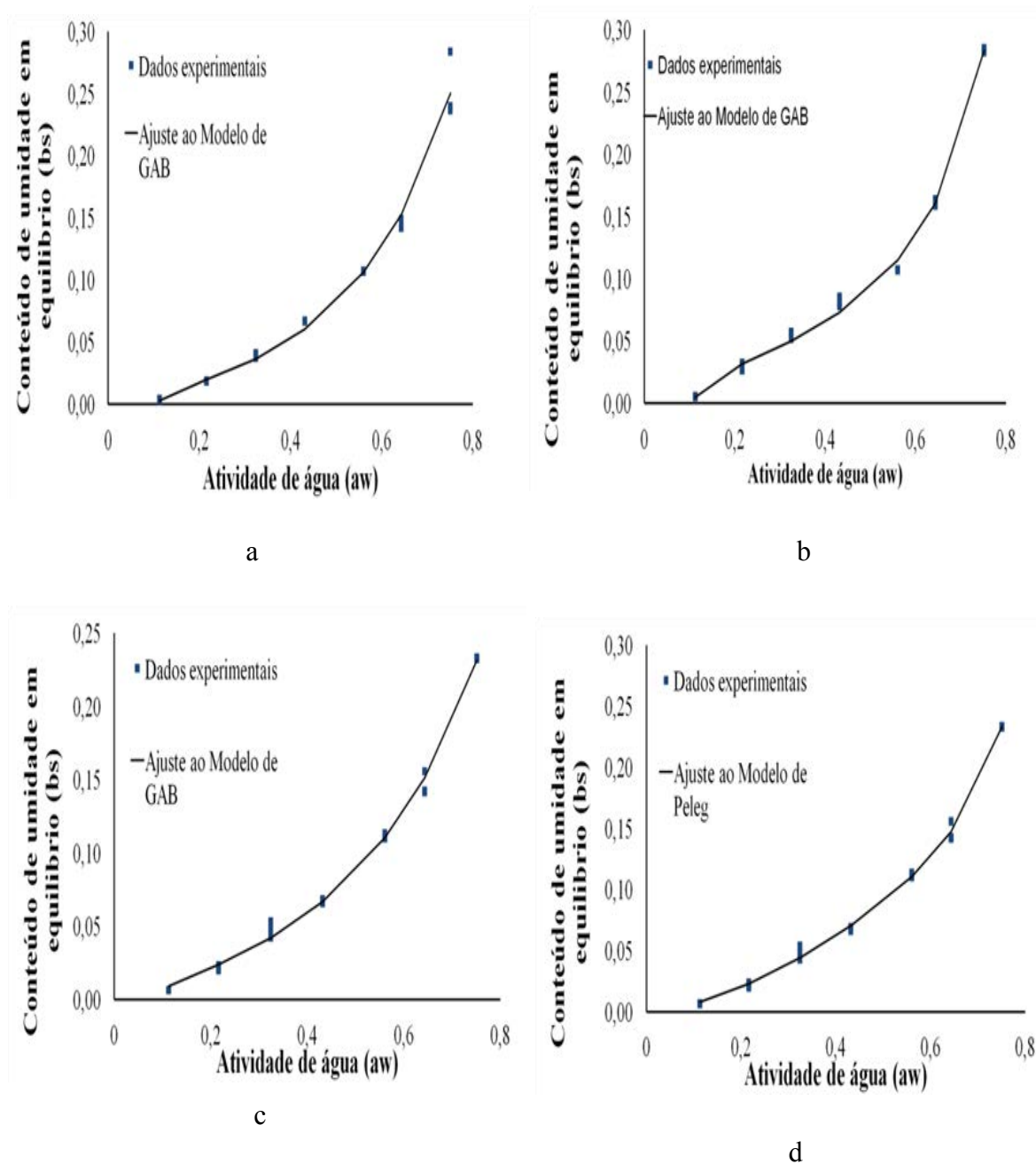


Figura 27 - Ajustes das isotermas de adsorção com o Modelo de GAB dos pós obtidos com a mistura Albumina (10 % p/p) e Emustab (2 % p/p) (a), Emustab (2 % p/p) (b) e Albumina (10 % p/p) (c) e o Modelo de Peleg para o pós obtidos com Albumina (10 % p/p) (d)

5.9 Análises térmicas

Os alimentos, quando submetidos alguma mudança de temperatura ou de composição, podem apresentar transições de fases. Essas transições podem ser denominadas de primeira ou de segunda ordem. Nas de primeira ordem, há mudança de entalpia, sendo que a transição se apresenta na forma de picos. Elas estão baseadas nas mudanças de potencial químico ou energia livre de Gibbs, onde a transição de fases ocorre com variações na entalpia, na entropia e no volume. As transições de segunda ordem, por sua vez, são acompanhadas da variação da capacidade calorífica, nos termogramas, apresentam um deslocamento na linha de base, o qual indica a temperatura de transição vítrea. Neste caso, não se verifica calor latente ou mudanças de fases, porém, ocorre uma diminuição na capacidade calorífica (ROOS, 1995).

Os termogramas obtidos para as matérias primas puras (polpa de manga, Albumina em pó e *Emustab*) são apresentados na Figura 28. A polpa de manga (Figura 28a) apresenta um termograma típico de um alimento com alto conteúdo de umidade. Nele, observam-se transições de primeira ordem, especificamente dois picos de fusão, em 1,93 °C e 156,62 °C, sendo que o primeiro representa a fusão da água presente na polpa e o segundo pode ser devido à presença dos açúcares frutose, glicose e sacarose contidos na manga (ROOS, 1993).

Com respeito ao termograma da Albumina pura (Figura 28b), a presença de uma endoterma a 81,88 °C (área do pico 1051 mJ) sugere a desnaturação da ovalbumina, ocasionada provavelmente pelos rompimentos de ligações de hidrogênio, como é referenciado por Roos (1995) e Nafchi et al. (2013) para proteínas de ovo. Tal efeito depende da estabilidade da proteína, o que foi demonstrado no segundo trabalho, onde os autores elevaram a temperatura de desnaturação com adição de açúcares ou diminuíram essa temperatura com a adição de ácido ascórbico. Por outro lado, o termograma não apresentou transições de segunda ordem, que representam mudanças na capacidade calorífica da substância, caracterizando transição vítrea.

Para o *Emustab* puro, o termograma mostra três picos de fusão, o primeiro a uma temperatura de -5,63 °C, que possivelmente indica a presença de ácidos graxos saturados de baixo peso molecular como o caproico, ou também pode ser resultante das insaturações presentes na cadeia do ácido linoleico (LOPEZ et al., 2009; TIMMS, 1977; TAN; MAN, 2000). O segundo pico corresponde a uma transição de primeira ordem em 57,76 °C, provavelmente devido à presença do monoestearato de sorbitana, que tem um ponto de fusão em torno de 55 °C (HASENHUETTL; HARTEL, 2008). O terceiro pico, em 155,47 °C,

Nos termogramas dos pós de manga (Figura 29) produzidos com 10 % p/p de Albumina, 2 % p/p de *Emustab* e a mistura dos dois agentes espumantes, constata-se que a mistura desses compostos com a polpa de manga promove mudanças nas propriedades térmicas, como era de se esperar, uma vez que as transições dependem do tipo de compostos assim como das interações entre eles (MARTÍNEZ et al., 1999).

Os pós de manga produzidos com Albumina (Figura 29a) apresentaram um pico endotérmico em 68,77 °C (Tabela 11), indicando assim que a mistura da Albumina com a polpa de manga provocou um decréscimo na temperatura de desnaturação da proteína. Apesar de se esperar que açúcares estabilizem as proteínas, a polpa é ácida e contém outros componentes que tenderiam a desestabilizá-la. Também se constatou que a área do pico foi menor que a determinada com a Albumina pura, o que significa menor requerimento de energia para desnaturar a proteína, indicando a dependência da entalpia de desnaturação com a temperatura (GRINBERG et al., 2009). Não foi observada nenhuma transição de segunda ordem nos pós com Albumina, o que pode ser explicado pelo fato que na interação água, açúcar e proteína, o açúcar atua como um plastificante junto com a água, enquanto que a proteína pode estar tendo um comportamento de um soluto isolado, sem ter interações com estas duas moléculas, propiciando aumento do valor da Tg a um valor maior que a faixa estudada. Esse comportamento que foi descrito por Slade e Levine (1995), em farinha para produção de bolacha. Portanto, conclui-se que os pós de manga produzidos com Albumina, se armazenados à temperatura ambiente, manterão suas propriedades térmicas sem mudanças de estado, o que é um importante quesito de qualidade para o produto.

Em relação aos pós que continham apenas *Emustab*, observou-se um pico endotérmico em -25,20 °C (Figura 29 b), mostrando que a temperatura de fusão da polpa misturada ao emulsificante apresentou um decréscimo em relação à do *Emustab* puro. Isto, possivelmente, está relacionado à interação dos emulsificantes contidos no *Emustab* com a água, que provocaria um deslocamento da endoterma. Constatou-se uma endoterma de fusão a 56,90 °C, que também foi identificada no *Emustab* puro, e que provavelmente está relacionada à presença do monoestearato de sorbitana, que funde em torno dessa temperatura (55 °C). Outra endoterma foi observada a 136,06 °C (Figura 29 b), a qual apresentou um deslocamento na temperatura de fusão, possivelmente resultante das interações entre os emulsificantes e os açúcares de baixo peso molecular como a sacarose, frutose e glicose, pela tendência do hidrogênio se ligar com a parte polar do surfactante (HASENHUETTL; HARTEL, 2008). Também se observaram sinais de picos pequenos de fusão que ocorrem continuamente na

faixa entre 100 °C e 180 °C (Figura 29 b), que poderia ser devido à presença de complexos formados entre o emulsificante e os açúcares da polpa que poderiam fundir nestas temperaturas.

Tabela 11 - Temperatura de desnaturação (T_d) e Temperatura de fusão (T_f) em pós de manga com agentes espumantes.

Produto	Temperatura de desnaturação		Temperatura de fusão	
	$T_d(^{\circ}\text{C})$	Área (mJ)	$T_f(^{\circ}\text{C})$	Área (mJ)
Pó Albumina	67,38	121,40	ND	ND
Pó Emustab	ND	ND	-25,92	11,05
			56,90	2,735
			128,87	538,15
Pó Emustab-Albumina	84,25	205,68	68,11	0,18
			103,54	0,45

ND: Não Determinado

No caso dos pós produzidos a partir da mistura de Albumina-*Emustab*, observou-se uma endoterma a 84,25 °C, cujo valor foi ligeiramente superior ao encontrado na Albumina pura, em pó (81,88 °C), atribuindo-se tal transição à desnaturação da ovalbumina. A elevação da temperatura pode ser devida às interações entre os açúcares presentes na polpa e, possivelmente, também no *Emustab*, que apresenta 16 % de carboidratos em sua ficha técnica, o que melhoraria a estabilidade térmica da ovalbumina, pelo efeito dos açúcares nas interações hidrofóbicas, as quais são as responsáveis pela estabilização da estrutura tridimensional das proteínas. Nafchi et al. (2013) reporta esses efeitos na estabilização géis produzidos a partir albumina de ovo e Pérez e Tvaroška (2014) descrevem as interações entre os carboidratos e as proteínas. Outros dois picos endotérmicos de fusão, a 68,11 °C e 103,54 °C, podem ser resultado da formação de complexos entre as proteínas e os surfactantes presentes no *Emustab* (HASENHUETTL; HARTEL, 2008). Nesse caso, também não foi observada nenhuma transição de segunda ordem, o que poderia dever-se à magnitude das interações da proteína e dos açúcares em comparação com uma pequena variação na capacidade calorífica, cujos sinais podem ficar mascarados no termograma. Apesar de não ser

5.10 Difração de raios-X (DRX)

A determinação do estado cristalino ou amorfo dos pós de manga com os diferentes agentes espumantes foi realizada através da obtenção dos difratogramas de raios X. Em geral, quando um material é cristalino, os difratogramas apresentam picos agudos e bem definidos devido ao estado de ordenação das moléculas, enquanto que materiais amorfos não mostram picos bem definidos, mas sim, um padrão difuso, na forma de faixas, uma vez que no estado amorfo as moléculas estão distribuídas de maneira desordenada (CANO-CAUCA et al., 2005)

Na Figura 30 pode-se observar que os pós de manga produzidos se encontram em um estado amorfo. No entanto, para o caso do pós que contém *Emustab*, nota-se um pico de cristalinidade em 21,35 °(2 θ) e intensidade do pico em torno de 500, o que pode ser devido à presença dos açúcares presentes na polpa de manga (CAPARINO et al., 2012; CANO-CHAUCA et al., 2005). Os pós com Albumina e *Emustab* apresentam difratograma similar, porém, o pico já não é bem definido e a intensidade é ligeiramente mais baixa. Por outro lado, os pós apenas com Albumina, apesar da semelhança com os anteriores, apresentam intensidade bem inferior. Apesar de uma possível cristalinidade de açúcares da manga, o comportamento predominante, como mencionado anteriormente, foi o de estado amorfo. As características amorfas obtidas para os pós de manga se devem, principalmente, à rápida evaporação da água da espuma, que propicia a formação de estados amorfos metaestáveis. Por outro lado, tal característica influencia a solubilidade, que apresentou altos valores, o que se deve à facilidade da água de se mover através de materiais amorfos em comparação com materiais cristalinos (JAYASUNDERA et al., 2011).

Os difratogramas obtidos para todos os pós de manga foram similares aos obtidos por Caparino et al. (2012) na obtenção de pós de manga secados pela metodologia de Refractance Windows, liofilização e por *spray dryer*. Os autores notaram que, apesar do comportamento predominantemente amorfo, a forma dos difratogramas coincidiu com a dos difratogramas da sacarose secada em *spray dryer*, o que indicou a predominância desse açúcar na composição da manga. Cano-Chauca et al. (2005) obtiveram pós de manga pela metodologia de *spray dryer* usando como aditivo 12% de maltodextrina. Segundo os autores, esses pós apresentam um comportamento amorfo e a adição de celulose, também testada como aditivo, mostrou alguma influência sobre a formação parcial de estruturas cristalinas. Portanto, as características amorfas ou cristalinas dependem do tipo de substâncias que estão presentes no produto assim como do tipo de processo a que ele é submetido.

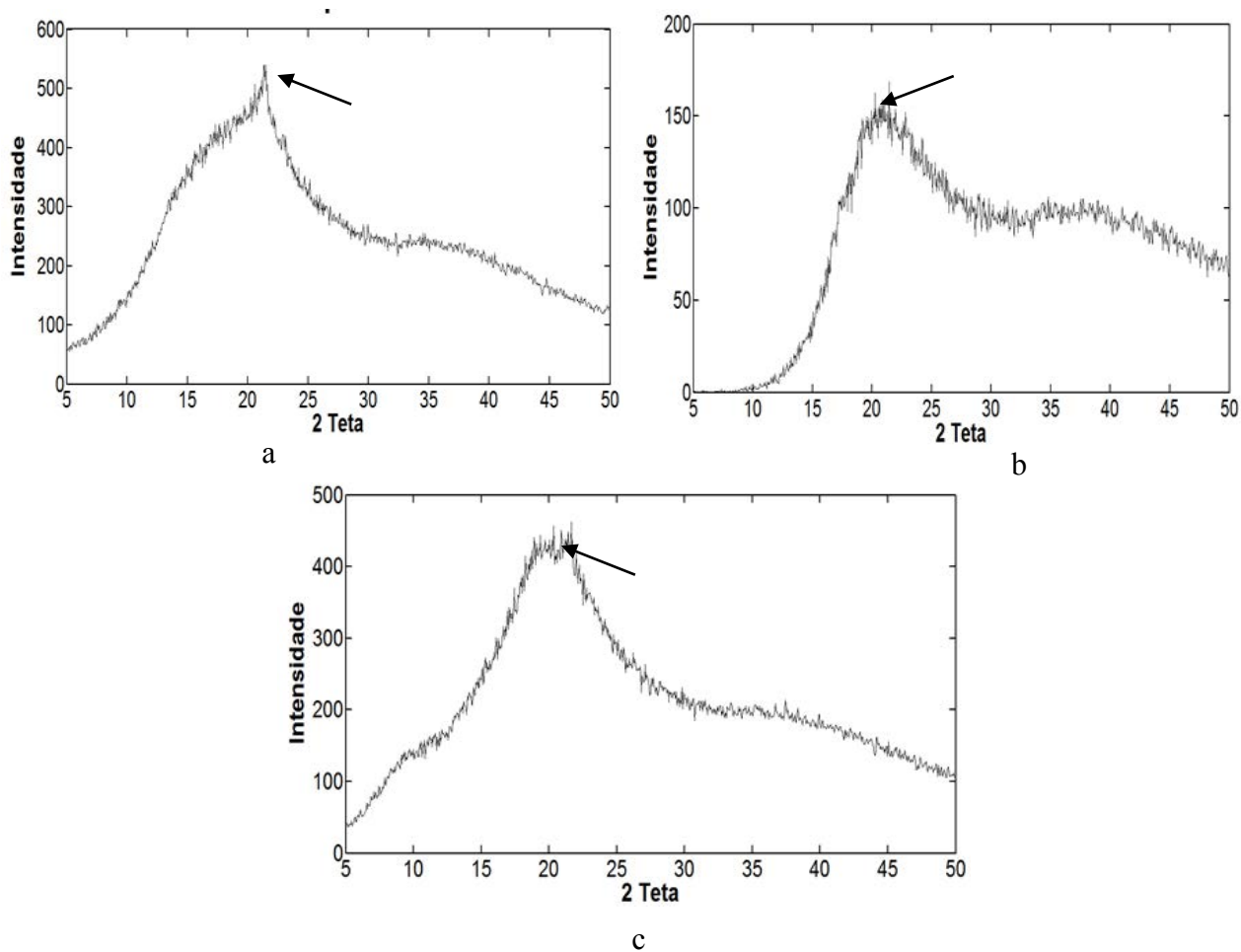
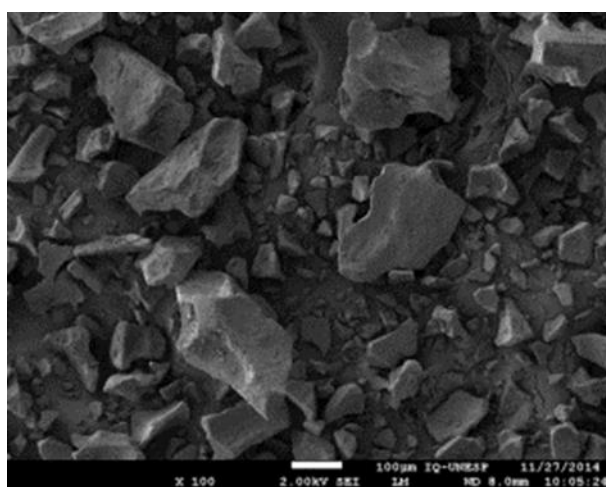


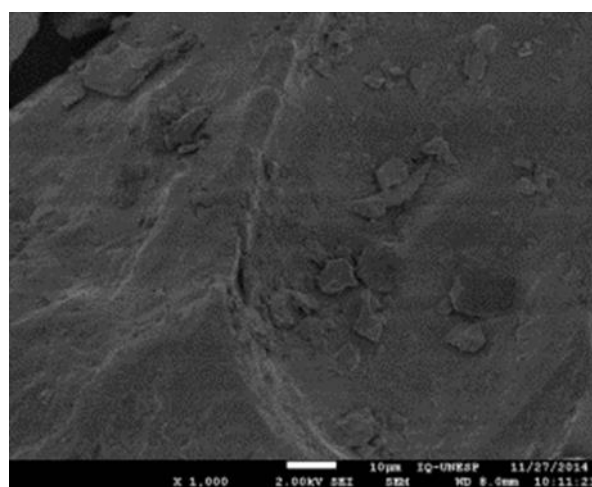
Figura 30 - Difractogramas dos pós de manga produzidos com *Emustab* (a), com Albumina (b) e com a mistura do *Emustab* e Albumina (c).

5.11 Morfologia das partículas

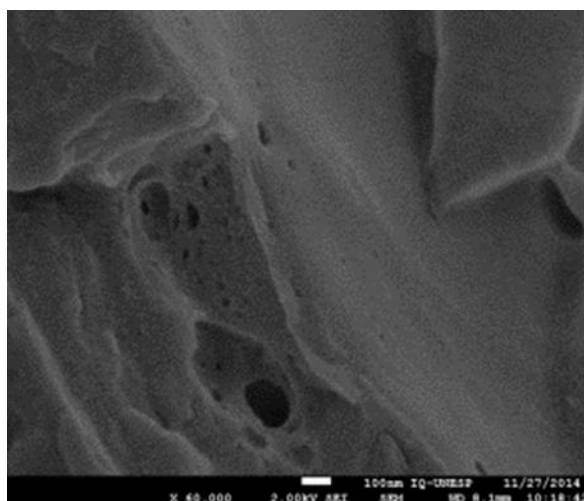
A morfologia das partículas dos pós de manga com Albumina é mostrada na Figura 31, onde se observam formas e tamanhos irregulares, provavelmente devido ao processo de moagem. Pode-se ver que a superfície dos pós é rugosa e porosa. O tamanho dos poros é heterogêneo, podendo-se identificar poros pequenos que apresentam valores desde 17,1 nm a 44,6 nm (Figura 31c).



a



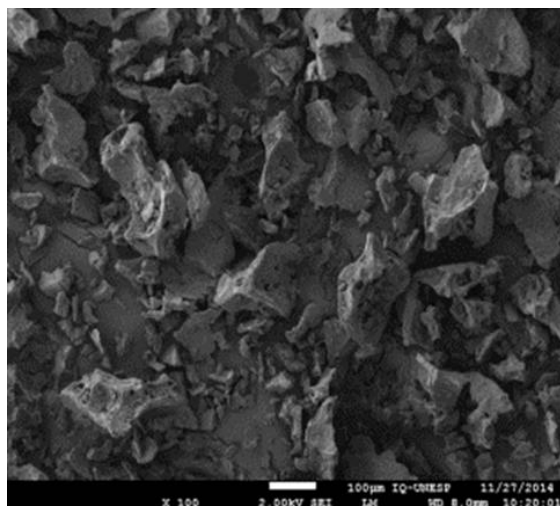
b



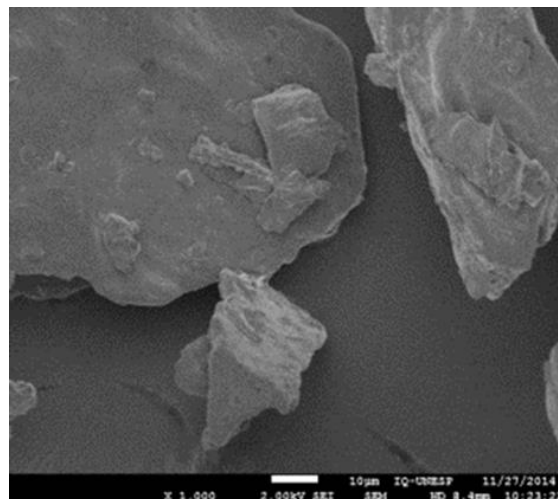
c

Figura 31 - Micrografias das partículas de pó de manga produzido com Albumina (10 % p/p) 100× (a); 1000× (b); 60 000× (c).

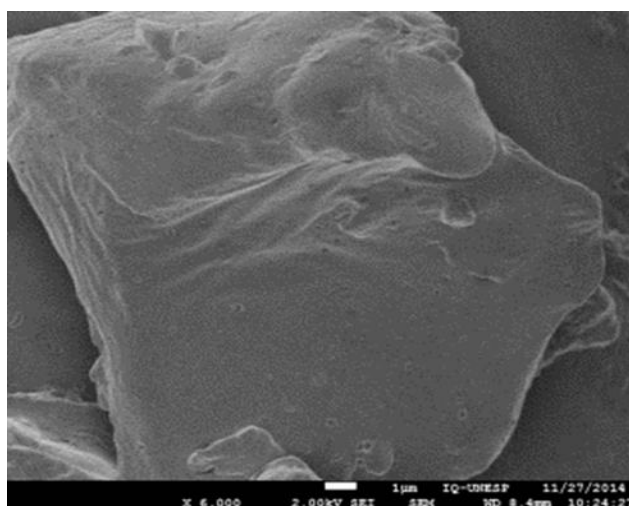
Os pós de manga produzidos apenas com *Emustab*, apresentaram formas e tamanhos irregulares, similares ao obtidos nos pós de manga produzidos apenas com Albumina. No entanto, nesses pós, a superfície é mais lisa e os poros são mais homogêneos (Figura 32)



a



b



c

Figura 32 - Micrografias das partículas de pó de manga produzido com *Emustab* (2 % p/p) 100× (a), 1000× (b) e 6000× (c).

Ressalta-se que os pós podem ter apresentando algum tipo de variação na sua superfície como uma consequência do processo de moagem. No entanto, em termos gerais, ficou evidente que a uma maior incorporação de ar corresponde um maior número de poros (Figuras 31-33). A superfície das partículas apresenta poros abertos que provavelmente foram provocadas pelo processo de secagem, como resultado do choque térmico ao qual as espumas foram submetidas. Similares resultados foram reportados por Schoonman et al. (2001), em espumas liofilizadas de soluções aquosas de maltodextrina DE 12 e de caseinato de sódio.

Além disso, não foram observadas estruturas cristalinas nos pós de manga analisados, o que confirma os resultados obtidos na difração de RX. Esses resultados indicam que o tempo de secagem foi curto, evitando assim processos de cristalização. Resultados similares foram encontrados por Zielinska et al. (2014) na secagem de mirtilo por microondas a vácuo e a combinação deste com ar quente. Porém, os processos de secagem de fatias de manga com ar quente provocaram formação de estruturas cristalinas (DJANTOU et al., 2011) devido ao alto conteúdo de açúcares dessa fruta. Portanto, conclui-se que os processos de secagem com espuma para fabricação de pós de manga têm como vantagem produzir materiais amorfos, geralmente com boas propriedades de solubilidade (CANO-CHAUCA et al., 2005).

Ao comparar a morfologia dos pós de manga com produtos como arroz (OIKONOMOPOULOU et al., 2011) e mucilagem da chia liofilizada (VELAZQUEZ-GUTIÉRREZ et al., 2015), é possível verificar que o processo de secagem utilizado afeta as características morfológicas dos produtos. No caso dos pós de manga obtidos neste trabalho, o produto apresentou superfícies completamente ocas e descontínuas assim como poros de maior tamanho. Por outro lado, autores como Udomkun et al. (2015), que secaram cubos de mamão com ar quente aplicando desidratação osmótica previamente, também reportam que o tipo de secagem produz modificações na estrutura, podendo afetar a comportamento de sorção devido aos danos ocasionados aos tecidos durante a secagem, o que geralmente é irreversível em frutas.

5.12 Secagem intermitente

A proposta desta parte do estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de intermitência térmica em diferentes temperaturas sobre parâmetros de cor e conteúdo de carotenoides no pó de manga obtido a partir da espuma.

Durante os testes preliminares, os processos de secagem contínua e intermitente foram conduzidos a 60 °C e 80 °C durante 4 horas, para efeito de comparação usando apenas espuma de polpa de manga com *Emustab* (2 % p/p). A intermitência térmica foi aplicada da seguinte maneira: após secagem a 60 °C ou 80 °C durante 1 hora (caso de 2 ciclos) ou 1h30 (caso de 1 ciclo), seguiu-se um decréscimo de 20 °C na temperatura, durante 1 hora, com manutenção do mesmo fluxo de ar, e a seguir a temperatura inicial foi retomada. Para o caso de 2 ciclos, um novo decréscimo de temperatura foi conduzido.

Dos testes preliminares realizados para avaliação da aplicação de um ou dois ciclos, foi observado que, para o caso das espumas produzidas apenas com *Emustab*, na secagem realizada a 80 °C foi possível secar o produto em 180 minutos (Figura 35). Consequentemente, a aplicação de dois ciclos de intermitência não seria conveniente devido à ao elevado tempo de exposição do produto a umidades muito baixas. Por essa razão foi selecionada a aplicação de apenas um ciclo de intermitência, o que permitiu atingir níveis de umidade similares ao obtido pela secagem contínua. De acordo com os resultados obtidos, a condição de um ciclo apresentou uma redução máxima no conteúdo de umidade e, por esta razão, foi estabelecida a intermitência com um ciclo para as duas temperaturas de secagem. O período de redução de temperatura deve ser aplicado antes de completar uma hora de processo.

As cinéticas de secagem das espumas produzidas com *Emustab* (2 % p/p), Albumina (10 % p/p) e a mistura dos dois agentes espumantes, com aplicação da intermitência térmica, são apresentadas nas Figuras 35 e 36 para as temperaturas de 60 °C e 80 °C respectivamente.

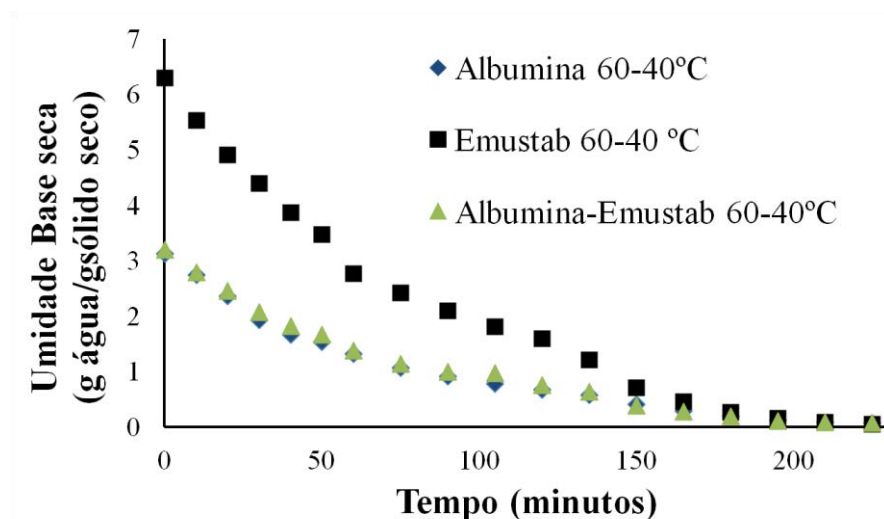


Figura 34 - Cinética de secagem das espumas produzidas com *Emustab* (2 %, p/p), Albumina (10 %, p/p), mistura de *Emustab* (2 %, p/p) com Albumina (10 %, p/p), com aplicação de um ciclo de intermitência térmica (60 °C-40 °C) a 60°C.

Das curvas de secagem das diferentes espumas, pode-se observar que durante o período da redução da temperatura de secagem para 40 °C, a taxa de secagem se vê reduzida e, conseqüentemente, depois do aumento da temperatura a 60 °C, a velocidade volta a aumentar. No caso das espumas produzidas apenas com o *Emustab*, a curva tem uma inclinação que pode ser devido à maior incorporação de ar durante sua produção.

No caso da curva para a secagem realizada a 80 °C, no período redução da temperatura, há um decréscimo na taxa de secagem, situação similar à obtida a 60 °C. No entanto, ao aumentar a temperatura novamente, não foi observado claramente um aumento da taxa de velocidade, devido ao baixo conteúdo de umidade que as espumas apresentam depois de duas horas de secagem (Figura 35).

Tanto a secagem contínua como a intermitente apresentaram período taxa de secagem decrescente e, conseqüentemente, os processos poderiam ser modelados usando a equação de Fick. Os coeficientes efetivos de difusão da água na desidratação de espumas de manga foram calculados a partir da equação de Fick (Equação 12), usando sete termos da série, com o software Statistica 7.0. Dessa maneira, os coeficientes representaram uma média da difusividade, representando as três diferentes etapas da secagem, que teve sua temperatura modificada. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

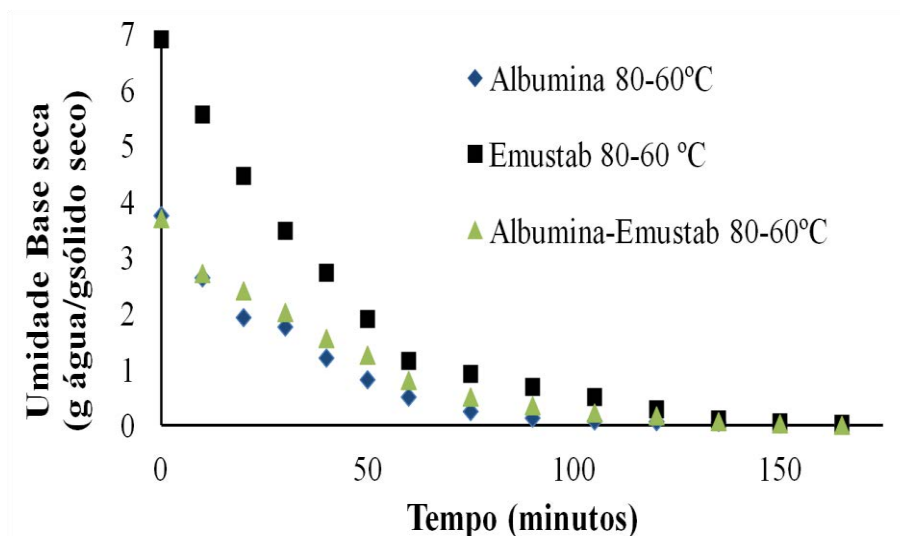


Figura 35 - Cinética de secagem das espumas produzidas com *Emustab* (2 %, p/p), Albumina (10 %, p/p), mistura de *Emustab* (2 %, p/p) com Albumina (10 %, p/p), com aplicação de um ciclo de intermitência térmica (80 °C-60 °C) a 80 °C.

De acordo com os resultados obtidos, o coeficiente de difusão aumentou em relação ao aumento da temperatura de secagem. Ao comparar os dados na secagem contínua pode-se dizer esse comportamento é similar e mostra, assim, a dependência da temperatura sobre o mesmo. Pode-se observar também que as espumas produzidas com Albumina ou com *Emustab* têm coeficientes de difusão menores do que o obtido na secagem contínua a 60 °C. No entanto, quando as espumas são produzidas pela mistura, detecta-se um aumento na difusividade, que passa de $1,61 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para $2,13 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Para o caso da temperatura de 80 °C, essa comparação mostra valores próximos para as espumas produzidas com Albumina ou *Emustab*, enquanto para a mistura, na secagem intermitente, apresentou um pequeno decréscimo.

Os coeficientes de difusão da água são menores que os encontrados por Zhu et al. (2010), na secagem com infravermelho com aquecimento intermitente de fatias de maçã de 5 mm de espessura, que para temperatura de 70 °C e 80 °C apresentam valores de $2,49 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ e $3,02 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivamente. Os autores citados calcularam a difusividade com base na solução analítica da equação de difusão para placas, porém, utilizaram apenas o primeiro termo da série, o que costuma ser adequado para valores de Fo maiores que 0,2 (CREMASCO, 2002). No presente trabalho, tal simplificação foi testada e resultou em valores

altos de difusividade, também da ordem de $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, comprovando que a aproximação seria inadequada para a secagem dessas espumas e da aplicação da intermitência térmica.

Tabela 12 - Coeficientes de difusão efetivos na secagem intermitente.

Condição de Secagem	$D_{ef} \times 10^{10}$ (m^2/s)	χ^2	R^2
Albumina 60-40°C	1,815	0,219	0,986
<i>Emustab</i> 60-40°C	1,599	0,374	0,976
<i>Emustab</i>- Albumina 60-40°C	2,136	0,304	0,982
Albumina 80-60°C	3,843	0,181	0,990
<i>Emustab</i> 80-60°C	3,080	0,214	0,982
<i>Emustab</i>-Albumina 80-60°C	2,909	0,225	0,985

Os resultados das análises para avaliar as respostas em termos de porcentagem de retenção de carotenoides e parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C^* e h^*), quando a intermitência térmica é aplicada, são apresentados na Tabela 13. Dos resultados obtidos, constata-se que a porcentagem de retenção de carotenoides não apresentou diferenças significativas com aplicação da intermitência térmica nas diferentes condições de processo. Ao comparar com os dados obtidos na secagem contínua (Tabela 8), observa-se que os pós produzidos apenas com Albumina ou *Emustab*, pelo processo de secagem com intermitência térmica, apresentaram valores maiores de retenção de carotenoides na temperatura secagem de 60 °C. Porém, nos pós produzidos à temperatura de 80 °C, a intermitência térmica elevou a retenção de carotenoides apenas dos pós que continham *Emustab*, em comparação com secagens sem intermitência.

Avaliando as secagens com espumas produzidas somente com *Emustab*, a retenção passou de 63,78 % na secagem contínua a 60 °C (Tabela 8) para 66,28 %, na secagem

intermitente (Tabela 13). A 80 °C, essa variação foi mais relevante, de 60,70 % (Tabela 8) para 72,85 %. Isto poderia ser explicado pelo fato de que, como as amostras com *Emustab* apresentavam umidade inicial muito superior às amostras com Albumina, a temperatura das primeiras teria se mantido baixa por períodos mais longos, uma vez que, no início da secagem, a umidade das amostras proporciona temperaturas mais baixas que a temperatura do ar aquecido, devido à intensa evaporação da água. Portanto, é possível que a intermitência térmica tenha proporcionado maior retenção de carotenoides nas amostras com maior umidade inicial, em função das temperaturas mais baixas na secagem como um todo, que incluíam a temperatura nas primeiras etapas de secagem e a temperatura reduzida na intermitência. Portanto, na secagem intermitente, as amostras com *Emustab* teriam permanecido em temperaturas mais baixas por períodos mais longos que as amostras com Albumina, resultando nas diferenças observadas entre a retenção de carotenoides na secagem contínua (Tabela 8) e na secagem intermitente (Tabela 13). Kowalski et al. (2013) aplicaram ciclos de resfriamento através da insuflação de ar frio de maneira cíclica durante a desidratação de cilindros de cenoura. Os autores reportaram valores de retenção do β -caroteno entre 73 % e 92 %, quando a intermitência foi aplicada de maneira a manter a temperatura das amostras abaixo de 50 °C durante a maior parte da secagem, concluindo que sobreaquecimentos degradavam mais os carotenoides.

Por outro lado, ao comparar a secagem contínua e intermitente a 60 °C, da espuma com Albumina, a intermitência aumentou a retenção carotenoides de 55,63 % para 67,96 %, mostrando que, em termos de manutenção das propriedades nutricionais, a intermitência térmica poderia ser aplicada nessas condições, gerando um consumo de energia menor.

Em relação aos parâmetros de cor, a claridade dos pós que contêm *Emustab* dentro da sua composição apresentou diferenças ($p < 0,05$) entre as duas temperaturas de secagem, aumentando com diminuição da temperatura. Quando misturada à Albumina, o valor da claridade é maior a temperaturas de secagem de 80 °C. Ao comparar os dados de claridade obtida na secagem contínua (Tabela 7), pode-se observar que a intermitência aumentou o valor da claridade dos pós que continham apenas *Emustab*, na temperatura de secagem de 60 °C, e apresentou uma diminuição em duas temperaturas quando se tinha a mistura. Para os pós que apenas continham Albumina, não foi observada nenhuma diferença. Tanto para secagem contínua como intermite, se observaram valores altos de claridade, mostrando assim que, durante os dois processos, pode-se garantir a preservação da cor em relação ao escurecimento não enzimático.

Para o caso do parâmetro a^* , que indica a intensidade da cor vermelha, o valor mais baixo foi obtido na secagem a 80 °C com a mistura dos dois agentes espumantes (4,02). No entanto, ao comparar com os dados obtidos na secagem contínua, pode-se ver que com a intermitência, os valores resultaram maiores. A intensidade amarela (b^*), para todos os pós produzidos, foi maior na secagem intermitente a 60 °C do que na secagem contínua, na mesma temperatura, indicando que a condição de intermitência poderia exercer uma maior proteção sobre os carotenoides.

Tabela 13 - Porcentagem de retenção dos carotenoides e parâmetros de cor, nas diferentes condições de secagem intermitente com a aplicação de um ciclo.

Condição de Secagem	Retenção de carotenoides (%)	L^*	a^*	b^*	Croma (C^*)	$^{\circ}$ Hue (h^*)
Albumina 60-40 °C	67.96 ± 5,50 ^a	78.52 ± 0,10 ^d	6,47 ± 0,51 ^a	50.79 ± 0,14 ^a	51.20 ± 0,12 ^a	82.71 ± 0,13 ^d
Emustab 60-40 °C	66.28 ± 3,57 ^a	84.01 ± 0,12 ^a	4,03 ± 0,49 ^c	46.45 ± 0,01 ^{ab}	46.68 ± 0,07 ^{abc}	84.99 ± 0,17 ^a
Emustab- Albumina 60-40 °C	68.28 ± 3,91 ^a	80.52 ± 0,10 ^c	5,49 ± 0,10 ^b	45.79 ± 0,14 ^{bc}	46.12 ± 0,13 ^{bcd}	83.15 ± 0,14 ^c
Albumina 80-60 °C	69.72 ± 3,40 ^a	78.99 ± 0,44 ^d	6,03 ± 0,32 ^{ab}	41.57 ± 2,85 ^c	42.00 ± 2,89 ^{cd}	81.74 ± 0,11 ^e
Emustab 80-60 °C	72.85 ± 3,60 ^a	81.87 ± 0,36 ^b	5,65 ± 0,21 ^b	49.67 ± 2,28 ^{ab}	49.94 ± 2,32 ^{ab}	83.51 ± 0,12 ^c
Emustab- Albumina 80-60 °C	68.11 ± 5,20 ^a	82.10 ± 0,21 ^b	4,02 ± 0,47 ^c	41.18 ± 2,12 ^c	41.37 ± 2,13 ^d	84.42 ± 0,14 ^b

Médias na mesma coluna com letras iguais não diferem significativamente a $p < 0,05$, de acordo com o teste de Tukey.

Em relação aos parâmetros Croma e Hue, pode-se dizer que todos os pós apresentam tonalidades alaranjadas (valor de Hue acima de 80). Por sua vez, os valores de Croma estão na faixa de 41 a 51, indicando, assim, que os pós apresentam uma saturação baixa e, consequentemente, uma intensidade de cor menor que a intensidade da polpa fresca (Tabela 2). É importante ressaltar que, na secagem contínua, os pós produzidos com Albumina

misturada ao *Emustab* apresentaram menor intensidade da coloração (Tabela 7), em comparação com os produzidos pelo processo intermitente (Tabela 13).

6 CONCLUSÕES

- Os agentes espumantes Albumina e *Emustab* produzem espumas de manga com boa estabilidade, que podem ser submetidas ao processo de secagem.
- No processo de secagem de espuma de polpa de manga obtêm-se altos coeficientes efetivos de difusão de água (D_{ef}), permitindo atingir, em tempos curtos de processo, baixas umidades e atividades de água, assim como altas porcentagens de retenção de carotenoides.
- Os agentes espumantes exerceram grande influência sobre os parâmetros de cor dos pós de manga, causando perda de vivacidade, porém, proporcionando cor clara e tonalidade amarelo-alaranjada própria da fruta, com resultados similares a pós produzidos através de outros processos como a secagem por atomização.
- As isotermas de adsorção dos pós de manga podem ser representadas pelo modelo de GAB. A composição dos pós afetou a umidade de equilíbrio. Os pós produzidos com emulsificante (*Emustab*), quando expostos a altas atividades de água, absorvem mais umidade do que os que contêm Albumina. Os valores da monocamada desses últimos estão entre 9,56 % a 10,21% (b.s), portanto, tenderão a ser mais estáveis durante o armazenamento.
- Os pós de manga produzidos não apresentaram transições vítreas na faixa de -50 °C a 200 °C. O pó de manga que continha apenas *Emustab* apresentou uma endoterma de fusão a 56,90 °C, também identificada no *Emustab* puro, que foi atribuída ao monoestearato de sorbitana, que funde em torno dessa temperatura (55 °C).
- O pó de manga produzido a partir da mistura de Albumina-*Emustab* apresentou uma endoterma a 84,25 °C, cujo valor foi ligeiramente superior ao encontrado na Albumina pura, em pó (81,88 °C), atribuindo-se tal transição à desnaturação da ovalbumina.
- Todos os pós de manga apresentaram estruturas amorfas, com um pico em torno de 21,35 ° (2 θ), característico de uma estrutura cristalina pela presença dos açúcares da polpa.
- Os pós produzidos com *Emustab* mostraram uma estrutura mais porosa que os pós com Albumina, como consequência da diminuição da densidade pela incorporação de ar nas espumas e das altas velocidades de secagem.

- A aplicação da intermitência térmica melhorou a qualidade dos pós, em comparação à secagem contínua, quando espumas formuladas com *Emustab* ou Albumina foram desidratadas a 60 °C e quando espumas formuladas com *Emustab* foram desidratadas a 80 °C.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliação de outros agentes espumantes como, por exemplo, a combinação de emulsificantes com polímeros como a maltodextrina.
- Ampliação de estudos das propriedades físicas dos pós obtidos como propriedades de reconstituição e de partícula.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMARO, L. **Contribuição ao estudo bioquímico de frutas tropicais e exóticas produzidas no Brasil: Pectina, Açúcar e Proteína**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara-SP, 2009.

Association of Official Agricultural (AOAC). **Official Methods of Analysis**. 16th ed., Washington, DC.: Chemists, , 1995.

AQUERRETA, J. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 80, n.2, p.611–618, 2006

AZIZPOUR, M. et al. Optimization of Foaming Parameters and Investigating the Effects of Drying Temperature on the Foam-Mat Drying of Shrimp (*Penaeus indicus*). **Drying Technology**, New York, v. 32, n.4, p.374–384, 2014

BAG, S.; SRIVASTAV, P; MISHRA, H. Optimization of Process Parameters for Foaming of Bael (*Aegle marmelos L.*) Fruit Pulp. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 4, n.8, p.1450–1458, 2009.

BALERIN, C. et al. Effect of formulation and processing factors on the properties of liquid food foams. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n.3, p.802–809, 2007

BARBOSA-CÁNOVAS, G.; VEGA-MERCADO, H. **Dehydration of Foods**, New York Chapman & Hall, 1996.

BEZERRA, T. **Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*Mangifera indica L.*)**. 2009. 101f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Departamento em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2009.

BHUSARI, S.N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, Lausanne, v. 266, p.354–364, 2014.

BON, J.; KUDRA, T. Enthalpy-Driven Optimization of Intermittent Drying. **Drying Technology**, New York, v. 25, n .4, p.523–532, 2007

BRUNAUER, S. et al. On the teory of the van der waals adsorption of Gases. **Journal of American Chemical Society**, Easton v. 62, p.1723–1732, 1940

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 6, n.4, p.420–428, 2005.

CAÑIZARES, A.; BONAFINE, O.; LAVERDE, D. Deshidratación de productos vegetales. **Inia Divulga**, Maracay, v. 10, p.11–15, 2007.

CAO, W.; NISHIYAMA, Y.; KOIDE, S. Enthalpy-driven optimization of intermittent drying. **Biosystems Engineering**, London, v. 87, n. 3, p.325–331, 2004

CAPARINO, O.A. et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine “Carabao”* var.) powder. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 111, n.1, p.135–148, 2012

CHAUHAN, A.K.; PATIL, V. Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. **Powder Technology**, Lausanne, v. 239, p.86–93, 2013

CHAVES, M. et al. Physicochemical and sensory properties of purple Brazilian cherry (*Eugenia uniflora*, L.) foams. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 48, n.8, p.1688–1697, 2013

CHOU, S.K. et al. On the intermittent drying of an agricultural product. **Chemical Engineering Research and Design (Trans IChemE)**, Elmsford v. 78, n.Part C, p.193–203, 2000

CHUA, K.J.; MUJUMDAR, A.S.; CHOU, S.K. Intermittent drying of bioproducts—an overview. **Bioresource Technology**, Essex, v. 90, n. 3, p.285–295, 2003.

CIHAN, A.; KAHVECI, K.; HACIHAFIZOĞLU, O. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 1, p.293–298, 2007.

CNOSSEN, A.G.; JIMÉNEZ, M.J.; SIEBENMORGEN, T.J. Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 59, n. 1, p.61–69, 2003.

CONTRERAS-CALDERÓN, J. et al. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 7, p.2047–2053, 2011.

CORZO, O.; BRACHO, N.; ALVAREZ, C. Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 87, n. 4, p.479–484, 2008.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2th ed. Oxford:Clarendon Press, 1975.

CREMASCO, M. **Fundamentos de transferência de massa**. 2th. ed. rev. Campinas: Ed da UNICAMP E. da UNICAMP, Campinas, 2002.

CRUZ MEDINA, J. de la; GARCIA, H. Mango Post-Harvest Operation. Rome: AGSI/FAO, 2002
Post-Harvest Compendium. Disponível em:
<http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-_Mango.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2014

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.; FENNEMA, O. **Química de Alimentos de Fennema**, 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAVIS, J.P; FOEGEDING, E.A. Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins. **Colloids and Surfaces. Biointerfaces**, Amsterdam, v. 54, n. 2, p.200–10, 2007.

DEMIRAY, E; TULEK, Y. Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L) slices in a convective hot air dryer. **Heat and Mass Transfer**, Berlin, v. 50, n. 6, 2014.

DISSA, A.O. et al. Convective drying characteristics of Amelie mango (*Mangifera Indica* L. cv. –Amelie”) with correction for shrinkage. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 88, n. 4, p.429–437, 2008.

DJAENI, M. et al. Application of foam-mat drying with egg white for carrageenan: drying rate and product quality aspects. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 1170-1175, 2013.

DJANTOU, E.B. et al. Alternation drying and grinding (ADG) technique: A novel approach for producing ripe mango powder. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London, v. 44, n. 7, p.1585–1590, 2011

DOYMAZ, İ.; The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 1, p.243–248, 2007.

DOYMAZ, İ.; İSMAIL, O. Drying and rehydration behaviors of green bell peppers. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 19, n. 6, p.1449–1455, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). Cultivo da mangueira. Brasília, 2010 Disponível: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira/manejo.htm>>. Acesso em: 31 Ago. 2012

ENDANG, T.; WIDYASTUTI, W.; SRIANTA, I. Development of functional drink Based on foam-mat Dried papaya (*Carica papaya* L.): Optimisation of foam-mat Drying process and its formulation. **International Journal of Food, Nutrition and Public Health**, London v. 4, n. 2, p.167–176, 2011.

FALADE, K.; OKOCHA, J.. Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*Musa spp.*). **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n. 4, p.1173–1180, 2010

FALADE, K.; ONYEOZIRI, N. Effects of Cultivar and Drying Method on Color, Pasting and Sensory Attributes of Instant Yam (*Dioscorea rotundata*) Flours. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n. 3, p.879–887, 2010.

FALADE, K.O.; ADEYANJU, K.I.; UZO-PETERS, P.I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 217, n. 6, p.486–491, 2003.

FALADE, K.O.; AWORH, O.C. Adsorption isotherms of osmo-oven dried african star apple (*Chrysophyllum albidum*) and african mango (*Irvingia gabonensis*) slices. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 218, p.278–283, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). La producción mundial de frutas tropicales alcanzará 82 millones de toneladas en 2014. **AGRONoticias América Latina y el Caribe**. Rome, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/c/159358/>>. Acesso em 28 mar. 2013

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Situación actual y perspectivas a plazo medio. Rome, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s13.htm>>. Acesso em 28 mar 2013

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas. Rome, 2004. (Documentos de la FAO sobre productos básicos y comercio, 1) Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s00.htm>>. Acesso em 13 mar 2013

FOEGEDING, E.; LUCK, P.J.; DAVIS, J.P. Factors determining the physical properties of protein foams. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 20, n.2/3, p.284–292, 2006.

FRANCIS, F. Colorimetric Properties of Food. In RAO, S.; K. RIVZI. **Engineering properties of food**. 3 th. Boca Raton: CRC Press, 2005 p. 703–732.

FURTADO, G. et al. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, João Pessoa v. 12, n.1, p.9–14, 2010.

GARCIA, C.C.; MAURO, M.A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 3, p.284–291, 2007.

GRINBERG, V.Y; BUROVA, T; TOLSTOGUZOV, V, M. Thermal Analysis of Denaturation and Aggregation of Protein Interactions in Real Food System In Kaletunç, G. **Colorimetry in Food Processing. Analysis and Design of Food Systems**, Wiley-BlackWell, 169-194, 2009

GOULA, A.M. et al. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, p.73–83, 2008

GUINÉ, R.P.F.; HENRIQUES, F.; BARROCA, M. Mass Transfer Coefficients for the Drying of Pumpkin (*Cucurbita moschata*) and Dried Product Quality. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n.1, p.176–183, 2009.

GUPTA, M.K.; SEHGAL, V.K.; ARORA, S. Optimization of drying process parameters for cauliflower drying. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 50, n. 1, p.62–9, 2013.

HARNKARNSUJARIT, N.; CHAROENREIN, S. Effect of water activity on sugar crystallization and β -carotene stability of freeze-dried mango powder. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 105, n. 4, p.592–598, 2011a.

HARNKARNSUJARIT, N.; CHAROENREIN, S. Influence of collapsed structure on stability of β -carotene in freeze-dried mangoes. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 10, p.3188–3194, 2011b.

HART, M. et al. Foams for foam-mat drying. **Food Technology**, Chicago, v. 17, p.1302–1304, 1963.

HASENHUETTL, G.; HARTEL, R. **Food Emulsifiers and their applications** 2nd. New York Springer, 2008.

HORTIFRUTI BRASIL, A. Retrospectiva 2013 & Perspectivas 2014. **An  rio Hortifruti**, 2013. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/130/mat_capa.pdf>. Acesso em 11 ago 2014.

HORTIFRUTI BRASIL, D. Manga resultados positivos animam produtores. HortiBrasil, dez.2013/jan.2014. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/130/manga.pdf>>. Acesso em 11 ago 2014.

HUNTER, T. N. et al. The role of particles in stabilising foams and emulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 137, n. 2, p.57–81, 2008.

IBARZ, A.; BÁRBOSA-CÁNOVAS, G. **Unit operations in food engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2000.

ICOZ, D.Z; KOKINI, J.L.State Diagrams of Foods . In: RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. New York: CRC Press, 1995, p 9-32.

IGUAL, M.; RAMIRES, L.H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. **Powder Technology**, Lausanne, v. 256, p.233–238, 2014.

JAKUBCZYK, E.; OSTROWSKA-LIGEZA, E.; GONDEK, E. Moisture sorption characteristics and glass transition temperature of apple puree powder. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 45, p.2515–2523, 2010.

JAYASUNDERA, M. et al. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterisation. **Food Chemistry**, London v. 128, n. 4, p.1003–1016, 2011.

KADAM, D.M.; WILSON, R.A.; KAUR, S. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 45, n. 8, p.1626–1632, 2010.

KANDASAMY, P. et al. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.51, n. 10, p. 2526-2534,2012.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L .) pure Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, London, v. 64, n. 3, p.337–343,1998

KARIM, M. A.; HAWLADER, M. N. A. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 70, n. 1, p.35–45, 2005

KATO, A. et al. Determination of foaming properties of proteins by Conductivity Measurements. **Journal of Food Science**, Chicago, v 48, p.62–65, 1983.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London, v. 37, p.429–438, 2004.

KIRANOUDIS, C. et al. Equilibrium Moisture Content and Heat of Desorption of Some Vegetables. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 20, n. 1, p.55–74, 1993.

KOWALSKI, S.; SZADZIŃSKA, J.; ŁECHTAŃSKA, J. Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 118, n. 4, p.393–399, 2013.

KOYUNCU, T.; PINAR, Y.; LULE, F. Convective drying characteristics of azarole red (*Crataegus monogyna Jacq.*) and yellow (*Crataegus aronia Bosc.*) fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 4, p.1471–1475, 2007.

KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-mat drying : energy and cost analyses. **Canadian Biosystems Engineering**, Saskatoon, v. 48, p.327–332, 2006.

LAU, C.K.; DICKINSON, E. Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, n.1, p.111–121, 2005.

LEWICKI, P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 32, n. 6, p.553–557, 1997.

LÓPEZ, C; KALNIN, D; OLLIVON, M. Coupling of Differencial Scanning Calorimetry and X-Ray Diffraction to Study the Cristalization Properties and Polymorphism. In Kaletunç, G. **Colorimetry in Food Processing. Analysis and Desing of Food Systems**, Ames Wiley-BlackWell, 2009. p. 169-194.

MARTIM, N. S. P. P. **Estudo das características de processamento de manga (*Mangifera indica L*) variedade Tommy Atkins desidratada**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MARTÍNEZ, N. et al. **Termodinamica y cinética de sistemas alimento entorno**, Tresguerras: Instituto Politécnico Nacional, 1999.

MERCANTE, A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. Effects of ripening,cultivar differences and processing on the carotenoid composition of Mango. **Journal of Food Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.46, n. 1 p.128–130,1998

MLEKO, S. et al. Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London v. 40, n. 5, p.908–914, 2007.

MONTGOMERY, D. **Desing and analysis of experiments**, 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.

MORENO, A. et al.. Study of the physicochemical kinects of Mango (*Mangifera indica* L. Var. Tommy Atkins) treated by combined methods of drying. **Dyna**, Medellin, v. 77, n. 162, p.75–84, 2010.

MRKIĆ, V.; UKRAINCZYK, M.; TRIPALO, B. Applicability of moisture transfer Bi–Di correlation for convective drying of broccoli. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 2, p.640–646, 2007.

MUJUMDAR, A. S Drying Fundamentals In Baker, C. **Industrial Drying of Foods**. Blackie Academic& Professional, London, 1997. p. 9-23.

MUJUMDAR, A. S. Design of hot air drying for better foods. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 17, n. 4, p.153–163, 2006

MUJUMDAR, A.S.; LAW, C.L. Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 3, n. 6, p.843–852, 2010.

MURPHY, E.W.; CRINER, P.E.; GRAY, B.C. Comparisons of methods for calculating retention of nutrients in cooked foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 23, n. 6, p.1153–1157, 1975.

MUTHUKUMARAN, A. **Foam-mat freeze drying of egg white and mathematical modeling**, 2007. 80 f. Dissertação (Master of Science) - Departament Bioresource Engineering, McGill University, Sainte-Anne-de-Bellevue, 2007.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V.G.S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 4, p.508–512, 2008.

NAFCHI, M. et al. Effects of ascorbic acid and sugars on solubility, thermal, and mechanical properties of egg white protein gels. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 62, p.397–404, 2013.

NISHIYAMA, Y.; CAO, W.; LI, B. Grain intermittent drying characteristics analyzed by a simplified model. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 76, n. 3, p.272–279, 2006.

NOSHAD, M. et al. Effect of osmosis and ultrasound pretreatment on the moisture adsorption isotherms of quince. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby v. 90, n. 2, p.266–274, 2012.

OCHOA-MARTÍNEZ, et al. Drying characteristics of mango slices using the Refractance WindowTM technique. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 109, n. 1, p.69–75, 2012.

OIKONOMOPOULOU, V.; KROKIDA, M.; KARATHANOS, V. Structural properties of freeze-dried rice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 107, n. 34, p.326–333, 2011.

OLIVEIRA, D. da S. et al. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Health Science**, Maringá, v. 33, n. 1, p.89–98, 2011.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Departamento de Economia Rural (DERAL). Fruticultura-Análise da Conjuntura Agropecuária: dez. 2012 Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/fruticultura_2012_13.pdf>. Acesso em 11 set. 2013.

PÉREZ, S. ; TVAROŠKA, I. Carbohydrate-protein interactions: molecular modeling insights, In: HORTON, D. **Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry**. London: Elsivier, 2014.p.9-136.

PÉREZ-ALONSO, C. et al. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 77, n. 4, p.753–760, 2006.

PERNELL, C. W. et al. Properties of whey and egg white protein foams. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Amsterdam, v. 204, n. 13, p.9–21, 2002.

POTT, I. et al. Quantitative determination of beta-carotene stereoisomers in fresh, dried, and solar-dried mangoes (*Mangifera indica* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 16, p.4527–31, 2003

RAHARITSIFA, N.; RATTI, C. Foam-Mat Freeze-Drying of Apple Juice Part 1: Experimental Data and Ann Simulations. **Journal of Food Process Engineering**, Hoboken, v. 33, n. s1, p.268–283, 2010a

RAHARITSIFA, N.; RATTI, C. Foam-Mat Freeze-Drying of Apple Juice Part 2: Stability of Dry Products During Storage. **Journal of Food Process Engineering**, Hoboken, v. 33, n. s1, p.341–364, 2010b.

RAHMAN, M.S; SABLANI, S. Water Activity Measure Methods of Food. In RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. Boca Raton: CRC Press, 1995, p 9-32.

RAJKUMAR, P. et al. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 4, p.1452–1459.

RAJKUMAR, P. et al. Foam Mat Drying of Alphonso Mango Pulp. **Drying Technology**, New York, v. 25, n. 2, p.357–365, 2007.

RIZVI, S. S .Thermodynamic Properties of Food in Dehydration In:RAO, M.; RIZVI, S. S.; DATTA, A. K. **Engineering Properties of food**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.p 239-310.

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of Foamed Biological Materials: Opportunities and Challenges. **Drying Technology**, New York, v. 24, n. 9, p.1101–1108, 2006.

RAWSON, A. et al. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 7, p.1875–1887, 2011.

RIBEIRO, S.M.R.; SCHIEBER, A. Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.) **In Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and Vegetables**. London: Academic Press, 2010. p. 507–523.

RICHARDSON, G. et al. The function of α -crystalline emulsifiers on expanding foam surfaces. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 18, n. 4, p.655–663, 2004.

ROCHA, R.H. et al. Uso do índice de degradação de amido na determinação da maturidade da manga –Fommy Atkins .” **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jabotical, v. 23, n. 2, p.302–305, 2001.

RODRÍGUEZ -PATINO, J.M.; CARRERA- SÁNCHEZ, C. ; RODRÍGUEZ- NIÑO, M.R. Implications of interfacial characteristics of food foaming agents in foam formulations. **Advances in colloid and interface science**, Amsterdam, v. 140, n. 2, p.95–113, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. **Effects of processing and storage on food carotenoids**, 3 ed. *Sight and Life Newsletter* , 2002.

RODRIGUEZ-AMAYA, D; KIMURA, M. **HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis**. Campinas: International Food Policy Research Institute(IFPRI) , 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFANM, J. **Fontes Brasileiras de Carotenóides**: tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Conservação da Biodiversidade, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A Guide to carotenoide analysis in food**. Campinas: I. Press, 2001.

ROOS, Y. Melting and glass transitions of low molecular weight carbohydrates. **Carbohydrate Research**, 238, p.39–48, 1993.

ROOS, Y. **Phase Transition in food**. San Diego: Academic Press, 1995.

RUAN, R.; CHEN, L. **Water in foods and biological materials-** a nuclear magnetic resonance approach Lancaster: Technomic , 1998.

SAGAR, V.R.; SURESH, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 47, n.1, p.15–26, 2010.

SAINI, R. K. et al. Effect of dehydration methods on retention of carotenoids, tocopherols, ascorbic acid and antioxidant activity in *Moringa oleifera* leaves and preparation of a RTE product. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 51, n. 9, p.2176–2182, 2014.

SALTMARCH, M.; LABUZA, T. Influence of relative humidity on the physical state of lactose in spray-dried sweet whey powders. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 45, n. 1, p.1231–1242, 1980.

SAMANTA, S.; GHOSH, P. Coalescence of bubbles and stability of foams in aqueous solutions of Tween surfactants. **Chemical Engineering Research and Design**, Elmsford, v. 89, n. 11, p.2344–2355, 2011.

SANKAT, C.K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London, v. 37, n. 5, p.517–525, 2004.

SAXENA, A. et al. Degradation Kinetics of Colour and Total Carotenoids in Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Bulb Slices During Hot Air Drying. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n. 2, p.672–679, 2012.

SCHOONMAN, A. et al. The microstructure of foamed maltodextrin/sodium caseinate powders: A comparative study by microscopy and physical techniques. **Food Research International**, Barking, v. 34, p. 913–929, 2001.

SEGURA, E. Aplicación de la tecnología de secado en espumas en frutas tropicales. **Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas**, Bogotá, v. 18, p.47–52, 1990.

SHEI, H.J.; CHEN, Y.L. Computer Simulation on Intermittent Drying of Rough Rice. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 3, p.615–636, 2002

SHIVHARE, U. et al. Moisture adsorption isotherms for mushroom. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London, v. 37, n. 1, p.133–137, 2004.

SIDDIQ, M.; SOGI, D.S.; DOLAN, K.D. Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut “Fommy Atkins” mangoes as affected by different pre-treatments. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, v. 53, n. 1, p.156–162, 2013.

SILVA, G. et al. Chemical characterization, bioactive compounds, and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit from the Atlantic Forest in southern Brazil. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 7, p.2128–2133.

SINGH, P.; HELDMAN, D. **Introduction to Food Engineering**, 3 ed. San Diego: Academic Press, 2001.

SLADE, L.; LEVINE, H. Water and the glass transition — Dependence of the glass transition on composition and chemical structure: Special implications for flour functionality in cookie baking. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 24, n. 4, p.431–509, 1995.

SOARES, E.C. **Caracterização de aditivos para a secagem de Araça-Boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leite de espuma**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga-BA, 2009.

SOGI, D.S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K.D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London v. 62, n. 1 p.1–5, 2014.

SOSA, N.; SALVATORI, D.M.; SCHEBOR, C. Physico-Chemical and Mechanical Properties of Apple Disks Subjected to Osmotic Dehydration and Different Drying Methods. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n. 5, p.1790–1802, 2010.

SOUZA, V. R. et al. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 134, n. 1, p.381–386, sept. 2012.

SOUZA, V.C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de Cupuaçu**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga-BA, 2011.

TAN, C.; MAN, Y. Differential Scanning Calorimetric Analysis of Edible Oils : Comparison of Thermal Properties and Chemical Composition. **JAOCs**, Heidelberg, v. 77, n. 2, p.143–155, 2000.

TELIS-ROMERO, J. et al. Enthalpy-entropy compensation based on isotherms of mango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p.297–303, 2005

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 86, n. 4, p.573–583, 2008.

THYS, R. C. S. et al. Adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch and thermodynamic analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 3, p.468–473, 2010.

TIMMS, R. Heats of fusion of glycerides. **Chemistry and Physics of Lipids**, Limerick, v. 21, n. 1/2, p.113–129, 1977

TONON, R. V. et al. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n.3/4, p.215–221, 2009.

TORRES, J.D.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I. Development of volatile fraction of fresh cut osmotically treated mango during cold storage. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 130, n. 4, p.921–927, 2012.

UBOLDI, M. **Desidratação por camada de espuma (Foam mat) de suco de tomate**. 1971. 35f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 1971.

UDOMKUN, P. et al. Sorption behaviour of papayas as affected by compositional and structural alterations from osmotic pretreatment and drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 157, p.14–23, 2015.

VAQUIRO, H.A. **Contribución al estudio y optimización del secado intermitente: Aplicación al secado de mango (*Mangifera indica* L var . Tommy Atkins)**. 2009. 263f. Tese (Doutrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidad Politecnica de Valencia, 2009.

VÁSQUEZ, C. et al. State diagram, sorption isotherm and color of blueberries as a function of water content. **Thermochimica Acta**, v. 570, p.8–15, 2013

VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, S. et al. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). **Carbohydrate Polymers**, v. 121, p.411–419, 2015.

VILELA, C. et al. The ripe pulp of *Mangifera indica* L.: A rich source of phytosterols and other lipophilic phytochemicals. **Food Research International**, Barking v. 54, n. 2, p.1535–1540, 2013.

VAN DE WALLE, D.; GOOSSENS, P.; DEWETTINCK, K. Influence of the polarity of the water phase on the mesomorphic behaviour and the α -gel stability of a commercial distilled monoglyceride. **Food Research International**, Barking, v. 41, n. 10, p.1020–1025, 2008.

WILSON, R. et al. Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-Mat Dried Mango (*Mangifera indica*) Powder during Storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, v. 38, n. 4, p. 1866-1874, 2013.

ZHAO, Q. et al. Effect of sorbitan monostearate on the physical characteristics and whipping properties of whipped cream. **Food chemistry**, London, v. 141, n. 3, p.1834–1840, 2013.

ZHU, Y. et al. Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 97, n. 1, p.8–16, 2010

ZIELINSKA, M.; SADOWSKI, P.; BŁASZCZAK, W. Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London, v. 62, n. 1, p.555–563, 2014.

ŻMUDZIŃSKI, D. et al. The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 121, p.128–134, 2014.