



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**



TESE DE DOUTORADO

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE MANGA CV.
KEITT**

MARY KARLLA ARAÚJO GUIMARÃES

**Campina Grande - Paraíba
FEVEREIRO - 2014**

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE MANGA CV.
KEITT**

MARY KARLLA ARAÚJO GUIMARÃES

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

**ORIENTADORES: Prof^ª. Dr^ª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

**Campina Grande - Paraíba
FEVEREIRO - 2014**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

G963s Guimarães, Mary Karlla Araújo.
 Secagem em camada de espuma da polpa de manga cv.keitt. / Mary
 Karlla Araújo Guimarães. – Campina Grande, 2014.
 182 f. : il. color.

 Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.

 "Orientação: Prof.^a Dr.^a Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, Prof. Dr.
Alexandre José de Melo Queiroz".

 Referências.

 1. Mangifera indica L. 2. Produto em Pó. 3. Isotermas 4. Reologia
I. Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. II. Queiroz, Alexandre José de
Melo. III. Título.

CDU 634.441(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

MARY KARLLA ARAÚJO GUIMARÃES

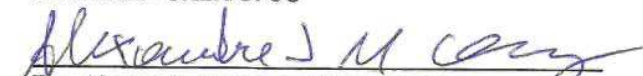
SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA MANGA CV. KEITT

BANCA EXAMINADORA

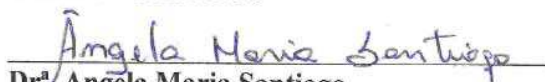
PARECER


Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Orientadora - UAEA/UFCG


Aprovado


Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Orientador - UAEA/UFCG

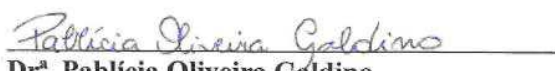
APROVADO


Dr. Angela Maria Santiago
Examinadora - CCT/UEPB

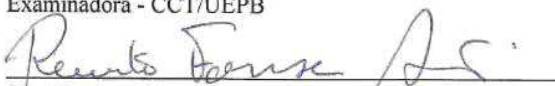
Aprovado


Dr. Hofsky Vieira Alexandre
Examinadora - CNPq


APROVADO


Dr. Pablicia Oliveira Galdino
Examinadora - CCT/UEPB

Aprovado


Dr. Renato Fonseca Aragão
Examinador - UAEA/UFCG

Aprovado


Dr. Josivanda Palmeira Gomes
Examinadora - UAEA/UFCG

Aprovado

FEVEREIRO DE 2014

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*
(Marthin Luther King)

*“Eu sou aquela mulher que fez a escalada da montanha da vida,
removendo pedras e plantando flores”.*
(Cora Coralina)

“Tudo tem seu tempo determinado e há tempo para todo o propósito debaixo do céu. Há tempo de nascer e tempo de morrer; tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou; Tempo de matar e tempo de curar; tempo de derrubar e tempo de edificar; Tempo de chorar e tempo de rir; tempo de prantear e tempo de dançar; Tempo de espalhar pedras e tempo de ajuntar pedras; tempo de abraçar e tempo de afastar-se de abraçar; Tempo de buscar e tempo de perder; tempo de guardar e tempo de lançar; Tempo de rasgar e tempo de coser; tempo de estar calado e tempo de falar; Tempo de amar e tempo de odiar; tempo de guerra e tempo de paz.”

(ECLESIASTES 3)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu amado e inesquecível pai,
Edésio Vitorino de Araújo
(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por estar sempre ao meu lado durante toda essa trajetória. A ti, Senhor, toda honra e toda glória!

A meus pais, Edésio (*in memorian*) e Dasdôres, por todos os esforços que empreenderam para que hoje eu me encontrasse aqui, por terem me ouvido, ajudado, por me amarem.

A minha amada filha Glendha, razão dos meus esforços e do meu viver; sou-lhe grata pela paciência e pelo incentivo durante essa jornada.

A meus irmãos, Fagner e Rislayne, por dividirem comigo os bons e maus momentos desta caminhada.

Aos meus sobrinhos, Kalleo e Lara, que me alegraram em dias difíceis.

A Val Guimarães, pelo companheirismo, compreensão, força e carinho e pela alegria de tê-lo perto de mim neste momento.

A minha avó, Margarida, por seu carinho imenso e pelas suas orações.

A todos os professores com os quais tive a oportunidade de conviver e aprender, em especial à Prof^ª. Rossana, por suas orientações valiosas, à Prof^ª. Josivanda e ao Prof. Alexandre.

Aos colegas do Laboratório de Armazenamento e Processamento, Shirlyanne, Danielle, Melly, Emanuel Neto, Regilane, Arali e Rayane, pela disposição em me ajudar.

Às alunas de graduação, Enaile e Vídina, pela ajuda na coleta de dados. A minha amiga Ana Paula, que mesmo distante, sempre me fortaleceu e incentivou na busca por este sonho.

Aos meus amigos e colegas de trabalho do IFPB pelo incentivo, apoio e força que recebi durante esta caminhada, em especial, a Edmilson, Nicácio, Mary Roberta, Elias e Márcia. Muito obrigada.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de crescimento profissional e realização pessoal.

A todos vocês, minha gratidão!!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	Iv
LISTA DE TABELAS	Viii
RESUMO	Xvi
ABSTRACT	Xvii
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 – Objetivo geral	3
1.1.1 – Objetivos específicos	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 – Manga	5
2.1.1 – Cultivar Keitt	6
2.2 – Reologia	7
2.3 – Secagem	9
2.4 – Secagem em camada de espuma (<i>foam mat drying</i>)	11
2.5 – Atividade de água	15
2.5.1 – Isotermas de adsorção de água.....	16
2.6 – Densidade.....	18
2.7 – Solubilidade	19
2.8 – Análise instrumental de cor	19
2.9 – Cinética de degradação do ácido ascórbico.....	20
3 - MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 – Local de execução dos experimentos.....	23
3.2 – Matéria-prima e aditivos.....	23
3.3 – Processamento da manga	23
3.4 – Caracterização química, física e físico-química da polpa de manga integral.....	23
3.4.1 – Comportamento reológico	24
3.5 – Preparo da formulação	26
3.5.1 – Densidade das espumas	27
3.5.2 – <i>Over-run</i>	27
3.5.3 – Estabilidade das espumas.....	27

3.6 – Características químicas, físicas e físico-químicas da formulação selecionada	28
3.7 – Secagem em camada de espuma	28
3.7.1 – Cinética de secagem	28
3.8 – Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó	30
3.8.1 – Rendimento	31
3.8.2 – Solubilidade	31
3.8.3 – Densidade	31
3.8.4 – Isotermas de adsorção de água	31
3.9 – Armazenamento do produto em pó	33
3.10 – Cinética de degradação do ácido ascórbico	34
3.10.1 – Efeito da temperatura	36
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 – Caracterização química, físico-química e física da polpa da manga cv. Keitt	37
4.2 – Comportamento reológico da polpa da manga cv. Keitt integral	41
4.3 – Seleção para a secagem em camada de espuma	44
4.3.1 – Densidade da espuma	44
4.3.2 – <i>Over-run</i>	46
4.3.3 – Estabilidade da espuma	49
4.4 – Caracterização química, física e físico-química da espuma selecionada	50
4.5 – Comportamento reológico da espuma	54
4.6 – Secagem em camada de espuma	54
4.6.1 – Influência da temperatura e espessura da camada de espuma	54
4.6.2 – Modelos matemáticos	57
4.7 – Caracterização química, física e físico-química da polpa de manga Keitt em pó	66
4.7.1 – Teor de água	66
4.7.2 – pH	67
4.7.3 – Sólidos solúveis totais	68
4.7.4 – Ácido ascórbico	69
4.7.5 – Acidez total titulável	70

4.7.6 – Açúcares redutores	72
4.7.7 – Luminosidade	73
4.7.8 – Intensidade de vermelho	74
4.7.9 – Intensidade de amarelo	76
4.7.10 – Atividade de água	77
4.7.11 – Solubilidade	77
4.7.12 – Rendimento	79
4.8 – Isotermas de adsorção de água	81
4.8.1 – Isotermas de adsorção de água do produto em pó	93
4.9 – Armazenamento do produto em pó	97
4.9.1 – Teor de água	97
4.9.2 – Acidez total titulável	102
4.9.3 – pH	107
4.9.4 – Atividade de água (a_w)	111
4.9.5 – Ácido ascórbico	116
4.9.6 – Luminosidade	120
4.9.7 – Intensidade de vermelho	125
4.9.8 – Intensidade de amarelo	130
4.9.9 – Solubilidade	134
4.10 – Cinética de degradação do ácido ascórbico	138
5 – CONCLUSÕES	143
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
APÊNDICE A	172
APÊNDICE B	176

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Manga cv. Keitt (EMBRAPA, 2007).....	6
Figura 2.2 -	Tipos de isotermas de sorção (Fonte: BRUNAUER et al., 1938).....	18
Figura 4.1 -	Viscosidade aparente (m Pas) da polpa de manga Keitt, em função da velocidade de rotação (rpm), a 25 °C.....	41
Figura 4.2 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk	44
Figura 4.3 -	Valores médios do <i>over-run</i> (%) dos diferentes tratamentos em função dos tempos de batimento.....	49
Figura 4.4 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da formulação selecionada (Tratamento 2) com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	54
Figura 4.5 -	Cinética de secagem da espuma do Tratamento 2 a 50 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma	55
Figura 4.6 -	Cinética de secagem da espuma do Tratamento 2 a 60 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma	56
Figura 4.7 -	Cinética de secagem da espuma do Tratamento 2 a 70 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma	56
Figura 4.8 -	Cinética de secagem da formulação do Tratamento 2 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Page	60
Figura 4.9 -	Cinética de secagem da formulação do Tratamento 2 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas, com ajustes pelo modelo de Page.....	63
Figura 4.10 -	Cinética de secagem da formulação do Tratamento 2 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas, com ajustes pelo modelo de Page.....	65
Figura 4.11 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó (Tratamento 2), desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Peleg.....	85

Figura 4.12 - Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Peleg.....	89
Figura 4.13 - Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga em pó (Tratamento 2), desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg.....	93
Figura 4.14 - Isotermas de adsorção de água da polpa da manga Keitt em pó (Tratamento 2), temperatura de secagem de 60 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma), nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ajustadas pelo modelo de GAB	97
Figura 4.15 - Valores médios do ácido ascórbico da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm) em função do tempo de armazenamento, em diferentes temperaturas.....	139
Figura 4.16 - Modelo cinético de primeira ordem do teor de ácido ascórbico da polpa de manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) em função do tempo de armazenamento, em diferentes temperaturas.....	141
Figura 4.17 - Aplicação da equação de Arrhenius para os dados das constantes da velocidade de reação de primeira ordem para a degradação do ácido ascórbico do pó de manga (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm).....	142
Figura A.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de manga Keitt integral com ajuste pelos modelos da Lei da Potência e Herschel-Bulkley.....	175
Figura A.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de manga Keitt formulada (Tratamento 2) com ajuste pelos modelos da Lei da Potência e Herschel-Bulkley.....	175
Figura B.1 - Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de GAB.....	177

Figura B.2 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Oswin.....	177
Figura B.3 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Halsey.....	178
Figura B.4 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de GAB.....	178
Figura B.5 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Oswin.....	179
Figura B.6 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Halsey.....	179
Figura B.7 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de GAB.....	180
Figura B.8 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Oswin.....	180
Figura B.9 -	Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Halsey.....	181

Figura B.10 - Isotermas de adsorção de água da melhor amostra em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Peleg.....	181
Figura B.11 - Isotermas de adsorção de água da melhor amostra em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Oswin.....	182
Figura B.12 - Isotermas de adsorção de água da melhor amostra em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Halsey.....	182

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Composição química da manga Keitt	7
Tabela 3.1 -	Concentração dos aditivos utilizados nas para obtenção das espumas.....	26
Tabela 4.1 -	Valores médios e desvios padrão da caracterização química, físico-química e física da polpa de manga Keitt integral.....	37
Tabela 4.2 -	Parâmetros dos modelos reológicos, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentual médios (P) da polpa de manga integral ...	42
Tabela 4.3 -	Valores médios das densidades das espumas (g/cm^3) para as diferentes formulações em função dos tempos de batimento	45
Tabela 4.4 -	Valores médios do <i>over-run</i> (%) das diferentes formulações em função das concentrações dos aditivos e dos tempos de batimento.....	47
Tabela 4.5 -	Caracterização química, física e físico-química da formulação selecionada (Tratamento 2)	50
Tabela 4.6 -	Parâmetros dos modelos reológicos, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentual médios (P) da polpa de manga formulada.....	52
Tabela 4.7 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), com espessura de camada de espuma de 0,5 cm, em diferentes temperaturas avaliadas	58
Tabela 4.8 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), com espessura de camada de espuma de 1,0 cm, em diferentes temperaturas avaliadas	61
Tabela 4.9 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), com espessura de camada de espuma de 1,5 cm, em diferentes temperaturas avaliadas	64

Tabela 4.10 -	Valores médios do teor de água (% b.u) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessura da camada de espuma	66
Tabela 4.11 -	Valores médios do pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessura da camada de espuma	67
Tabela 4.12 -	Valores médios de sólidos solúveis (°Brix) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessura da camada de espuma	68
Tabela 4.13 -	Valores médios de vitamina C (mg / 100g) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	69
Tabela 4.14 -	Valores médios de acidez total (% ac. cítrico) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	71
Tabela 4.15 -	Valores médios de açúcares redutores (% glicose) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	72
Tabela 4.16 -	Valores médios de luminosidade (L*) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	74
Tabela 4.17 -	Valores médios da intensidade do vermelho (+a*) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	75
Tabela 4.18 -	Valores médios da intensidade do amarelo (+b*) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	76
Tabela 4.19 -	Valores médios da atividade de água da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	77

Tabela 4.20 -	Valores médios de solubilidade (min) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	78
Tabela 4.21 -	Valores médios de rendimento (%) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	79
Tabela 4.22 -	Valores médios da densidade (g/cm^3) da polpa de manga Keitt em pó, em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma	80
Tabela 4.23 -	Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada a 50 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm).....	82
Tabela 4.24 -	Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas da polpa de manga em pó (Tratamento 2) com temperatura de secagem de 50 °C	83
Tabela 4.25	Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada a 60 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm)	86
Tabela 4.26 -	Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de umidade da polpa de manga em pó (Tratamento 2), a 25 °C, desidratada a 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma	87
Tabela 4.27 -	Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada a 70 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm)	90
Tabela 4.28 -	Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de umidade da polpa de manga em pó (Tratamento 2), a 25 °C desidratada a 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma	91

Tabela 4.29 - Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa da manga Keitt em pó em função da atividade de água (a_w) nas diferentes temperaturas	94
Tabela 4.30 - Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa de manga em pó (Tratamento 2), desidratada na temperatura de secagem de 60 °C e com 0,5 cm de espessura de camada de espuma	95
Tabela 4.31 - Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%	98
Tabela 4.32 - Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	99
Tabela 4.33 - Equações de regressão propostas para o teor de água polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.....	101
Tabela 4.34 - Equações de regressão propostas para o teor de água polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.....	102
Tabela 4.35 - Valores médios da acidez total titulável da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%	103
Tabela 4.36 - Valores médios da acidez total titulável da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	104
Tabela 4.37 - Equações de regressão propostas para a acidez total titulável da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%	105

Tabela 4.38 - Equações de regressão propostas para a acidez total titulável da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	105
Tabela 4.39 - Valores médios do pH da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%	107
Tabela 4.40 - Valores médios do pH da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	108
Tabela 4.41 - Equações de regressão propostas para o pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.....	109
Tabela 4.42 - Equações de regressão propostas para o pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.....	110
Tabela 4.43 - Valores médios de atividade de água da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 55%	112
Tabela 4.44 - Valores médios de atividade de água da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	113
Tabela 4.45 - Equações de regressão propostas para a atividade de água da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.....	114
Tabela 4.46 - Equações de regressão propostas para a atividade de água da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.....	115

Tabela 4.47 -	Valores médios do ácido ascórbico da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 55%	116
Tabela 4.48 -	Valores médios do ácido ascórbico da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 83%	117
Tabela 4.49 -	Equações de regressão propostas para o teor de ácido ascórbico da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%	119
Tabela 4.50 -	Equações de regressão propostas para o teor de ácido ascórbico da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	120
Tabela 4.51 -	Valores médios da luminosidade da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 55%	121
Tabela 4.52 -	Valores médios da luminosidade da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 83%	122
Tabela 4.53 -	Equações de regressão propostas para a luminosidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.....	124
Tabela 4.54 -	Equações de regressão propostas para a luminosidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.....	125
Tabela 4.55 -	Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 55%.....	126

Tabela 4.56 - Valores médios da intensidade de vermelho da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 83%	127
Tabela 4.57 - Equações de regressão propostas para a intensidade de vermelho (+a*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativamédia de 55%	128
Tabela 4.58 - Equações de regressão propostas para a intensidade de vermelho (+a*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	129
Tabela 4.59 - Valores médios da intensidade de amarelo da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 55%	130
Tabela 4.60 - Valores médios da intensidade de amarelo da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 83%	131
Tabela 4.61 - Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo (+b*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%	132
Tabela 4.62 - Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo (+b*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%	133
Tabela 4.63 - Valores médios da solubilidade da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40°C e umidade relativa média de 55%	134
Tabela 4.64 - Equações de regressão propostas para a intensidade solubilidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%	139

Tabela 4.65 - Equações de regressão propostas para a solubilidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.....	137
Tabela 4.66 - Equações de regressão propostas para a solubilidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.....	138
Tabela 4.67 - Parâmetros das equações de ordem zero e de primeira ordem da cinética de degradação do ácido ascórbico do pó da manga Keitt (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm) em três temperaturas de armazenamento	140
Tabela 4.68 - Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q10) para a degradação do ácido ascórbico do pó de manga Keitt (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm)	142



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA



Tese de Doutorado: **Secagem em camada de espuma da polpa de manga cv. Keitt**

Autora: **Mary Karlla Araújo Guimarães**

Orientadores: **Prof^ª. Dr^ª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, obter um produto em pó a partir da polpa da manga cv. Keitt pelo processo de secagem em camada de espuma. Inicialmente foram testadas formulações, elaboradas com a polpa de manga e diferentes concentrações dos aditivos (Super Liga Neutra® e Emustab®), para a produção de uma espuma estável baseando-se nos valores da densidade, do *over-run* e da estabilidade da espuma. A partir da desses parâmetros foi selecionada a melhor formulação (Tratamento 2) composta de polpa da manga Keitt, 1,0% de Super Liga Neutra® e 1,0% de Emustab®, com um tempo de batimento de 20 minutos. Avaliou-se, ainda, o comportamento reológico da polpa integral e da melhor formulação (Tratamento 2) na temperatura de 25 °C, verificando-se que se trata de fluidos não-newtonianos de caráter pseudoplástico, sendo seu reograma melhor estimado pelo modelo de Mizrahi-Berk. A melhor formulação foi caracterizada quanto à composição química, física e físico-química. A espuma selecionada foi desidratada em estufa com circulação de ar forçada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e, com três espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm). Com os dados obtidos na cinética de secagem foram traçadas as curvas de secagem e ajustados os modelos de Henderson & Pabis, Henderson, Logarítmico, Page e Exponencial de dois termos. Determinou-se nos produtos em pó, as características físicas, químicas e físico-químicas e as isotermas de adsorção de água a 25°C. Para o pó da manga Keitt (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm) foram determinadas as isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C. Os modelos de GAB, Oswin, Peleg e Halsey foram ajustados aos dados experimentais das isotermas. Avaliou-se a estabilidade do produto em pó acondicionado em embalagens laminadas durante 60 dias de armazenamento sob condições controladas de temperatura (20, 30 e 40 °C) e umidade relativa (55 e 83%). A formulação selecionada apresentou densidade de 0,5170 g/cm³ e maiores valores de sólidos totais e sólidos solúveis totais. O menor tempo de secagem foi observado na temperatura de 70 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou às curvas de cinética de secagem das espumas. O produto em pó apresentou pH ácido, baixa atividade de água, alto teor de sólidos solúveis totais e ácido ascórbico. As isotermas foram classificadas como Tipo III e os modelos de Peleg e GAB foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais. Durante o armazenamento do pó ocorreu aumento do teor de água e redução da acidez, do ácido ascórbico, da luminosidade e da intensidade do amarelo.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L., produto em pó, isotermas, armazenamento, reologia, degradação.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA



Doctoral Tesis: **Foam mat drying of mango cv. Keitt pulp**

Author: **Mary Karlla Araújo Guimarães**

Advisors: **Prof.^a. Dr.^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

ABSTRACT

This work aimed to obtain a powder product from mango cv. Keitt pulp through foam mat drying. At first, tests combined mango pulp and different concentrations of additives (*Super Liga Neutra*® e *Emustab*®) in order to produce stable foam, concerning density, over-run and stability values. Based on these parameters the best formulation (Treatment 2) was selected, consisting of mango pulp, 1.0% *Super Liga Neutra*® and 1.0% *Emustab*® whipped for 20 minutes. Rheological properties of the whole pulp and of the best formulation (Treatment 2) were also evaluated at 25 °C. It was verified that they are non-newtonian pseudoplastic fluids, and their rheogram is best estimated through the Mizrahi-Berk model. Chemical, physical and physicochemical characteristics of the best formulation were assessed. Dehydration was carried out in an oven with forced airflow, at 50, 60 and 70 °C, with three foam layer thicknesses (0.5, 1.0 and 1.5 cm). Drying curves were obtained from drying kinetics data; and fit to Henderson & Pabis, Henderson, and Page, Logarithmic and the Two-term Exponential models. Physical, chemical and physicochemical characteristics of the powder products were determined, as well as the moisture adsorption isotherms at 25 °C. For the mango powder (Treatment 2 – 60 °C/0.5 cm) moisture adsorption isotherms at 20, 30 and 40 °C were determined. Powder product was evaluated for stability when stored in laminated packages for 60 days under controlled conditions temperature (20, 30 and 40 °C) and humidity (55 and 83%). The selected formulation showed density of 0.5170 g/cm³ and higher values of total solids and total soluble solids. The 0.5 cm thick foam mat at 70 °C had the shortest drying time. The model of Page was the one that best fitted to the drying kinetic curves of the foams. Powder product presented acid pH, low water activity, high levels of total soluble solids and ascorbic acid. Isotherms were classified as Type III and the models of Peleg and GAB were those which best fitted to the experimental data. While the powder was stored, moisture content, whereas the levels of acidity, ascorbic acid, brightness and yellowness dropped.

Key words: *Mangifera indica* L., powder product, isotherms, storage, rheology, degradation

1 – INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é, dentre as frutas tropicais, uma das mais populares do mundo em virtude da grande importância econômica nos mercados nacional e internacional. Seus maiores consumidores são a América Latina e os países asiáticos (LIMA, 2013).

A Índia é o maior produtor mundial de manga, com mais de 42% do total. O Brasil é o sétimo, representando 3% do total produzido no mundo (FAO, 2012). No mercado interno a manga alcança as maiores cotações no primeiro semestre, em razão da inexistência de safra na maioria dos polos de produção.

O Brasil produziu 127 mil toneladas de manga em 2011 (FAO, 2012), sendo o Nordeste a maior região produtora visto que possui as condições climáticas mais adequadas ao cultivo da manga com o Vale do São Francisco destacando-se na produção desta fruta. A área plantada no Submédio do Vale do São Francisco superou os 38.000 hectares em 2011, sendo aproximadamente 70% desse total produzidos no estado da Bahia. A produtividade média é de aproximadamente 20 toneladas por hectare superior, portanto, à média nacional de 16 toneladas (IBGE, 2012).

Por sua popularidade, a manga em geral, é consumida *in natura*, porém tem-se buscado técnicas que permitam a exploração de todo o seu potencial nutritivo para o desenvolvimento de novos produtos. O aproveitamento racional dessa fruta para o Brasil representa crescimento econômico já que o país é um dos seus grandes produtores mundiais (BEZERRA et al., 2011).

Comumente, a grande disponibilidade de frutas tropicais frescas causa, em geral, um excedente na oferta em relação à demanda local. A manga apresenta grandes possibilidades de industrialização porém ainda é pouco explorada em razão da sua perecibilidade, aliada ao manejo impróprio do produto durante sua produção, à colheita inadequada, tal como às condições de transporte, armazenamento e manipulação até o produto atingir o consumidor final, isso tem gerado grandes perdas para o agronegócio da manga brasileira (ASSIS, 2004).

A curta duração da safra de manga deveria constituir-se num incentivo à industrialização em razão de que absorveria o excesso de produção a custos menores além de possibilitar o consumo do produto industrializado na época em que a fruta fresca não pudesse ser encontrada (RAMOS et al., 2004).

Os produtos processados ou elaborados são potencialmente diferenciáveis e, portanto, agregam valor gerando maiores receitas visando a novos postos de trabalho no país. Por conseguinte, a manga processada constitui em mais uma opção vantajosa na pauta de exportação brasileira de produtos agroindustriais. A principal maneira de comercialização dessas frutas se dá na forma de polpas congeladas. Apesar de sua grande aceitação comercial, esta forma de processamento e conservação implica em elevados custos com armazenamento e transporte.

A secagem é uma importante tecnologia pós-colheita cujo objetivo principal é a redução do teor de água, do peso e do volume, minimizando os custos de embalagem, armazenamento e transporte (DOYMAZ, 2007; KADAM et al., 2011).

O método mais tradicional de secagem é aquele em que o produto fica exposto ao sol, o tempo gasto no processo de secagem é elevado e o produto final ainda corre risco de contaminação por poeira, insetos e micro-organismos. Um dos métodos de secagem que produzem produtos em pó é a secagem em camada de espuma (*foam mat drying*). As principais vantagens deste processo de secagem são: maior estabilidade contra deteriorações por micro-organismos e reações químicas e bioquímicas; redução dos custos com manipulação, embalagem, transporte e armazenamento; retenção da cor, sabor, e das vitaminas (principalmente do ácido ascórbico); preservação das características sensoriais e nutricionais; livre de odor/sabor de queimado e vida de prateleira satisfatória (KADAM & BALASUBRAMANIAN, 2011).

Este processo consiste, basicamente, de três etapas: modificação na consistência líquida do suco ou polpa em uma espuma estável, pela adição de agentes espumantes, secagem do material em camada fina e trituração do material desidratado (TRAVAGLINI et al., 2001). A secagem em camada de espuma é realizada em baixas temperaturas e assim como a liofilização é muito utilizada para secagem de alimentos sensíveis ao calor; é um processo com baixo custo de operação e utiliza menor tempo de secagem devido à elevada área de contato exposta ao ar aquecido, o que facilita a retirada da umidade.; o produto final desse tipo de processo apresenta-se poroso e facilmente reidratável.

Os produtos alimentícios em pó estão sendo cada vez mais utilizados pela indústria em razão de que tais produtos reduzem significativamente os custos com embalagem, transporte, armazenamento e conservação fazendo com que tenham maior valor agregado (COSTA et al., 2003).

As condições de armazenamento consideradas ideais são aquelas em que os produtos podem ser acondicionados, pelo maior tempo possível, sem grandes perdas nos atributos de qualidade como sabor, aroma, textura, cor e teor de água (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

As embalagens para alimentos são elaboradas para proteger o produto servindo de barreira inerte entre o alimento acondicionado e o ambiente. Atualmente as embalagens mais utilizadas para produtos alimentícios em pó são as laminadas. Essas embalagens são compostas por camadas de filmes plásticos sobrepostos, de alumínio, papel ou papelão e outro filme plástico; tais combinações permitem resistência química, ao calor, à ruptura, aos vapores e gases, opacidade, facilidade de impressão e leveza (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

Ante o exposto, este trabalho foi realizado para estudar a obtenção da polpa da manga cv. Keitt em pó, pelo método de secagem em camada de espuma, avaliar as modificações químicas e físico-químicas impostas pelo método, além do armazenamento do produto seco.

1.1 - Objetivo geral

Desidratar a polpa da manga cv. Keitt pelo método de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*).

1.1.1 - Objetivos específicos

- Caracterizar, quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos, a polpa integral da manga e as polpas formuladas (espumas);
- Selecionar a melhor formulação produzida com a polpa da manga e os aditivos Super Liga Neutra[®] e Emustab[®] em diferentes concentrações (0,5; 1,0 e 1,5%) e tempos de batimento (5; 10; 15; 20; 25 e 30 minutos) a partir das características densidade, *over-run* e estabilidade das espumas produzidas
- Desidratar a formulação selecionada para um tempo de batimento fixo avaliando-se as cinéticas de secagem em camada de espuma, em diferentes temperaturas de secagem (50; 60 e 70 °C) e espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm);

- Ajustar os modelos de Henderson & Pabis, Logarítmico, Henderson, Page e Exponencial de dois termos aos dados experimentais da cinética de secagem em camada de espuma da formulação selecionada;

- Avaliar as amostras em pó produzidas quanto aos parâmetros físicos, químico e físico-químicos (teor de água, pH, sólidos solúveis totais, ácido ascórbico, acidez total titulável, açúcares redutores, cinzas, cor, atividade de água, solubilidade, rendimento e densidade);

- Avaliar o comportamento higroscópico através das isotermas de adsorção de água das amostras do pó (formulação selecionada) secadas em diferentes temperaturas e espessuras, na temperatura de 25 °C e amostra em pó secada na melhor condição de secagem de temperatura e espessura, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C;

- Ajustar os modelos de Oswin, GAB, Peleg e Halsey às isotermas;

- Avaliar a estabilidade da melhor amostra em pó, acondicionada em embalagens laminadas, durante 60 dias de armazenamento sob condições controladas de temperatura (20, 30 e 40 °C) e umidade relativa (55 e 83%);

- Avaliar a cinética de degradação do ácido ascórbico do produto em pó selecionado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Manga

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma planta da família *Anacardiaceae* encontrada em sua forma nativa nas florestas do Sul e Sudeste da Ásia. Foi introduzida em várias regiões do mundo, como a África e o Brasil, pelos colonizadores portugueses no século XVI (SOUSA et al., 2000).

É uma das frutas tropicais mais populares do mundo devido ao seu sabor e aroma agradáveis, aliados ao seu valor nutritivo. A produção mundial de manga é de 31,5 milhões de toneladas e o México o maior exportador da fruta (FAO, 2012). O Brasil é o sétimo produtor mundial de manga, tendo como maior região produtora o Nordeste, com destaque para o polo Petrolina-Juazeiro cuja produção, sempre representou de 1990 até 2008, pelo menos 47% da produção nacional da manga, direcionada majoritariamente para o consumo interno, já que, em média, apenas 12% da produção são exportados (FAO, 2012; IBGE, 2012; FAVERO, 2008).

No Brasil são encontradas várias cultivares de mangueira avaliações físico-químicas são importantes para a escolha dos produtos para consumo *in natura*, processamento ou para comercialização porém a composição da manga varia com as condições de cultivo da cultura, estágio de maturação, variedade e outros fatores. A manga é constituída principalmente de água, carboidratos, ácidos orgânicos, sais minerais, proteínas, vitaminas e pigmentos (CARDELLO & CARDELLO, 1998).

No mercado nacional a manga é comercializada sobretudo na forma *in natura*, embora também possa ser encontrada nas formas de suco integral e polpa congelada. No mercado internacional os consumidores preferem mangas com maior teor de sólidos solúveis totais e menor quantidade de fibras (CORREIA & ARAUJO, 2010).

A manga pode variar quanto ao tamanho, formato, aroma, tamanho da semente, quantidade de fibras, composição e propriedades sensoriais (STAFFORD, 1983).

No Brasil são cultivadas principalmente as seguintes variedades de manga: Alphonso, Bourbon, Carlota, Coração de Boi, Espada, Golden Nuggets, Haden, Keitt, Kent, Rosa, Rubi, Sensation e Tommy Atkins. Algumas delas nasceram e se desenvolveram no país; outras são de origem estrangeira, em especial provenientes dos

Estados Unidos, em que produtores da região da Flórida são grandes pesquisadores desta fruta (BEZERRA, 2009).

A manga pode ser considerada uma boa fonte de antioxidantes dietéticos como vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos (RIBEIRO et al., 2007; BERNARDI et al., 2009). A vitamina C possui atividade antioxidante além de apresentar funções biológicas importantes como na formação do colágeno, absorção de ferro e fortalecimento do sistema imunológico, dentre outras (RIBEIRO et al., 2007).

2.1.1 - Cultivar Keitt

A manga cv. Keitt (Figura 2.1), originária da Flórida, foi derivada a partir da manga Haden que tem semelhança com a Tommy Atkins. Esta mangueira tem ramos longos e finos e porte ereto, com o fruto de cerca de 610 g, sabor agradável (19 °Brix) e apresenta pouca fibra, sendo comercializada tanto no mercado interno quanto no externo. O fruto não possui coloração atrativa e sua produção é tardia, fazendo com que o período de safra se prolongue (EMBRAPA, 2007). A manga cv. Keitt e outras variedades tardias, estão sendo avaliadas como alternativa em relação à Tommy Atkins e para avaliação em programas de melhoramento (PINTO et al., 2002).



Figura 2.1 - Manga cv. Keitt (EMBRAPA, 2007)

O valor vitamínico da manga está principalmente em torno de seu conteúdo de vitamina A (carotenoides), vitamina C (ácido ascórbico), e pequenas quantidades de vitaminas do complexo B. A manga madura possui quantidade apreciável de vitamina C chegando a conter 110 mg/100 g, conforme a variedade (CARDELLO & CARDELLO, 1998).

O teor de vitamina C tende a diminuir com a maturação e com o armazenamento de muitas hortícolas, devido à atuação da enzima ácido ascórbico oxidase (ascorbinase), ou pela ação de enzimas oxidantes, como a peroxidase. A composição das frutas é influenciada pelo solo, clima, regime pluvial, o grau de maturação e pela temperatura (LIMA, 2007). Na Tabela 2.1 é apresentada a composição química da manga Keitt.

Tabela 2.1 – Composição química da manga Keitt.

Nutrientes	Unidades	Valor por 100g
Amido total	G	0,48
Glicose	Gl	0,66
Frutose	G	2,75
Sacarose	G	2,75
Açúcares totais	G	6,16

Fonte: USP (1998).

Durante o amadurecimento as mangas apresentam alterações físico-químicas como o aumento dos sólidos solúveis, pH, açúcares totais, sacarose, carotenos e a intensidade do sabor; diminuem o teor de sólidos insolúveis, acidez e amido; os sólidos totais permanecem constantes; a respiração e a transpiração aumentam até um pico para então diminuir; e ocorre a alteração da coloração da polpa de amarelo-claro para amarelo-escuro ou laranja (SUGAI et al., 2002).

2.2 – Reologia

Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais, ou seja, o modo como os materiais respondem à aplicação de uma tensão ou deformação (STEFFE, 1996). A reologia é uma ferramenta de grande importância na implantação de um processo, assim como na sua ampliação (*scale-up*) (HAMINIUK et al., 2013).

A necessidade de conhecer o comportamento reológico dos derivados de frutas está na utilização desse parâmetro como um indicador de qualidade, além de ser fator indispensável na elaboração de projetos, avaliação e operação de equipamentos (bombas, trocadores de calor, evaporadores, tubulações, esterilizadores e misturadores) processadores de alimentos e de importância também no processo de consumo de energia

elétrica, ponto este que, atualmente, tem grande significado para a indústria (AHMED et al., 2005).

Para a fabricação de produtos que utilizam polpa de frutas e para definição dos processos, é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas, principalmente o comportamento reológico (VIDAL et al., 2000).

As propriedades reológicas estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura dos alimentos, tendo em vista que a viscosidade de cada produto está diretamente relacionada com a qualidade de alimentos que se apresentam na forma de fluidos, influenciando diretamente na textura e, portanto, na sua qualidade sensorial. Por outro lado, é de grande interesse industrial o conhecimento do comportamento reológico dos alimentos durante o processo de elaboração, como concentração, mistura, pasteurização e outras operações unitárias (DURAN, 1991).

A viscosidade dos fluidos pode ser afetada por fatores como: concentração, temperatura, tempo, pressão e gradiente de velocidade. O conhecimento da influência desses fatores no comportamento reológico dos alimentos é de fundamental importância para o controle de qualidade. O comportamento reológico de produtos alimentícios pode ser estimado por meio de modelos reológicos, em que sua principal função é representar matematicamente a relação entre os valores experimentais da tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, para determinado fluido e, assim, permitir o tratamento analítico do escoamento desses materiais. São úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas como: concentração, temperatura, entre outros (MELO, 2008).

Os principais fatores responsáveis pelo comportamento reológico dos produtos derivados de frutas são: o tipo de fruta e temperatura e o teor de sólidos (açúcares, pectinas e fibras) (COSTELL & DURÁN, 1982).

Sucos e polpas de frutas fazem parte, na maioria dos casos, do grupo de alimentos fluidos que não têm comportamento reológico simples, do tipo newtoniano, ou seja, apresentam viscosidades dependentes da taxa de deformação e da tensão de cisalhamento e variáveis com a temperatura (PELEGRINE et al., 2002). Nos materiais citados predominam comportamentos não newtonianos, com a resistência ao escoamento expressa em termos de viscosidade aparente, definida como a relação instantânea entre a tensão de

cisalhamento e a taxa de deformação. Parcela significativa de derivados de frutas apresenta comportamento pseudoplástico (VIDAL et al., 2006), considerado o mais comum.

Os fluidos são classificados de acordo com seu comportamento reológico através da análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para condições pré-determinadas de temperatura e pressão. O comportamento reológico dos fluidos é dividido em duas categorias: newtonianos e não-newtonianos (CONCEIÇÃO, 2000).

Para valores de $n < 1$ (índice de comportamento do fluido) a viscosidade aparente decresce com o aumento do gradiente de velocidade caracterizando o fluido como pseudoplástico; para $n > 1$, é caracterizado como fluido dilatante e para $n = 1$ o fluido é classificado newtoniano (LEWIS, 1990).

Tem-se na, literatura, vários modelos que podem ser utilizados para estimar o comportamento reológico de polpa de frutas e de outros produtos alimentícios. Dentre os modelos matemáticos mais aplicados se encontram: Mizrahi-Berk, Casson, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Herschel-Bulkley.

2.3 – Secagem

Apesar da grande quantidade, diversidade de tipos e de cultivares, ainda há o contraste negativo com as condições inapropriadas para o armazenamento e a comercialização da manga sendo que frutas tropicais e climatéricas, como a manga, não resistem mais do que 20 a 25 dias de transporte, assim faz-se necessário o emprego de tecnologias para prolongar a vida pós-colheita (NEVES et al., 2008).

Uma das técnicas de processamento de frutas que pode ser utilizada para disponibilizar o produto em outra forma, é a secagem. Neste tipo de processo o produto obtido tem o armazenamento prolongado com maior estabilidade e vida útil podendo o consumidor ter acesso ao mesmo durante o ano todo e não apenas no período de safra da fruta (RODRIGUES et al., 2005; ALEXANDRE et al., 2007). A polpa seca, processada em forma de pó, geralmente apresenta fácil reconstituição em água, possibilidade de formulação com outros produtos e baixa relação volume/massa com conseqüente economia nos custos com embalagem, armazenamento e transporte (ALEXANDRE et al., 2007).

O processo de secagem, além de ser utilizado como método de conservação reduzindo a deterioração e perdas do valor comercial resulta, ainda, em uma transformação do produto agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado. Os produtos

desidratados podem ser consumidos diretamente como produtos prontos para o consumo ou como ingredientes para elaboração de produtos de confeitaria, iogurtes e sorvetes, entre outros (SOUZA NETO et al., 2005). Este método permite que o produto obtido tenha maior vida de prateleira devido à redução da atividade de água, o que é associado à redução no custo do transporte e armazenamento em razão da leveza e da compactação, combinadas com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química dos alimentos (FELLOWS, 2006).

A secagem de produtos agrícolas pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do teor de água excessiva contida no interior do produto por meio da evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento, por longos períodos de tempo (AFONSO JÚNIOR, 2001). Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo) e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia. As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se destacam: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos a temperatura ambiente durante longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do peso; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001; FEMENIA et al., 2009).

Segundo GABAS (1998) a secagem é tida como um dos procedimentos mais importantes para a redução da atividade de água (a_w). A diminuição da quantidade de água disponível no material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o período de pós-colheita. A conservação pela secagem se baseia no fato de que tanto os micro-organismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem serão reduzidos a atividade de água, a velocidade das reações químicas no produto e o desenvolvimento de micro-organismos (CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974).

A escolha de um método de desidratação a ser utilizado vai depender de alguns fatores, entre os quais se pode considerar: a natureza do material a ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de

operação (EVANGELISTA, 2001). A desidratação deve ser realizada o mais rápido possível para assegurar produtos de alta qualidade a um custo razoável. Dentre os métodos e equipamentos de secagem que possíveis de ser utilizados, pode-se citar: secagem com ar quente, secagem por contato direto com uma superfície quente, secagem por radiação e liofilização.

2.4 - Secagem em camada de espuma (*foam mat drying*)

Dentre as várias técnicas de secagem se destaca a secagem em camada de espuma (*foam mat drying*) processo que foi desenvolvido em 1959, por Artur Morgan Jr. e colaboradores, na *Western utilization research and development division* do *U.S Department of Agriculture*, na Albânia. Observou-se que este método de secagem poderia ser aplicado com vantagem na produção de vários materiais desidratados já que remove o teor de água dos materiais sob condições de menor temperatura (SILVA, 1971).

Este processo de secagem consiste, fundamentalmente, das seguintes etapas: produção de espuma estável, utilizando-se aditivos; secagem da espuma em camada fina; desintegração da massa seca e sua trituração, transformando o produto em pó.

A secagem em camada de espuma é considerada um processo simples e de baixo custo que apresenta a particularidade de utilizar agentes que têm a função de facilitar e manter a estabilidade da espuma durante o processo. Tem, como vantagens, o processamento em baixas temperaturas, menor tempo de desidratação devido à maior área de contato exposta ao ar, a remoção mais rápida da água do produto e a obtenção de um produto poroso facilmente reidratável.

De acordo com BATES (1964) as espumas são consideradas mecanicamente e termicamente, estáveis, quando não ocorrem a drenagem nem o colapso das estruturas; isto ocorre em valores de densidade em torno de $0,5 \text{ g/cm}^3$.

SEGURA et al. (1990) utilizaram a técnica de secagem em camada de espuma para desidratação, na temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$, dos sucos de laranja, abacaxi, amora e maracujá. A albumina de ovo foi usada como agente espumante e metilcelulose como estabilizante. A densidade da espuma obtida ficou abaixo de $0,5 \text{ g/cm}^3$ e a espessura da camada de espuma utilizada foi de 3 mm. A avaliação sensorial após a reconstituição dos produtos em pó quando comparados aos comerciais, mostrou a preferência pelo produto natural do que pelo pó reconstituído.

KARIM & CHEE-WAI (1999) estudaram as características de uma espuma de carambola feita a partir da adição do carboximetilcelulose ao purê da fruta desidratada nas temperaturas de 70 e 90 °C; constatou-se que, quanto maior a concentração do estabilizante menor a densidade da espuma e maior o tamanho da bolha formada.

SOARES (2001) utilizou o método de secagem em camada de espuma para a desidratação da polpa de acerola, com adição de diferentes agentes químicos (pectina cítrica, Emustab e Super Liga Neutra) que favorecem a formação da espuma, sendo escolhido o experimento com a densidade entre 0,1 a 0,6 g/cm³, recomendada como ideal. A polpa formulada foi desidratada em estufa de secagem com circulação de ar nas temperaturas de 60 e 70 °C, durante 90 minutos, obtendo-se um produto em pó com teor de água final de 7,2%.

SANKAT & CASTAIGNE (2004) desidrataram a polpa de banana pelo método de secagem em camada de espuma variando a temperatura de 45 a 90 °C com a adição da proteína de soja como agente espumante e verificaram redução na densidade com o aumento do tempo de batimento.

BASTOS et al. (2005) ao realizarem a secagem da polpa de manga Tommy Atkins em camada de espuma, observaram que o processo de remoção de água do produto foi acelerado em virtude da maior área de superfície exposta ao ar quente e no final foi obtido um produto poroso e de fácil reidratação.

RAHARITSIFA et al. (2006) submeteram o suco clarificado de maçã à secagem com a adição de várias concentrações de dois emulsificantes, uma proteína (albumina de ovo em pó - 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0%) e um polissacarídeo (metilcelulose - 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; e 2,0%), e diferentes tempos de batimento (3; 5 e 7 minutos) aplicados a todas as amostras utilizou-se uma batedeira doméstica (3000 rpm). Esses pesquisadores verificaram que a estabilidade das espumas aumentou com o aumento da concentração dos emulsificantes e em geral as espumas produzidas com a proteína do ovo foram menos estáveis porém mostraram um grau maior de solidez (estruturas mais fortes) e menor diâmetro médio da bolha, que as espumas produzidas com metilcelulose.

RAJKUMAR et al. (2007) estudaram a desidratação da polpa de manga Alphonso nas temperaturas de 60, 65, 70 e 75 °C, utilizando misturas dos aditivos albumina do ovo (5, 10 e 15%) com metilcelulose (0,5%) e três espessuras da camada de espumas (1, 2 e 3 mm) em esteira de Teflon e constataram que a expansão máxima da espuma foi obtida com

uma agitação de 20 minutos mantendo-se estável com o prolongamento da agitação, provavelmente provocado pela adição da metilcelulose. Observou-se que a maior retenção dos componentes bioquímicos foi obtida para a temperatura de secagem de 60 °C, com a formulação com 10% de albumina de ovo e 0,5% de metilcelulose, para uma camada da espuma de 1 mm. e que as alterações dos componentes bioquímicos após a secagem desta polpa formulada foram menores que as da polpa sem aditivos, com tempo de secagem de 35 e 75 minutos, respectivamente.

GURJÃO et al. (2008) observaram, desidratando tamarindo pelo método de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, que a secagem ocorreu no período de taxa decrescente e não apresentou período de taxa constante bem definido. Verificou-se uma concentração maior de vitamina C para a temperatura mais elevada (80 °C) e melhora nos atributos, como pH e cor nas temperaturas de 60 e 70 °C.

THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) estudaram o efeito do tempo de batimento e da concentração da albumina de ovo na densidade da espuma da polpa de banana e verificaram que a concentração da albumina de 5% e 10% produziu uma espuma com boas características de estabilidade para o tempo de batimento de 20 minutos.

MARQUES (2009) concluiu, ao desidratar caldo de cana pelo método de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, que quanto maior a temperatura do ar de secagem menor a estabilidade da espuma. No estudo da cinética de secagem foi verificado que não houve período de taxa constante de secagem. Observou-se que houve uma redução média da atividade de água de 63,62% e do teor de água de cerca de 99,23%, características essas que conferiram, ao produto seco, uma boa estabilidade microbiológica e química.

FURTADO et al. (2010) ao desidrataram seriguela nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C pelo método de secagem em camada de espuma, observaram que o teor de ácido ascórbico diminuiu com o processo de secagem, apresentando-se em maior concentração nas temperaturas de 70 e 80 °C, verificou-se, portanto, que a influência da temperatura na cinética de secagem foi mínima, embora a 80 °C tenha atingido o equilíbrio mais rapidamente.

KADAM et al. (2011) ao estudarem a secagem do suco de tomate pelo método de secagem em camada de espuma observaram que o aumento do nível do agente espumante acelerou o processo de secagem e que o nível ótimo da concentração do espumante

(albumina de ovo) foi de 10% para um tempo de batimento de cinco minutos. Valores de sólidos solúveis totais se mantiveram entre 2-2,4 °Brix e o pH variou entre 4,08-4,41.

WILSON et al. (2012) observaram, ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa de manga da variedade Dussehri nas temperaturas de 65, 75 e 85 °C que, usando 3% de clara de ovo como agente de formação de espuma a 65 °C, mantem a qualidade nutricional da manga e que o teor de carotenoides foi maior, no caso de amostras secadas a 65 °C.

KANDASAMI et al. (2012) ao realizarem a secagem em camada de espuma do mamão papaia, concluíram que os níveis ideais de metilcelulose, glicerol monoestearato e clara de ovo são de 0,75%, 3% e 15% , respectivamente, com concentração de polpa de mamão de 9 °Brix e um tempo de batimento de 20 minutos para formação da espuma e. verificaram que o teor de ácido ascórbico, açúcares totais e de carotenoides nessas condições, sofreram redução porém não houve alteração significativa do pH nem da acidez.

FIGUEIREDO et al. (2013) verificaram tempos de secagem de cerca de 210 min a 50 °C, 180 min a 60 °C e 120 min a 70 °C para secarem em camada de espuma uma formulação com uma densidade variando entre 0,4 a 0,5 g/cm³, composta de polpa de mangaba, 5% do emulsificante Emustab® (produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60) e 2,5% do espessante Super Liga Neutra® (produto à base de sacarose e dos espessantes, carboximetil-celulose e goma guar).

DJAENI et al. (2013) ao estudarem a secagem em camada de espuma da carragena com clara de ovo a 15% como agente formador de espuma, verificaram que a 80 °C com o tempo de secagem de 120 min, mais de 95% de teor de água foram removidos; em contrapartida, quando foi realizada a secagem na mesma temperatura mas sem espumante, 120 min foram suficientes para desidratar o produto.

O pó produzido pela secagem resulta em um material com características particulares, diferentes daquelas próprias da polpa líquida; desta forma, precisa ser analisado para estabelecer suas propriedades, que influenciam no valor nutricional, na qualidade, nas várias etapas do processamento, na embalagem e no armazenamento.

2.5 - Atividade de água

A atividade de água é um dos parâmetros mais importantes no estudo dos alimentos, pois está relacionada com a quantidade de água disponível para as reações físicas, químicas e bioquímicas e o crescimento microbiológico (STAUDT et al., 2013); assim, a atividade de água também é diretamente relacionada com a estabilidade e a vida útil de um produto alimentar.

O teor de água, é uma das medidas utilizadas na análise de alimentos e está relacionado com sua estabilidade, qualidade e composição, podendo afetar a estocagem, embalagem e o armazenamento do produto. É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação, sendo o teor de água livre expresso pela atividade de água (a_w) (PARK et al., 2006).

A atividade de água é definida como a relação entre a pressão parcial de vapor d'água no alimento (P) e a pressão parcial de vapor d'água pura (P_0), ambas na mesma temperatura, conforme a Equação 2.1 (RIBEIRO & SERAVALLI, 2007).

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

Como a maioria dos materiais biológicos, a manga possui alto conteúdo de água, em média, 80 a 90%. Por este motivo é interessante conhecer o mecanismo de troca de vapor de água entre um alimento e o ambiente, de vez que possibilita prever as condições de processamento, secagem, armazenamento e a escolha do tipo de embalagem a ser utilizada (SILVA et al., 2002).

A água pode ser o principal fator na decomposição de um produto. Alimentos ricos em água ($a_w > 0,9$) estão mais sujeitos a deterioração por micro-organismos. O processo de secagem do alimento diminui o conteúdo de água disponível reduzindo sua atividade em materiais biológicos, conservando o produto desidratado.

Segundo ORDÓÑEZ (2005) pode-se afirmar que a a_w dos alimentos frescos e processados é um dos parâmetros que determinam sua classificação em perecível ou estável, além da microbiota capaz de proliferar-se neles. Nessas circunstâncias, os alimentos são classificados da seguinte maneira:

- Alimentos com a_w superior a 0,98 (engloba a maior parte dos alimentos frescos) a maioria dos microrganismos pode desenvolver-se rapidamente em temperatura ambiente;
- Alimentos com a_w entre 0,98 e 0,93 (como leite concentrado, carnes curadas, queijos frescos, pão) há inibição do desenvolvimento das bactérias gram negativas, dando lugar às gram positivas;
- Alimentos com a_w entre 0,93 e 0,85 (exemplos: alimentos desidratados, queijos maturados) desenvolvem cocos gram positivos, mofos e leveduras;
- Alimentos com a_w entre 0,85 e 0,60 (alimentos com umidade intermediária como nozes, cereais, frutas secas) seguros do ponto de vista sanitário, embora os mofos possam proliferar-se;
- Alimentos com a_w inferior a 0,60 (tais como doces diversos, leite em pó, bolachas) são microbiologicamente estáveis.

Uma maneira de se conhecer o comportamento higroscópico dos produtos alimentícios em pó, é através das isotermas de sorção, isto é, a representação gráfica do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água. Como aplicações das isotermas pode-se citar o projeto de secadores, a predição das condições finais de misturas de diversos ingredientes em alimentos formulados, projeto de embalagens e simulação de alterações do teor de água que ocorrem durante a estocagem, determinação de vida de prateleira e simulação de alterações de teor de água durante a estocagem (IGUEDJTAL et al., 2008).

2.5.1 – Isotermas de adsorção de água

As isotermas são curvas que representam a relação entre o teor de água de equilíbrio e a atividade de água (a_w) de um produto a temperatura constante. O conhecimento dessas curvas é de grande utilidade na escolha do processo de secagem, ao tipo de embalagem e para análise da estabilidade durante o armazenamento e transporte.

Para se construir a isoterma é necessário um ambiente com umidade relativa controlada. O método de controle mais comum é utilizar dessecadores com compostos químicos, tais como soluções aquosas de ácido sulfúrico e soluções de sais. Cada solução apresenta grau de ajuste de umidade relativa que pode ser feito variando-se a concentração das soluções a diferentes temperaturas (PARK, 2001).

O método no qual se empregam soluções salinas, é trabalhoso e demorado, além de precisar ser repetido para cada alimento estudado, e para um mesmo alimento quando houver qualquer alteração em sua composição. Nas umidades relativas mais altas existe o risco de desenvolvimento microbiano, o que pode deteriorar o alimento e alterar sua atividade de água. As vantagens do método são o baixo custo, a simplicidade instrumental e a reprodutibilidade dos resultados (DITCHFIELD, 2000). Para obtenção de resultados mais rápidos e precisos pode-se empregar o método dinâmico com o uso de equipamentos para determinação da atividade de água, como os higrômetros.

A isoterma é denominada de adsorção quando a amostra ganha umidade do ambiente e é denominada de dessorção quando a amostra perde umidade para o ambiente. As informações acerca do teor de água de equilíbrio são muito importantes no processamento e no armazenamento de alimentos.

As isotermas de equilíbrio higroscópico constituem importante informação quando se produz uma fruta em pó, visto que irão estabelecer se o produto sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar, tende a adsorver ou dessorver água.

Essas curvas podem ser classificadas de acordo com seus formatos, que podem ser de cinco tipos gerais, representados na Figura 2.2. No caso de alimentos as isotermas de maior interesse são as do tipo II e III (BRUNAUER et al., 1938) que também segundo MEDEIROS et al. (2006) são as formas de isotermas mais comuns em alimentos; GABAS et al. (2007) também observaram este comportamento em seu estudo.

Para prever o comportamento das isotermas foram propostos vários modelos de ajuste de isotermas de sorção que se encontram na literatura. A escolha do modelo mais apropriado geralmente é baseada no grau de ajuste dos dados experimentais e no significado físico do modelo. Modelos como o de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), Oswin e Peleg, são bastante utilizados na representação de produtos alimentícios.

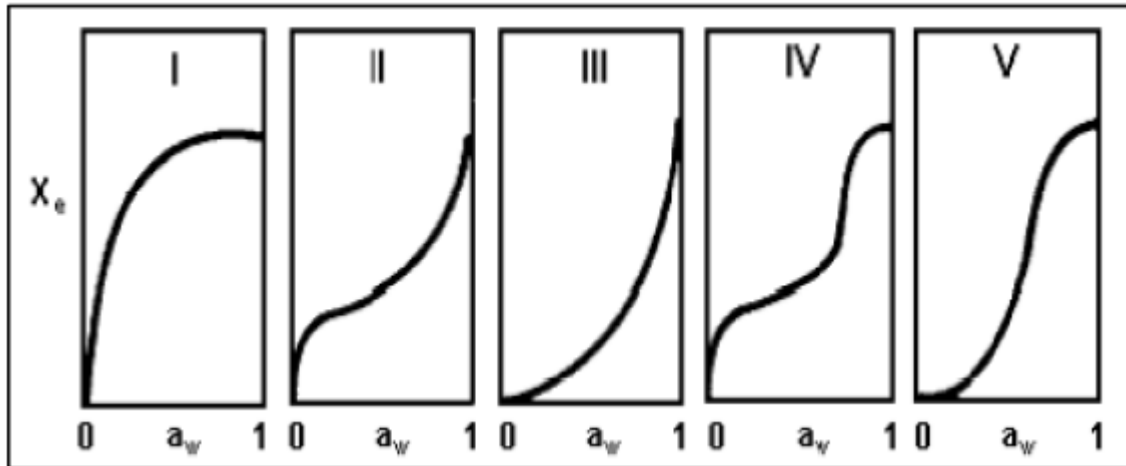


Figura 2.2 – Tipos de isothermas de sorção (Fonte: BRUNAUER et al., 1938)

Para prever o comportamento das isothermas, foram propostos vários modelos de ajuste de isothermas de sorção que se encontram na literatura. A escolha do modelo mais apropriado geralmente é baseada no grau de ajuste dos dados experimentais e no significado físico do modelo. Modelos como o de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), Oswin e Peleg são bastante utilizados na representação de produtos alimentícios.

2.6 – Densidade

No processo de secagem em camada de espuma a densidade da espuma é um dos principais parâmetros que deve ser avaliado em razão desta propriedade estar relacionada com a formação de uma espuma estável.

A temperatura é o fator de maior influência na determinação da densidade (CECCHI, 2003). Sendo que esta pode ser determinada por vários aparelhos, como picnômetros e os densímetros convencionais e digitais.

Diversos autores avaliaram a influência da temperatura sobre a densidade de polpas de frutas: polpa de cajá (MATA et al., 2005); polpa de melancia (GUEDES et al., 2010); polpa de cupuaçu (VIANA, 2010); polpa de jaca e umbu (SOUZA, 2008); polpa de jenipapo (SILVA, 2008); leite de coco (TANSAKUL & CHAISAWANG, 2006) e com as polpas de cajá, acerola e umbu (MEDEIROS et al., 2006). Em todos os casos os dados experimentais indicam que a densidade das polpas diminui com o aumento da temperatura.

SOUZA et al. (2009) estudaram a influência das condições de secagem por atomização sobre as propriedades físicas da polpa de tomate desidratada e verificaram não

apenas que a densidade foi afetada significativamente pela velocidade de atomização mas também que a elevação da velocidade de atomização tende a diminuir a densidade de massa do produto.

2.7 – Solubilidade

Segundo PEÑA (2003), quando um pó é “despejado” sobre a superfície de um líquido, as etapas que ocorrem são: molhabilidade (*wettability*), que consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó devido à capilaridade; imersibilidade (*sinkability*), que é a imersão das partículas ou de porções do pó no líquido; dispersibilidade, ou seja, a dispersão do pó no líquido; e a solubilidade, que é a dissolução das partículas pelo líquido desde que sejam solúveis.

Um dos maiores problemas na secagem de sucos de frutas é a alta higroscopicidade do produto produzido que causa aglomeração do pó, aumento na solubilidade dos açúcares em altas temperaturas e alta pegajosidade (ADHIKARI et al., 2004).

A solubilidade do pó está associada ao teor de água e às condições operacionais do secador, aumentando com a diminuição do teor de água (PAPADAKIS et al., 1998; GOULA & ADAMOPOULOS, 2005).

2.8 – Análise instrumental da cor

O consumo de um alimento, conhecido ou não, depende em primeira instância, da sua cor e do seu aspecto, haja vista que quando um consumidor entra em contato com o alimento, a cor e a aparência são as duas primeiras sensações que o atingem, e é o que o levará à aceitação, indiferença ou rejeição (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

Muitos pigmentos naturais são destruídos durante o processamento e armazenamento, pela alteração do pH ou oxidações de compostos. Desta forma, os alimentos processados perdem sua cor característica e também o valor comercial. O escurecimento não enzimático é um fator significativo na alteração da cor dos alimentos (FELLOWS, 2006).

Com o objetivo de obter a caracterização objetiva da cor, a CIE (*Commission internationale de l'Eclairage*), estabeleceu, em 1976, o sistema CIE Lab (L^* , a^* , b^*) em que uma cor, tem em particular, uma única localização especificada numericamente em espaço tridimensional esférico definido por três eixos perpendiculares: o eixo L^*

(luminosidade) varia do preto (0) ao branco (100); o eixo a* do verde (-a) ao vermelho (+a) e o eixo b*, do azul (-b) ao amarelo (+b) (MCGUIRE, 1992).

Técnicas instrumentais utilizando espectrofotômetros têm sido aplicadas para obter uma avaliação objetiva da cor, através dos Sistemas de cores (Munsell, Hunter, CIE, CIELAB). Os espectrofotômetros ou colorímetros usam faixas espectrais dirigidas à amostra enquanto a luz refletida da amostra é medida por meio de células fotoelétricas, que transformam energia brilhante em energia elétrica. A curva espectrofotométrica caracteriza a cor do produto para a qual são exigidos cálculos visando à determinação dos parâmetros de cor.

A colorimetria tem sido utilizada para caracterizar a cor de diferentes pigmentos, a exemplo das antocianinas (SILVA, 2010), clorofila (MALHEIROS, 2007) e carotenóides (MELENDEZ–MARTINEZ et al., 2003) e para avaliar a cor de alimentos.

2.9 – Cinética de degradação do ácido ascórbico

As alterações que um alimento sofre durante o processo de secagem e armazenamento podem ser significativas afetando sabor, cor, aroma e valor nutricional provocando, assim, a degradação ou perda de qualidade do produto (AZEREDO et al., 2004).

Em se tratando de alimentos, a maioria das reações responsáveis pela perda da qualidade obedece às leis de cinéticas bem estabelecidas, geralmente sendo de zero ou primeira ordem (LABUZA, 1982; MOURA et al., 2001; TORALLES et al., 2008; VIKRAM et al., 2005). Exemplos de reações de ordem zero são: escurecimento enzimático em frutas, hortaliças e alimentos congelados, oxidação de lipídeos em alimentos desidratados e congelados e escurecimento não-enzimático em cereais e produtos desidratados (TEIXEIRA NETO et al., 2004; LOPES, 2005).

Em uma reação de ordem zero a redução de um atributo com o tempo ocorre a uma taxa constante (TAOUKIS & LABUZA, 1996). Para reações de primeira ordem a taxa de perda de qualidade é diretamente relacionada com o tempo, a qualidade se reduz gradativamente e a taxa de perda de qualidade cai (AZEREDO et al., 2004).

Nas reações que seguem o modelo cinético de primeira ordem e cuja velocidade depende da concentração do reagente, a taxa de perda da qualidade do alimento diminui de

forma exponencial durante o período de armazenamento (PALAZÓN et al., 2009; LABUZA, 1982).

Em trabalho realizado com mangas cv. Tommy Atkins embaladas em filmes de PVC e armazenadas sob refrigeração, YAMASHITA et al. (2001) observaram um perfil sugestivo de uma reação de primeira ordem para a degradação de vitamina C, tanto para as mangas embaladas como para as não embaladas, sendo que os frutos embalados apresentaram taxa de degradação em torno de 1,25 vez maior que os não embalados.

TELIS-ROMERO et al. (2003) estudaram a degradação do ácido ascórbico em ameixas desidratadas, mantidas a diferentes temperaturas e também verificaram que o modelo cinético de primeira ordem se ajustou bem aos dados experimentais; além disto, a utilização de temperatura mais baixa promoveu menor taxa de degradação da vitamina C.

VIKRAM et al. (2005) estudaram a degradação de vitamina C e dos parâmetros de cor em suco de laranja aquecido por diferentes métodos (ôhmico, infravermelho, microondas e convencional) e verificaram, para todos os métodos utilizados, que a degradação do ácido ascórbico ocorreu por um mecanismo de primeira ordem.

TORALLES et al. (2008) estudaram a degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego com diferentes concentrações (12, 22 e 32 °Brix), em temperaturas compreendidas entre 70 e 90 °C e constataram que tanto o modelo de primeira ordem quanto o de ordem zero, foram adequados para descrever a degradação; por outro lado, OZKAN et al. (2004) verificaram que o modelo de ordem zero se ajustou melhor do que o de primeira ordem para degradação do ácido ascórbico em suco de laranja e néctar de cereja, durante o armazenamento.

A conservação da qualidade da manga e de seus derivados, tais como a polpa e o suco, está diretamente relacionada com a manutenção do seu valor nutritivo, principalmente a retenção de vitamina C e carotenoides, tal como também, na manutenção das suas características sensoriais como cor, sabor e aroma (CHIUMARELLI, 2008). Por exemplo, a degradação oxidativa da vitamina C conduz à formação de pigmentos escuros, alterando a cor e o sabor natural dos produtos podendo ocasionar a inaceitabilidade sensorial dos mesmos (VÁSQUEZ-CAICEDO et al., 2007).

A temperatura é o fator que mais influencia a velocidade das reações químicas; assim, quantificar seu efeito sobre a velocidade de deterioração nos alimentos é de

fundamental importância, pois possibilita entender como a vida-de-prateleira de um produto será alterada em função da temperatura de armazenamento.

O efeito térmico sobre a maioria das reações de importância na tecnologia de alimentos é muito bem explicado pelo modelo de Arrhenius (LABUZA, 1980)

O conhecimento dos mecanismos cinéticos das principais reações de deterioração que conduzem à perda de qualidade e ao fim da vida de prateleira do produto é de fundamental importância, de vez que se pode, com isto, gerenciar melhor a distribuição do produto e informar, de forma mais adequada, suas condições de armazenamento aos consumidores (MOURA et al., 2007).

O efeito da temperatura sobre a velocidade das reações pode ser quantificado pela determinação do fator de aceleração da temperatura, também conhecido como Q_{10} (LABUZA, 1985; TEIXEIRA NETO et al., 2004).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Local de realização dos experimentos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2 – Matéria-prima e aditivos

Utilizaram-se como matéria-prima, mangas da variedade Keitt, oriundas do Vale do São Francisco, Petrolina-PE, e os aditivos Super Liga Neutra® e Emustab®, adquiridos no comércio de Campina Grande, PB.

3.3 – Processamento da manga

Os frutos foram colhidos e transportados até o laboratório em caixas de madeira;. os frutos foram selecionados manualmente, de acordo com o estágio de maturação, selecionando-se os frutos maduros e se eliminando os frutos com danos mecânicos;os quais, passaram, em seguida por um processo de lavagem em água corrente para eliminar as sujidades e parte da microbiota presente; logo após foram sanitizados por imersão em uma solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm, durante 10 minutos e posteriormente enxaguados em água corrente para retirada da solução sanitizante.

Após o escorrimento natural da água os frutos foram descascados manualmente com o auxílio de uma faca de aço inoxidável e despulpados em despulpadeira mecânica, de onde se obteve a polpa integral da manga Keitt; a seguir, a polpa foi embalada manualmente em sacos de polietileno de baixa densidade, com capacidade para 1 litro e só então armazenada em freezer, na temperatura de -18 °C para posterior utilização nos experimentos.

3.4 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de manga integral

Os sólidos totais, teor de água, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST - °Brix), relação SST/ATT, açúcares totais, redutores e não redutores, sólidos insolúveis em água, pH e cinzas da polpa de manga integral, foram determinados em triplicata, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

A determinação do ácido ascórbico seguiu a metodologia da AOAC (1997), modificada por BENASSI & ANTUNES (1988); nesta metodologia é usado o ácido oxálico como solução extratora e a titulação da amostra é feita com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio que em solução ácida apresenta cor rosa e em solução alcalina, cor azul. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g da amostra.

A quantificação da pectina seguiu a metodologia descrita em RANGANA (1979); a determinação da fibra bruta seguiu a metodologia da AOAC (1997) e a atividade de água foi determinada a 25 °C utilizando-se o higrômetro Aqualab 3TE da Decagon Devices.

A densidade da polpa de manga foi determinada a 25 °C utilizando-se um picnômetro de 25 mL. O valor da densidade foi obtido pela relação entre a massa da amostra e o volume do picnômetro.

A cor foi determinada por leitura direta na amostra utilizando-se espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus, com sistema de cor Cielab. O instrumento, equipado com iluminante D65/10°, foi calibrado com placa preta e placa branca padrão, conforme instruções do fabricante. Os parâmetros determinados foram: L* que representa a luminosidade, transição do branco (0) para o preto (100); a* que representa a transição da cor verde (-a*) para a cor vermelha (+a*) e b* a transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

3.4.1 – Comportamento reológico

As medidas das viscosidades aparentes, tensões de cisalhamento e taxas de deformação da polpa de manga integral, foram realizadas na temperatura de 25 °C, utilizando-se viscosímetro Brookfield modelo DV-II+ PRO. Na determinação das medidas em triplicata, utilizou-se o *spindle* número 28, em diferentes velocidades de rotação (10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 120; 140; 160; 180 e 200 rpm).

Os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da Potência (Equação 3.1), Mizrahi-Berk (Equação 3.2) e Herschel-Bulkley (Equação 3.3), foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, utilizando-se o programa computacional Statistica versão 5.0, para descrever o comportamento reológico da polpa de manga integral.

Lei da potência

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (3.1)$$

Em que:

τ - tensão de cisalhamento, Pa;

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação, s^{-1} ;

K - índice de consistência, $Pa\ s^n$;

n - índice de comportamento do fluido, adimensional.

Mizrahi-Berk

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M\dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.2)$$

Em que:

τ - tensão de cisalhamento, $Pa^{0,5}$;

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação, s^{-1} ;

K_{OM} - raiz quadrada da tensão inicial, Pa;

K_M - índice de consistência, $Pa\ s^n$;

n_M - índice de comportamento do fluido, adimensional.

Herschel-Bulkley

$$\tau = \tau_{OH} + K_H\dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.3)$$

Em que:

τ - tensão de cisalhamento, Pa;

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação, s^{-1} ;

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial, Pa;

K_H - índice de consistência, $Pa\ s^n$;

n_H - índice de comportamento do fluido, adimensional.

Para determinar qual dos modelos se ajustou melhor aos dados experimentais, os critérios adotados foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculados pela Equação 3.4.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}}|}{X_{\text{exp}}} \quad (3.4)$$

Em que:

P - desvio percentual médio, %;

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente;

X_{teor} - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

3.5 – Preparo e seleção da formulação

Para realizar a secagem em camada de espuma é preciso definir, antes do processo, qual a composição da formulação a ser desidratada. Neste processo foram incorporados a polpa de manga integral os aditivos Emustab[®] e Super Liga Neutra[®] em diferentes concentrações, apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Concentração dos aditivos utilizados nas formulações para obtenção das espumas

Tratamento (n ^o)	Super Liga Neutra (%)	Emustab (%)	Polpa da manga (%)	Aditivos + Polpa da manga (%)
1	0,5	0,5	99	100
2	1,0	1,0	98	100
3	0,5	1,5	98	100
4	1,5	0,5	98	100
5	1,5	1,5	97	100

Os ingredientes (polpa + Emustab + Super Liga Neutra) dos diferentes tratamentos (formulações) foram homogeneizados e submetidos a batimento utilizando-se batedeira doméstica na velocidade máxima, durante diferentes tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min) com o objetivo de formar e selecionar uma espuma (formulação) com características adequadas de densidade, *over-run* (expansão volumétrica) e estabilidade para ser secada pelo processo de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*), que resulta em produtos em pó.

3.5.1 - Densidade das espumas

Foram determinadas, em cada tempo de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min) as densidades das espumas formadas em triplicata, para os diferentes tratamentos colocando-se a amostra em um picnômetro de alumínio de 100 mL e se calculando a densidade pela relação entre a massa da espuma e o volume da amostra.

As densidades das espumas em função do tempo de batimento foram analisadas buscando-se obter uma espuma com densidade próxima a $0,5 \text{ g/cm}^3$, valor recomendado como ideal por BATES (1964) para a secagem em camada de espuma.

3.5.2 - *Over-run*

Com os valores das densidades das espumas para os diferentes tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min) foi determinado o *over-run* (expansão volumétrica) de acordo com a Equação (3.5).

$$\text{Over-run} = \frac{\rho_p - \rho_e}{\rho_e} \cdot 100 \quad (3.5)$$

Em que:

ρ_p - densidade da polpa;

ρ_e - densidade da espuma.

Os dados da densidade e do *over-run* das espumas foram analisados utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2006) em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 (tratamentos) x 6 (tempos de batimento) x 3 repetições. A curva do *over-run* foi traçada em função do tempo de batimento para todos os tratamentos.

Com base nesses resultados, selecionou-se o melhor tempo de batimento.

3.5.3 - Estabilidade das espumas

Após ter sido selecionado o tempo de batimento de 20 minutos, foi feita a análise da estabilidade das espumas de todos os tratamentos para esse tempo de batimento fixo; utilizou-se para tal a metodologia desenvolvida por KARIN & CHEE-WAI (1999); em seguida montou-se um conjunto constituído de uma proveta de 25 mL com um funil de

vidro contendo um filtro de nylon; no funil com o filtro foram colocados cerca de 15 g da espuma a ser analisada e o conjunto foi levado para estufa com circulação de ar a 70 °C, durante 90 minutos; após 5 minutos na estufa o conjunto foi observado para verificar se havia volume do líquido drenado para proveta; passados os 5 minutos iniciais a observação foi feita em intervalos de tempo de 10 minutos até completar 90 min sendo a estabilidade da espuma inversamente proporcional à quantidade de líquido drenado.

Os critérios adotados para seleção da formulação (tratamento) foram: densidade, concentração dos aditivos, tempo de batimento, *over-run* e a estabilidade da espuma.

3.6 - Características químicas, físicas e físico-químicas da formulação selecionada

Foram determinados os seguintes parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da espuma selecionada (Tratamento 2): sólidos totais, teor de água, sólidos solúveis totais (°Brix), pH, acidez total titulável, açúcares totais, redutores e não redutores, cinzas, densidade, ácido ascórbico, cor e comportamento reológico, de acordo com as metodologias citadas no item 3.4.

3.7 - Secagem em camada de espuma

A espuma selecionada como a melhor formulação (Tratamento 2), que foi a produzida com polpa de manga com adição de Emustab (1%) e Super Liga Neutra (1%) batida por 20 min em batedeira doméstica na velocidade máxima (750 rpm), foi desidratada pelo método de secagem em camada de espuma. O processo para desidratação consistiu em: produzir a espuma; espalhar a espuma em bandejas de aço inoxidável formando uma camada de espuma com diferentes espessuras (0,5; 1,0 e 1,5 cm), medidas com o auxílio de um paquímetro; levar as bandejas para secagem em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e em seguida o produto seco foi retirado das bandejas e triturado em processador doméstico obtendo-se, daí, o produto em pó.

3.7.1 – Cinética de secagem

Durante o processo de secagem em camada de espuma fez-se o acompanhamento da cinética de secagem pesando-se as bandejas em intervalos regulares até peso constante e, com os dados da secagem, foram determinados os valores da razão do teor de água (Equação 3.6)

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.6)$$

Em que:

RX – razão do teor de água, adimensional;

X - teor de água, base seca;

X_e - teor de água de equilíbrio, base seca;

X_0 - teor de água inicial, base seca

Os modelos semiteóricos de Henderson & Pabis (Equação 3.7), Henderson (Equação 3.8), Logarítmico (Equação 3.9), Page (Equação 3.10) e Exponencial de dois termos (3.11) foram ajustados às curvas de cinética de secagem.

Henderson e Pabis

$$RX = a \cdot \exp(-kt) \quad (3.7)$$

Em que:

RX – razão do teor de água, adimensional;

a - constante empírica do modelo;

k - coeficiente empírico do modelo;

t – tempo

Henderson

$$RX = a \cdot \exp(-bt) + c \cdot \exp(-dt) \quad (3.8)$$

Em que:

RX - razão do teor de água, adimensional;

a, b, c, d - constantes do modelo;

t - tempo.

Logarítmico

$$RX = a \cdot \exp(-kt) + c \quad (3.9)$$

Em que:

RX - razão do teor de água, adimensional;

a e c - constantes do modelo;

t - tempo.

Page

$$RX = \exp(-kt^n) \quad (3.10)$$

Em que:

RX - razão do teor de água, adimensional;

n - constante empírica do modelo;

k - coeficiente empírico do modelo;

t – tempo

Exponencial de dois termos

$$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat) \quad (3.11)$$

Em que:

RX - razão do teor de água, adimensional;

a - constante do modelo;

k - coeficiente do modelo;

t - tempo.

Para avaliar qual modelo produziu o melhor ajuste foram utilizados como parâmetros, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (Equação 3.12):

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (3.12)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

RX_{pred} – razão do teor de água predito pelo modelo;

RX_{exp} – razão do teor de água experimental;

n - número de observações

3.8 - Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó

Foram determinados, em triplicata, os seguintes parâmetros quanto às características químicas, físicas e físico-químicas das amostras em pó (Tratamento 2 -

polpa de manga + 1% de Emustab + 1% de Super Liga Neutra): teor de água, pH, sólidos solúveis totais (°Brix), ácido ascórbico, acidez total titulável, açúcares redutores, cor e atividade de água, de acordo com as metodologias citadas no item 3.4; também foram determinados, em triplicata, o rendimento, a solubilidade, a densidade e as isotermas de adsorção de água.

A análise estatística desses dados foi realizada através do programa computacional ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2006), em esquema fatorial 3 (temperaturas de secagem) x 3 (espessuras da camada de espuma) x 3 (repetições), exceto para as isotermas.

3.8.1 - Rendimento

O rendimento do produto em pó foi determinado através da Equação 3.13.

$$\eta_{rend} = \frac{m_{pó}}{m_e} \cdot 100 \quad (3.13)$$

Em que:

η_{rend} – rendimento, %;

$m_{pó}$ - massa do pó, g;

m_e - massa da espuma, g.

3.8.2 - Solubilidade

A solubilidade dos produtos em pó foi determinada segundo a metodologia de SANTOS et al. (2005). Foram pesados 2 g do pó e misturados com 50 mL de água destilada, a temperatura ambiente (25 °C), em um agitador magnético com uma barra magnética; anotou-se o tempo necessário, em minutos, para o material ser dissolvido completamente.

3.8.3 - Densidade

A densidade dos produtos em pó foi determinada, em triplicata, a 25 °C em picnômetro de vidro de 25 mL usando-se hexano como líquido imiscível.

3.8.4 – Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água da manga em pó foram determinadas utilizando-se o método indireto, segundo CAPRISTE & ROTSTEIN (1982); as leituras da atividade

de água da amostra em pó foram feitas utilizando-se o equipamento *Aqualab* modelo 3TE da Decagon Devices.

Foram determinadas as isotermas de adsorção de de água a 25 °C das amostras em pó do Tratamento 2 (polpa de manga + 1% de Emustab + 1% de Super Liga Neutra) secadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm; avaliaram-se também, as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da manga em pó considerada o melhor produto que foi secado a 60 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma.

Os modelos matemáticos de GAB (Equação 3.14), Oswin (Equação 3.15), Peleg (Equação 3.16) e Halsey (Equação 3.17) foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água utilizando-se o programa computacional Statistica 5.0 através de regressão não linear pelo método de estimativa Quase-Newton.

GAB

$$X_e = \frac{X_m CK a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)} \quad (3.14)$$

Em que:

X_e - teor de água de equilíbrio;

a_w - atividade de água;

X_m - teor de água na monocamada molecular;

C e K - parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto.

Oswin

$$X_e = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (3.15)$$

Em que:

X_e - teor de água de equilíbrio;

a_w - atividade de água;

a e b - parâmetros de ajuste do modelo

Peleg

$$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2} \quad (3.16)$$

Em que:

X_e - teor de água de equilíbrio;

k_1 , k_2 , n_1 e n_2 - constantes do modelo;

a_w - atividade de água;

Halsey

$$X_e = \left(\frac{-A}{\ln(a_w)} \right)^B \quad (3.17)$$

Em que:

X_e - teor de água de equilíbrio;

a_w - atividade de água;

A e B - parâmetros de ajuste do modelo

Os critérios empregados na determinação do melhor ajuste dos modelos às isotermas foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P) (Equação 3.4).

3.9 - Armazenamento do produto em pó

A manga em pó obtida pela secagem da espuma do Tratamento 2 (polpa de manga + 1% de Emustab + 1% de Super Liga Neutra) na temperatura de 60 °C e com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, foi selecionada como a melhor condição de secagem. Este produto em pó obtido nessas condições, foi submetido ao armazenamento acelerado sob condições controladas de temperatura (20, 30 e 40 °C) e umidade relativa (55% e 83%).

O produto foi colocado em embalagens laminadas compostas de uma camada de uma camada de PET cristal (polietileno tereftalato cristal) com espessura de 12 µm, uma camada de PET metal (polietileno tereftalato metal) com espessura de 12 µm e uma camada de PEBD (polietileno de baixa densidade cristal) com espessura de 50 µm, com espessura total de aproximadamente 74 µm. As embalagens tinham aproximadamente 8 cm de lado e continham 10 g da amostra em pó; três embalagens contendo as amostras em pó

foram colocadas em recipientes de vidro hermético contendo soluções saturadas de cloreto de potássio (KCl) e brometo de sódio (NaBr), as quais propiciam umidades relativas de aproximadamente 83 e 55%, respectivamente.

Os produtos em pó embalados nas embalagens laminadas e colocados nos recipientes de vidro foram armazenados em câmeras tipo BOD, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e avaliados no início do armazenamento (tempo zero) a cada 10 dias, durante 60 dias fazendo-se o acompanhamento da estabilidade das amostras em pó através da determinação dos parâmetros de qualidade: teor de água, acidez total titulável, pH, atividade de água, ácido ascórbico, cor e solubilidade, de acordo com as metodologias descritas nos itens 3.4 e 3.8.2.

A análise estatística dos dados obtidos experimentalmente ao longo do armazenamento, foi realizada separadamente para cada umidade relativa avaliada usando-se o programa computacional ASSISTAT versão Beta 7.7 (SILVA & AZEVEDO, 2006). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 7 (tempos de armazenamento – 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias) x 3 (temperaturas - 20, 30 e 40 °C) x 3 (repetições).

3.10 – Cinética de degradação do ácido ascórbico

Para a melhor amostra em pó (Tratamento 2 - 60 °C/0,5 cm) foi avaliada a cinética de degradação do teor de ácido ascórbico. Para a determinação desta cinética o produto em pó foi armazenado em potes herméticos contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl) de forma a criar ambiente com umidade relativa média de 83%.; os potes foram colocados em câmaras do tipo BOD nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

O teor de ácido ascórbico foi avaliado diariamente, durante 15 dias, de acordo com o método da AOAC (1997), modificado por BENASSI & ANTUNES (1988).

A maioria das alterações que ocorrem em alimentos segue um padrão de ordem zero ou de primeira ordem. Diante disto, os dados experimentais da cinética de degradação do ácido ascórbico foram ajustados a esses tipos de equações.

A reação de ordem zero segue a Equação 3.20.

$$A = A_0 - k\theta \quad (3.20)$$

Em que:

A – concentração do ácido ascórbico, após um tempo “ θ ”;

A_0 - concentração inicial do ácido ascórbico;

k – constante da velocidade da reação;

θ – tempo.

A reação de primeira ordem é descrita na Equação 3.21.

$$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta \quad (3.21)$$

Em que:

A – concentração do do ácido ascórbico após um tempo “ θ ”;

A_0 - concentração inicial do ácido ascórbico;

k – constante da velocidade da reação;

θ – tempo.

O tempo de meia vida ($\Theta_{(1/2)}$) representa o tempo necessário para que a concentração de um componente diminua pela metade em relação ao seu valor inicial (AZEREDO et al., 2004).

Para a reação de ordem zero e de primeira ordem, os tempos de meia vida foram calculados pelas Equações 3.22 e 3.23, respectivamente.

$$\Theta_{1/2} = \frac{A_0}{2k} \quad (3.22)$$

$$\Theta_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (3.23)$$

Em que:

$\theta_{(1/2)}$ – tempo de meia vida;

k – constante da velocidade da reação;

A_0 - concentração inicial do ácido ascórbico.

3.10.1 - Efeito da temperatura

O efeito da temperatura sobre a constante da velocidade da reação k da degradação do ácido ascórbico foi avaliado utilizando-se a equação de Arrhenius (Equação 3.24)

$$k = A.e^{\left(\frac{-E_A}{RT}\right)} \quad (3.24)$$

Em que:

k – constante da velocidade da reação;

A – fator pré-exponencial;

E_A – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie);

R – constante universal dos gases, $8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$;

T – temperatura absoluta (K).

A dependência da constante da velocidade da reação em relação à temperatura pode ser descrita também pelo fator Q_{10} , Equação 3.25. Este fator é geralmente utilizado nos testes de estabilidade ou armazenamento acelerado (FONTAN et al., 2012).

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (3.25)$$

Em que:

k – constante da velocidade da reação

T – temperatura absoluta (K).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização química, físico-química e física da polpa de manga cv. Keitt integral

Apresentam-se, na Tabela 4.1, os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros químicos, físico-químicos e físicos da polpa de manga integral.

Tabela 4.1 – Valores médios e desvios padrão da caracterização química, físico-química e física da polpa de manga integral

Parâmetro analisado	Média e desvio padrão
Sólidos totais (%)	16,14 ± 0,21
Teor de água (%)	83,86 ± 0,21
Sólidos solúveis totais (°Brix)	14,00 ± 0,00
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,57 ± 0,003
Relação SST/ATT	24,83 ± 0,11
Ph	4,20 ± 0,00
Ácido ascórbico (mg/100 g)	5,63 ± 0,29
Açúcares totais (% glicose)	11,39 ± 0,02
Açúcares redutores (% glicose)	2,60 ± 0,03
Açúcares não redutores (% sacarose)	8,79 ± 0,03
Pectina (% de pectato de cálcio)	0,86 ± 0,02
Sólidos insolúveis em água (%)	1,053 ± 0,01
Cinzas (%)	0,310 ± 0,03
Fibra bruta (%)	0,54 ± 0,03
Atividade de água (25 °C)	0,996 ± 0,001
Densidade (g/cm ³)	1,046 ± 0,002
Luminosidade (L*)	44,20 ± 0,02
Intensidade de vermelho (+a*)	12,23 ± 0,17
Intensidade de amarelo (+b*)	45,64 ± 0,71

A polpa da manga integral apresentou sólidos totais de 16,97% e teor de água de 83,86%. APPIAH et al. (2011) encontraram, ao estudar o efeito do estágio de maturação

sobre a composição, características sensoriais e aceitabilidade da manga Keitt, valores médios semelhantes aos encontrados neste trabalho para o teor de água (83,11%) e para os sólidos totais (16,89%). ALMEIDA et al. (2009) verificaram que a polpa de manga Haden tem teor de sólidos totais (19,09%) superior ao da manga Keitt.

Segundo MAIA et al. (2009) a água é responsável por mais de 70% da composição das frutas, em alguns casos pode corresponder a mais de 90%. ALMEIDA et al. (2009) obtiveram para a polpa de manga Rosa, um teor de água de (80,91%) enquanto que para manga Keitt o valor encontrado foi de 83,86%, valor este que se aproxima do encontrado pelos autores para manga Rosa porém foi inferior ao encontrado para a polpa de manga Tommy Atkins (89,43%) e quando comparado com os valores obtidos por BEZERRA (2009) em estudos com as mangas das variedades Espada (81,93%), Rosa (83,62%) e Tommy Atkins (83,93%), os autores observaram que esses foram semelhantes.

O teor de sólidos solúveis totais da polpa de manga Keitt nesta pesquisa foi de 14,00 °Brix, sendo 4,5% menor que o da manga Keitt (14,63 °Brix), inferior ao da manga Haden (15,3 °Brix) e da manga Tommy Atkins (15,6 °Brix) e superior ao da manga Palmer (12,4 °Brix) verificados por FISCHER et al. (2009).

O resultado encontrado dos sólidos solúveis totais (SST) para a polpa de manga integral estava dentro da faixa estabelecida pelos padrões de identidade e qualidade para polpa de manga, que é de no mínimo 11 °Brix (BRASIL, 2000). O valor médio dos sólidos solúveis totais foi acima de 10 °Brix, que é o valor indicado para o ponto de colheita para as mangas das variedades Keitt, Tommy Atkins, Palmer e Haden (ASSIS, 2004).

A acidez total titulável (ATT) da polpa de manga foi de 0,57% de ácido cítrico, um pouco superior ao encontrado por BENEVIDES et al. (2008) que foi de 0,51% para polpa de manga Ubá e por BEZERRA (2009) para a manga da variedade espada, que foi de 0,52%. O valor da acidez total titulável encontrado neste trabalho está de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2000) que estabelece um valor mínimo de 0,32% de ácido cítrico para polpa de manga. FISCHER et al. (2009) obtiveram, em estudo com a polpa de manga Keitt, 0,61% de ácido cítrico, valor 7,02% superior ao encontrado neste trabalho enquanto a acidez total avaliada por SOUZA et al. (2009) no estudo da manga Espada foi 0,40% de ácido cítrico, inferior ao valor obtido neste trabalho.

Observa-se que o valor obtido na relação entre os sólidos solúveis totais e a acidez total titulável (SST/ATT) para polpa de manga Keitt, foi de 24,83. BENEVIDES et al.

(2008) obtiveram uma relação de SST/ATT para polpa de manga destinada ao processamento na faixa de 17,5 a 40,0, estando a manga Keitt dentro desta faixa.

Verifica-se que a polpa de manga obteve pH médio de 4,2, próximo ao encontrado por VIDAL et al. (2006) para a polpa de manga Keitt com um valor de 4,47 portanto, muito próximo ao valor encontrado neste trabalho. O pH determinado está em conformidade com a legislação brasileira (BRASIL, 2000) que estabelece um valor máximo de 4,5 para polpa de manga.

Nota-se que o teor médio de ácido ascórbico encontrado para polpa de manga foi de 5,63 mg/100 g, valor este inferior ao encontrado por SILVA et al. (2009) ao estudarem o teor de ácido ascórbico para mangas das variedades Haden, Tommy Atkins e Kent que foram, respectivamente, 12,7, 12,4 e 8,2 mg/100 g. APPIAH et al. (2011) encontraram, em estudo realizado com polpa de manga Keitt teor de ácido ascórbico de 3,47 mg/100 g; observa-se que o teor de ácido ascórbico encontrado aqui foi 62,25% maior. GONÇALVES (1998) encontrou, em estudo realizado com a polpa de manga Sabina, teor de ácido ascórbico de 1,44 mg/100 g, o que representa 290,97% a menos do que o obtido nesta pesquisa. Estas diferenças nos valores podem ser devidas à variedade, ao estágio de maturação e às condições de cultivo e ao processamento, entre outras.

O valor obtido para os açúcares totais de 11,39% de glicose foram próximos aos encontrados por SILVA FILHO (2012), com manga da variedade Haden que foi de 11,19%, e por SILVA et al. (2009) com polpa de manga Tommy Atkins (11,0% de glicose) e manga Espada (10,6% de glicose). Enquanto RAJKUMAR et al. (2007) ao estudarem a polpa de manga da variedade Alphonso, encontram 13,23% de glicose, valor este 16,15% maior que o encontrado para a manga Keitt.

Observa-se que o conteúdo dos açúcares redutores da polpa de manga Keitt foi de 2,6% de glicose, semelhante ao encontrado por LUCENA (2006) em polpa de manga Tommy Atkins, de 2,77% de glicose. MARTIM (2006) obteve 3,22% de glicose para manga da variedade Tommy que foi 23,9% maior que o encontrado nesta pesquisa.

O teor de açúcares não redutores encontrado para polpa da manga Keitt de 8,35% sacarose foi maior que o encontrado por BASTOS et al. (2005) para manga Tommy, quando obtiveram resultado de 5,53% de sacarose e por FARAONI et al. (2009) para a polpa de manga Ubá, quando o resultado de 5,5% sacarose. MARTIM (2006) encontrou,

estudando a polpa de manga Tommy Atkins 7,87% sacarose para os açúcares não redutores.

Verifica-se que o teor encontrado para pectina foi de 0,86% de pectato de cálcio próximo, portanto, ao encontrado por VIDAL et al. (2006) em estudo para polpa da manga Keitt, de 0,98% de pectato de cálcio. LUCENA (2011) ao estudar a polpa de manga Tommy, encontrou 0,64% de pectato de cálcio, valor inferior ao determinado neste estudo.

Os sólidos insolúveis em água da polpa de manga integral foram de 1,05%, sendo muito próximo ao encontrado por VIDAL et al. (2006) em estudo para polpa da manga Keitt, de 1,08% de sólidos insolúveis.

Observa-se que os valores encontrados para as cinzas para a polpa de manga Keitt foram de 0,31% sendo semelhantes ao encontrado por BEZERRA (2009) em polpas de manga Espada (0,35%) e iguais ao da polpa de manga Rosa (0,31%). AZEVEDO (2006), analisando a polpa de manga Tommy obteve 0,36% de cinzas, valor superior 16,13% ao encontrado neste estudo.

A atividade de água determinada para a polpa de manga foi de 0,996 na temperatura de 25 °C, valor este igual ao encontrado por MARTIM (2006). ALMEIDA et al. (2009) ao estudarem a polpa de manga Tommy Atkins e Rosa, encontraram na temperatura de 25 °C, atividade de água de 0,95 e 0,99, respectivamente.

A densidade na temperatura de 25 °C para a polpa de manga Keitt foi de 1,204 g/cm³, valor maior que o obtido por SILVA FILHO (2012) de 1,046 g/cm³ para a polpa da manga Haden.

Um dos atributos de qualidade e preferência do consumidor é a cor; os valores das coordenadas (L*, a* e b*) foram determinados para a polpa de manga; os valores positivos de a* e b*, apresentados na Tabela 4.1 provavelmente são influenciados pelos carotenoides presentes na polpa da manga que sinalizam para a predominância da cor amarela representada por +b* (intensidade de amarelo). A polpa de manga apresentou luminosidade e intensidade de vermelho (+a*) maiores que as encontradas por SILVA FILHO (2012) para a manga cv. Haden, de 40,80 e 49,51, respectivamente, e a intensidade de amarelo (+b*) valor inferior, que foi de (*+b=11,23).

4.2 – Comportamento reológico da polpa da manga cv. Keitt integral

Foram determinados os valores médios das viscosidades aparentes, tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a polpa de manga integral, na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (Tabela A.1 - Apêndice A).

Na Figura 4.1 tem-se o comportamento reológico da polpa de manga integral na qual estão os dados experimentais da viscosidade aparente (mPa.s), obtidos a 25 °C em função da taxa de deformação (s^{-1}). Observa-se comportamento reológico típico de polpas de frutas no qual a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação, comportamento observado por VIDAL et al. (2006) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de manga Keitt.

RIGO et al. (2010) verificaram, ao estudar o comportamento reológico da polpa de butiá, que houve um decréscimo da viscosidade aparente com a taxa de deformação, sendo este comportamento característico de fluidos pseudoplásticos. Quanto menor a viscosidade aparente, menor a perda de carga durante o escoamento e conseqüentemente, menores custos com energia.

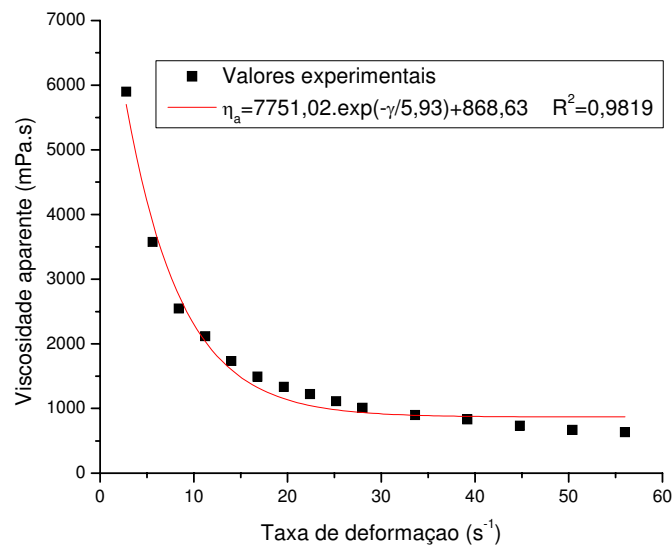


Figura 4.1 - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de manga Keitt integral, em função da taxa de deformação (s^{-1}), a 25 °C

São apresentados, na Tabela 4.2, os valores dos parâmetros reológicos para os modelos da Lei da Potência, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk, ajustados à curva de tensão

de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de manga integral na temperatura de 25 °C, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Nota-se que, para todos os modelos estudados, os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,993 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 2% podendo-se utilizar qualquer um dos modelos para representar o comportamento reológico da polpa de manga integral com boa precisão porém dentre os modelos avaliados o que se ajustou melhor aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, em razão de ter apresentado o menor desvio percentual médio (P) e o R^2 de 0,995.

Tabela 4.2 - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da polpa de manga integral

Modelo	Parâmetro			R^2	P (%)
Ostwald-de-Waelle (Lei da potência)	K	N		0,994	1,71
	12,6864	0,2502			
Herschel-Bulkley	τ_{0H}	K_H	n_H	0,995	1,67
	8,0722	6,1836	0,3664		
Mizrahi-Berk	K_{OM}	K_M	n_M	0,995	0,81
	2,2192	1,9117	0,2223		

VIDAL et al. (2000) encontraram, para o modelo de Mizrahi-Berk $R^2 = 0,99$, ao trabalhar com polpa de manga cv. Keitt nas temperaturas de 20, 30, 40, 50 e 60 °C. OLIVEIRA et al. (2011) verificaram que o modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) pode representar o comportamento reológico da polpa de gabirola em diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35 °C) com $R^2 > 0,99$. SATO et al. (2007) obtiveram, estudando o comportamento reológico da polpa de jaboticaba em diferentes temperaturas (5, 25, 45, 65 e 85 °C), que o modelo de Herschel-Bulkley foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais com R^2 iguais a 0,99.

LEWIS (1990) classifica os fluidos de acordo com o valor do parâmetro **n**. Para valores de $n < 1$, a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação

caracterizando o fluido como pseudoplástico; para $n > 1$, é caracterizado como fluido dilatante e para $n = 1$ o fluido é classificado newtoniano. Observando os valores encontrados para o índice de comportamento do fluido (n , n_H e n_M), todos foram menores que 1, assim a polpa de manga Keitt foi classificada como um fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico. Este comportamento também foi observado por SILVA et al. (2012) para as polpas de acerola, caju e manga em diferentes temperaturas (8, 15, 25, 35 e 45 °C); por GUEDES et al. (2010) ao estudarem as propriedades físicas da polpa de melancia nas temperaturas de 10 a 60 °C e por VIDAL et al. (2006) ao estudarem as propriedades reológicas da manga Keitt centrifugada na faixa de temperatura de 10 a 60 °C.

Na Figura A.1 (Apêndice A) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de manga Keitt integral com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da potência) e Herschel-Bulkley e na Figura 4.2 com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o melhor modelo dentre os testados.

FERNANDES et al. (2008) também observaram que o modelo de Mizrahi-Berk mostrou-se o mais adequado para descrever o comportamento reológico da polpa de umbu- cajá, com $R^2 > 0,91$ e desvios percentuais médios (P) inferiores a 3%. Observa-se, pela curva da Figura 4.2, que a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é constante, confirmando que se trata de um fluido não-newtoniano, fato também verificado por OLIVEIRA et al. (2011) ao estudarem o comportamento reológico das polpas de goiaba e gabioba, nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35 °C.

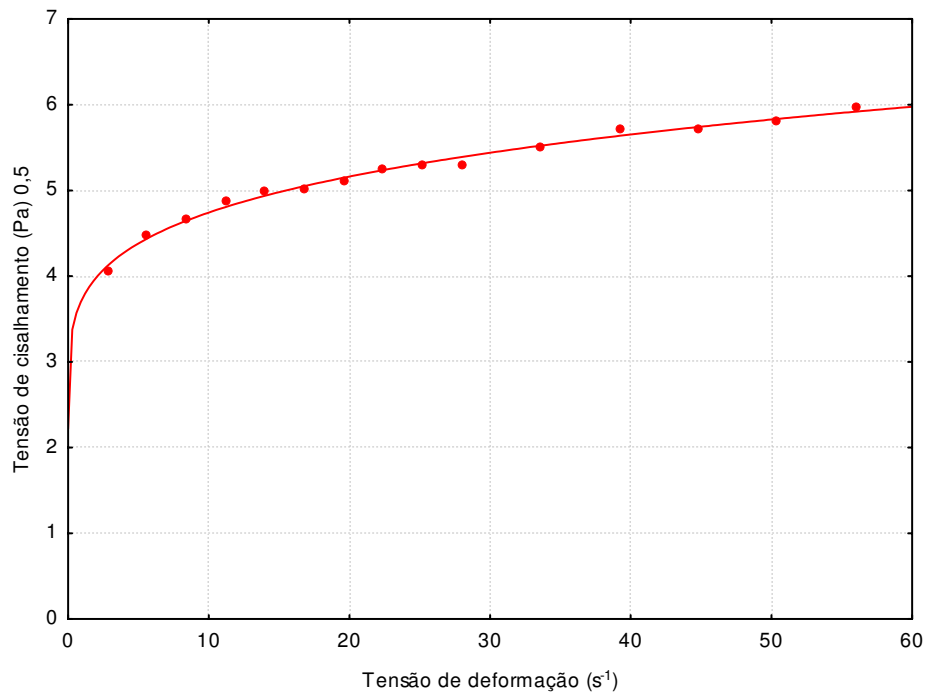


Figura 4.2 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de manga Keitt integral com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.3 - Seleção para a secagem em camada de espuma

Foram utilizados, como critérios para seleção da formulação, a densidade, o *over-run* e a estabilidade da espuma.

4.3.1 - Densidade da espuma

Os valores das densidades das espumas para as formulações estudadas em função das concentrações dos aditivos Emustab e Super Liga Neutra e dos tempos de batimento, foram submetidos à análise da variância observando-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para os fatores avaliados tempo de batimento e concentração de aditivo e para a interação entre os mesmos.

São apresentados, na Tabela 4.3, os valores médios da densidade das espumas (g/cm^3) das diferentes formulações em função dos tempos de batimento. Verifica-se que as densidades das espumas das diferentes formulações diminuíram significativamente com o aumento do tempo de batimento, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4.3 - Valores médios das densidades das espumas (g/cm^3) para as diferentes formulações em função dos tempos de batimento

Tempo (min)	Formulações				
	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	Trat. 4	Trat. 5
5	0,9811 aA	0,7350 aC	0,6957 aD	0,8427 aB	0,6303eA
10	0,9527 bA	0,6533 bD	0,6777 bC	0,8327 bB	0,5277 eB
15	0,9280 cA	0,6297 cD	0,6607 cC	0,8193 cB	0,4827 eC
20	0,8837 dA	0,5170 dD	0,6337 dC	0,8137 dB	0,4253 eD
25	0,8710 eA	0,4853 eD	0,6297 eC	0,8037 eB	0,4093 eE
30	0,8323 fA	0,4723 fD	0,6097 fC	0,7823 fB	0,3817 fE

DMS para colunas = 0,0034; DMS para linhas = 0,0033; MG = 0,6867; CV = 0,21% DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação.

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SANKAT & CASTAIGNE (2004) ao estudarem banana com adição de proteína de soja isolada, obtiveram também uma redução na densidade com o aumento do tempo de batimento; contrariamente, MELO (2008) observou avaliando a polpa do fruto do mandacaru com adição de diferentes concentrações de extrato de soja, que com o aumento do tempo de batimento ocorreu aumento da densidade. Tais observações demonstram que a influência do tempo de batimento sobre a densidade das espumas pode estar relacionada com os tipos de ativos utilizados, suas concentrações e as características do produto em estudo (CAMPELO, 2009).

FIGUEIRÊDO et al. (2013) encontraram, para polpa de manga com 5% de Emustab e 2,5% de Super Liga Neutra, uma densidade variando entre 0,4 a 0,5 g/cm^3 . SILVA et al. (2008) constataram, para a polpa de tamarindo com 7,5% de Emustab, uma densidade variando entre 0,4 a 0,5 g/cm^3 .

Analisando todas as formulações estudadas pode-se verificar que todas as densidades diferiram estícticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, em todos os tempos de batimento.

Quando comparado o Tratamento 1 (1% de aditivos) com o Tratamento 5 (3% de aditivos) verifica-se que quanto maior a concentração dos aditivos menor a densidade das espumas para o mesmo tempo de batimento significando que a concentração dos aditivos utilizados influencia na redução da densidade e promove a formação da espuma.

Verifica-se que a menor densidade da espuma foi de $0,3817 \text{ g/cm}^3$, no tempo de 30 minutos de batimento e na maior concentração de aditivos. Segundo VAN ARSDEL et al. (1964) a densidade da espuma deve apresentar valor mínimo de $0,1 \text{ g/cm}^3$ e o máximo compreendido entre $0,5$ e $0,6 \text{ g/cm}^3$; entretanto, de acordo com FERNANDES et al. (2013) baixos valores de densidade podem levar ao colapso da estrutura da espuma e consequentemente, a baixa estabilidade.

Com base nos resultados das densidades encontrados a Formulação com 2% de concentração de aditivos (Tratamento 2 - 1% de Emustab e 1% de Super Liga Neutra) e no tempo de batimento de 20 minutos, foi considerada a ideal para a secagem em camada de espuma com uma densidade média de $0,5170 \text{ g/cm}^3$, sendo o valor mais próximo da densidade de $0,5 \text{ g/cm}^3$ recomendada. Resultados semelhantes foram encontrados por SOARES (2001) que obtiveram espuma de polpa de acerola com densidade de $0,51 \text{ g/cm}^3$ após 20 minutos de batimento; outro fator que justifica a escolha da concentração de aditivos de 2% consistiu no fato do produto final ter suas características iniciais menos afetadas possível em razão da menor quantidade de aditivos; além disto no tempo de 20 minutos de batimento observa-se um gasto menor de tempo e de energia elétrica, reduzindo os custos no processo de produção da espuma da manga.

Segundo CRUZ (2013) uma concentração de emulsificante acima de um valor crítico implica na formação de uma camada interfacial espessa que dificulta a remoção de água na etapa de secagem.

4.3.2 - Over-run

Os valores do *over-run* para as formulações estudadas em função das concentrações dos aditivos Emustab e Super Liga Neutra e dos tempos de batimento, foram submetidos à análise da variância. Observou-se que a variação do tempo de batimento e a concentração dos aditivos e sua interação exerceram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

São apresentados, na Tabela 4.4, os valores médios do *over-run* (%) das diferentes formulações em função dos tempos de batimento.

Tabela 4.4 - Valores médios do *over-run* (%) das diferentes formulações em função das concentrações dos aditivos e dos tempos de batimento

Tempo (min)	Formulações				
	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	Trat. 4	Trat. 5
5	22,72 fE	63,92 fC	72,98 fB	42,81 fD	90,82 fA
10	26,32 eE	84,37 eB	77,57 eC	44,54 eD	128,02 eA
15	27,71 dE	91,42 dB	82,13 dC	47,04 dD	149,26 dA
20	38,18 cE	131,52 cB	89,91 cC	48,09 cD	182,61 cA
25	38,06 bE	147,72 bB	91,42 bC	50,19 bD	194,37 bA
30	44,70 aE	155,07 aB	97,66 aC	54,21 aD	215,17 aA

DMS para colunas = 0,26; DMS para linhas = 0,25; MG = 87,62 ; CV = 0,12% DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação.

Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Comparando os valores do *over-run* entre os Tratamentos nos diferentes tempos de batimento, verifica-se que todas as médias foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos, com os menores valores obtidos no Tratamento 1, em todos os tempos de batimento e os maiores valores no Tratamento 5.

Verifica-se que houve aumento estatisticamente significativo, de acordo com o Teste de Tukey a 5% de probabilidade, do *over-run* com o aumento do tempo de batimento, em todos os tratamentos. Os menores valores de *over-run* após 30 minutos de batimento foram para os Tratamentos 1 e 4 e os maiores valores de *over-run* para os Tratamentos 2, 3 e 5.

Observa-se, na formulação com a maior concentração de aditivos (Tratamento 5 - 3% de aditivos) que houve um aumento no *over-run* na ordem de 136,92% quando o tempo passa de 5 para 30 minutos de batimento; no Tratamento 4 o *over-run* aumentou na ordem de 26,63% quando o tempo de batimento variou de 5 para 30 minutos.

Observa-se que, apesar dos Tratamentos 2, 3 e 4 terem a mesma quantidade de ativos (2%) as médias foram estatisticamente diferentes, significando que o tipo de aditivo e sua concentração influenciam no *over-run*. MARQUES (2009) ao estudar a secagem do caldo de cana em leite de espuma, observou tendência ao aumento do *over-run* com o aumento da concentração de aditivos quando analisou os efeitos dos Tratamento b (0,7% de emulsificante, 1,4% de estabilizante e 0,7% de antiiumectante) e do Tratamento c (0,7% de emulsificante, 2,1% de estabilizante e 1,05% de antiiumectante).

Desta forma e de acordo com os resultados apresentados no trabalho, o melhor tempo de batimento é obtido quando a espuma apresenta menor valor de densidade e maior incorporação de ar. RAJKUMAR et al. (2007) ao avaliarem as características adequadas para secagem em camada de espuma da polpa de manga Alphonso, concluíram de forma semelhante que quando a espuma apresenta a maior expansão volumétrica isso só ocorre no melhor tempo de batimento

Constata-se que o maior valor de *over-run* foi encontrado no tempo de 30 minutos e na maior concentração de aditivos (Tratamento 5).

O comportamento do *over-run* (%) em função do tempo de batimento para as diferentes formulações elaboradas com polpa de manga Keitt, é apresentado na Figura 4.3. em que apenas os Tratamentos 2 e 5 apresentaram *over-run* superiores a 100% e especialmente o Tratamento 2, que tinha menor concentração de aditivos em 20 min de batimento e superou os 100%.

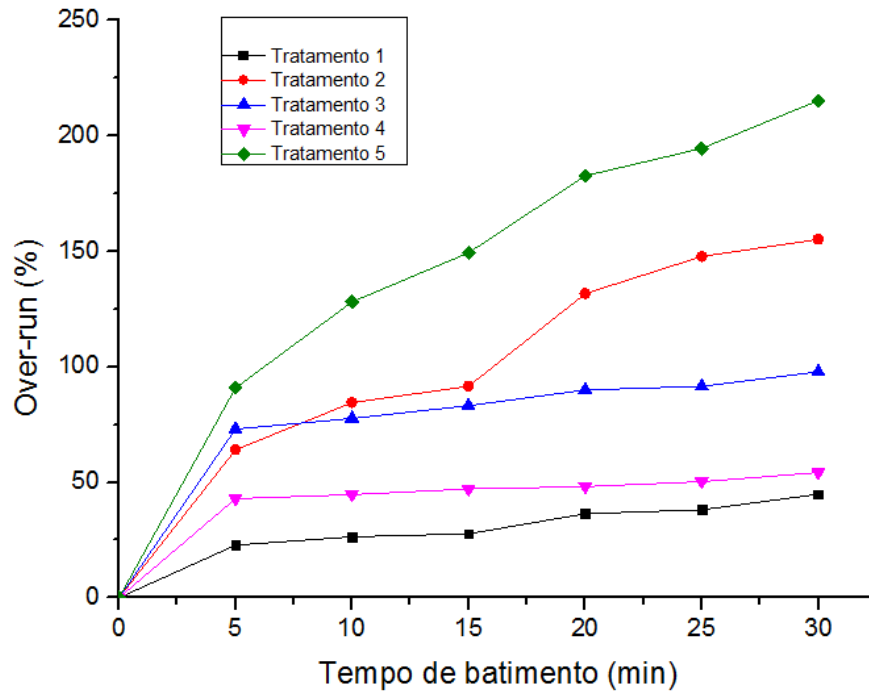


Figura 4.3 - Valores médios do *over-run* (%) dos diferentes tratamentos em função dos tempos de batimento (min)

4.3.3 - Estabilidade da espuma

A partir dos resultados da incorporação de ar à polpa (*over-run*) e das densidades das espumas, selecionou-se o tempo de batimento de 20 minutos como o melhor para avaliar a estabilidade das espumas, em razão de que neste tempo foram verificadas a densidade de $0,5170 \text{ g/cm}^3$ que está de acordo com BATES (1964) e um *over-run* maior que 100%. Segundo THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) os agentes formadores de espuma contribuem para a formação e estabilidade da estrutura de espuma. BASTOS et al. (2005) sugeriram que testes prévios sejam realizados na adição de agentes estabilizantes de espuma visando à obtenção de uma espuma com as características mais adequadas quanto à estabilidade necessária ao processo de secagem.

Visto que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume de líquido coletado, observou-se que todos os tratamentos estudados estão adequados ao processo de secagem no qual o volume de líquido drenado para a proveta foi igual a zero em todos os tratamentos. Assim, a formulação escolhida apresentou densidade de acordo com o que estabelece BATES (1964) cerca de $0,5 \text{ g/cm}^3$, *over-run* superior a 100% e estabilidade adequada ao processo de secagem em camada de espuma. Segundo KARIM &

CHEE-WAI (1999) quanto maior a concentração do estabilizante menor a densidade da espuma e maior o *over-run*.

4.4 - Caracterização química, física e físico-química da espuma selecionada

Apresentam-se, na Tabela 4.5, os valores médios e os desvios padrão da caracterização química, física e físico-química da formulação selecionada para a secagem em camada de espuma (Tratamento 2) com 20 minutos de batimento.

Tabela 4.5 - Caracterização química, física e físico-química da formulação selecionada (Tratamento 2)

Parâmetro	Média ± desvio padrão
Sólidos totais (%)	18,54 ± 0,03
Teor de água (%)	81,23 ± 0,03
Sólidos solúveis totais (°Brix)	16,80 ± 0,00
pH	4,05 ± 0,00
Acidez total titulável (% ac. cítrico)	0,53 ± 0,00
Ácido ascórbico (mg/100 g)	5,62 ± 0,30
Açúcares totais (% glicose)	9,69 ± 0,04
Açúcares redutores (% glicose)	3,84 ± 0,07
Açúcares não redutores (% sacarose)	5,85 ± 0,04
Cinzas (%)	0,29 ± 0,03
Densidade (g/cm ³)	0,5170 ± 0,0000
Luminosidade (L*)	68,21 ± 0,71
Intensidade de vermelho (+a*)	5,25 ± 0,14
Intensidade de amarelo (+b*)	20,96 ± 0,11

Comparando os resultados encontrados da polpa da manga integral na Tabela 4.1 e os resultados encontrados para a formulação do Tratamento 2 na Tabela 4.5, observa-se que todas as características químicas, físicas e físico-químicas avaliadas da polpa de manga, foram alteradas. Ocorreu diminuição para os parâmetros acidez total titulável, açúcares totais e não redutores, densidade e intensidade de vermelho e amarelo para a formulação do Tratamento 2 em relação à polpa integral; já quando se avalia o pH e o

ácido ascórbico este manteve-se constante, já os sólidos solúveis totais, açúcares redutores e luminosidade observa-se aumentos de valores.

SOARES et al. (2009) quando trabalhou com polpa de araçá-boi, verificaram que com o aumento da concentração do Emustab havia aumento do pH e redução na acidez total titulável. Neste trabalho observou uma redução no valor da acidez da ordem de 7,55% para polpa formulada.

PINTO (2009) ao caracterizar a espuma de jenipapo que foi formulada com diferentes aditivos observou também aumento nos açúcares redutores. Para a espuma da manga este aumento dos açúcares redutores foi de 47,69%.

As cinzas diminuíram na polpa formulada cerca de 6,45% quando comparada com a polpa integral, constatando-se que os aditivos incorporados à polpa não contribuíram para o aumento do teor de minerais.

O valor da densidade da espuma apresentou redução significativa devido à incorporação do ar, promovida pelo batimento e presença dos aditivos. Comportamento semelhante foi verificado por KARIM & CHEE-WAI (1999) ao estudarem o purê de carambola com a adição de metilcelulose como agente espumante.

Avaliando a luminosidade (L^*) observa-se que a mesma aumentou 54,32% em relação à polpa integral significando que houve um clareamento da amostra. O clareamento da espuma se deve à cor clara dos aditivos incorporados à polpa de manga. SILVA et al. (2008) observaram comportamento semelhante para as espumas de tamarindo as quais tiveram valor de L^* maior que o da polpa integral de tamarindo.

Os valores da intensidade de vermelho ($+a^*$) e da intensidade de amarelo ($+b^*$) da formulação diminuíram quando comparados com os da polpa integral indicando que os aditivos influenciaram este processo deixando a espuma mais clara e menos amarela. LISBÔA (2010) verificou ao estudar a polpa de figo-da-índia, que a intensidade de vermelho ($+a^*$) diminuiu significativamente com a incorporação dos aditivos (2% de Emustab, 0,5% de Super Liga Neutra e 5% de Extrato de soja).

4.5 – Comportamento reológico da espuma

Tem-se, na Tabela 4.6, os valores dos parâmetros reológicos para os modelos da Lei da Potência, Herschel-Bulkley e Mizzahi-Berk, ajustados aos dados experimentais da curva de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da melhor formulação

(Tratamento 2) na temperatura de 25 °C e seus coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P).

Tabela 4.6 - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da polpa de manga formulada

Modelo	Parâmetro			R^2	P (%)
Ostwald-de-Waelle (Lei da potência)	K	n		0,999	0,59
	23,1901	0,3267			
Herschel-Bulkley	τ_{0H}	K_H	n_H	0,999	0,45
	-7,6069	29,2355	0,2893		
Mizrahi-Berk	K_{OM}	K_M	n_M	1,000	0,00
	-0,00004	1,6475	0,4999		

Nota-se que, todos os modelos estudados, que os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,99 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 1% podendo-se utilizar qualquer um dos modelos para representar o comportamento reológico da espuma de manga com boa precisão porém dentre os modelos avaliados o que se ajustou melhor aos dados experimentais foi de Mizrahi-Berk, já que apresentou o menor desvio percentual médio (P) e o R^2 ter sido igual a um. Segundo FERNANDES et al. (2008) o modelo de Mizrahi-Berk também se mostrou o mais adequado para descrever o comportamento reológico da polpa de umbu-cajá, com $R^2 > 0,91$ e desvios percentuais médios (P) inferiores a 3%. Observando os parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk, verifica-se que o índice de consistência K_M diminuiu quando comparado ao valor encontrado para este parâmetro reológico da polpa de manga integral enquanto o índice de comportamento de fluido n_M também sofreu redução em relação ao determinado para polpa integral, este comportamento está relacionado com a incorporação dos aditivos formadores da espuma que promovem a redução da viscosidade. Verifica-se que todos os valores encontrados para o índice de comportamento do fluido (n , n_H e n_M) foram menores que 1, sendo assim, a formulação foi classificada como um fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico cujo comportamento também foi observado por SILVA et al. (2012) para as polpas de acerola, caju e manga em diferentes temperaturas (8, 15, 25, 35 e 45 °C) e por GUEDES et al.

(2010) ao estudarem as propriedades físicas da polpa de melância nas temperaturas de 10 a 60 °C. FERNANDES et al. (2008) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina, concluíram que as diferentes formulações também apresentaram comportamento pseudoplástico.

Analisando os parâmetros de ajuste de modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), verifica-se um aumento no índice de consistência (**K**) e no índice de comportamento do fluido **n** quando comparados aos valores determinados para polpa de manga integral; este aumento se deve a presença dos aditivos na formulação estudada.

Na Figura A.2 (Apêndice A) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de manga com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da potência) e Herschel-Bulkley.

Na Figura 4.4, observa-se o comportamento reológico da formulação selecionada (Tratamento 2), apresenta-se a tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustada pelo modelo de Mizrahi-Berk, considerado o melhor modelo dentre os estudados. Observa-se que a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não é constante confirmando que se trata de um fluido não-newtoniano, fato também verificado por OLIVEIRA et al. (2011) ao estudarem o comportamento reológico das polpas de goiaba e gabioba, nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35 °C, da mesma forma, FERNANDES (2010) ao avaliar o comportamento reológico da espuma da polpa do umbu-cajá com diferentes concentrações de Emustab, verificou que não há relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação caracterizando, então, as formulações como fluidos não-newtonianos.

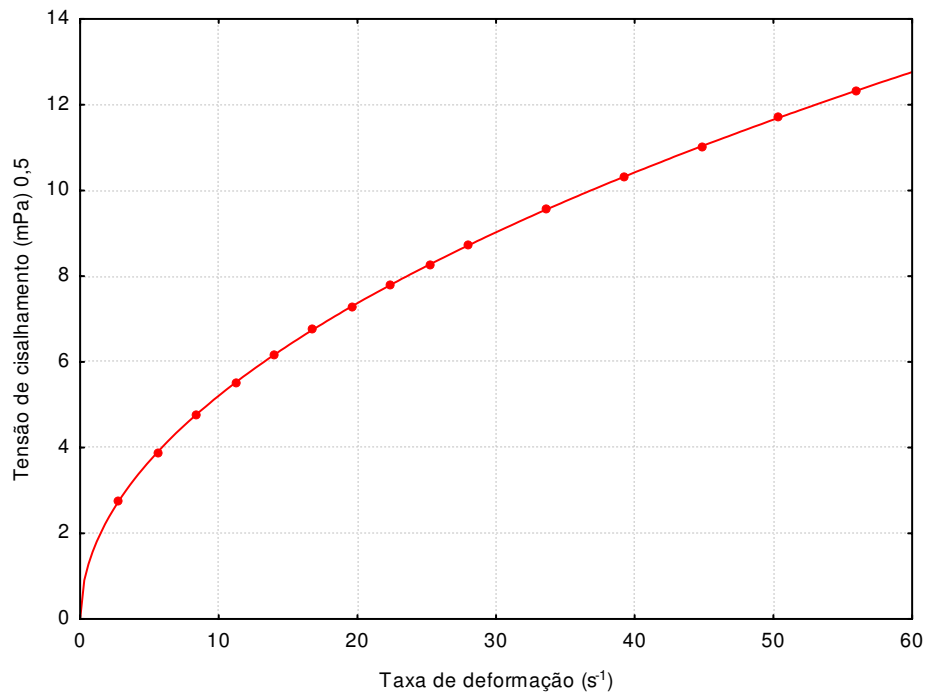


Figura 4.4 – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da formulação selecionada (Tratamento 2) a 25 °C com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.6 – Secagem em camada de espuma

4.6.1 – Influência da temperatura e espessura da camada de espuma

Estão representadas, nas Figuras 4.5 a 4.7, as cinéticas de secagem em camada de espuma da polpa de manga formulada do Tratamento 2 para um tempo de batimento de 20 minutos, espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, verifica-se que a secagem foi mais rápida na menor espessura (0,5 cm) e na temperatura (70 °C).

Os menores tempos de secagem ocorreram na temperatura de 70 °C que foram de 9,0 h, 12 h e 14,20 h, para as espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente; já na temperatura de 60 °C os tempos de secagem foram 11,50 h, 13,83 h e 14,75 h para as espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente e a secagem realizada na temperatura de 50 °C foi a que resultou nos maiores tempos de secagem 13 h, 14 h e 15,50 h para as espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente. Observa-se que as espessuras da camada de espuma, tal como a temperatura, influenciaram no tempo de secagem, este comportamento foi observado por KADAM et al. (2011) ao estudarem a cinética de

secagem do suco de tomate com aditivos (albumina de ovo), nas temperaturas de 60, 65 e 70 °C e espessura da camada de 2,5 mm.

Constata-se que as curvas de secagem foram influenciadas pela temperatura, com a redução gradativa do tempo de secagem com a elevação da temperatura para todas as espessuras estudadas; o mesmo comportamento foi verificado por WILSON et al. (2012) ao estudarem a secagem da polpa de manga em camada de espuma, observando que a temperatura do ar de secagem exerceu efeito significativo sobre o tempo de secagem, o que é evidente a partir do fato de que o tempo de secagem é reduzido com o aumento da temperatura do ar de secagem.

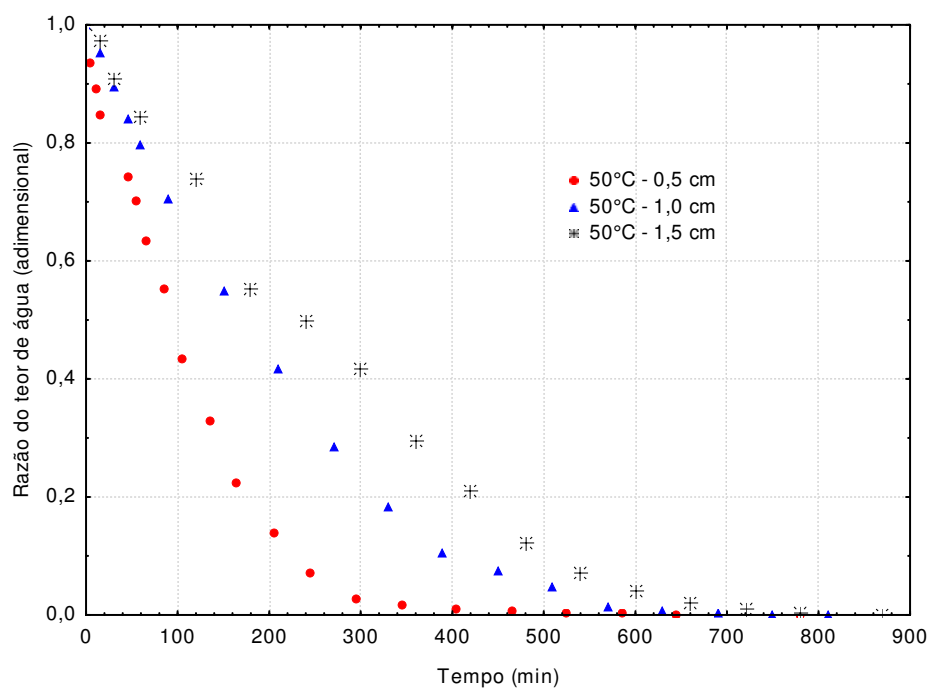


Figura 4.5 – Cinética de secagem da espuma do Tratamento 2 a 50 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma

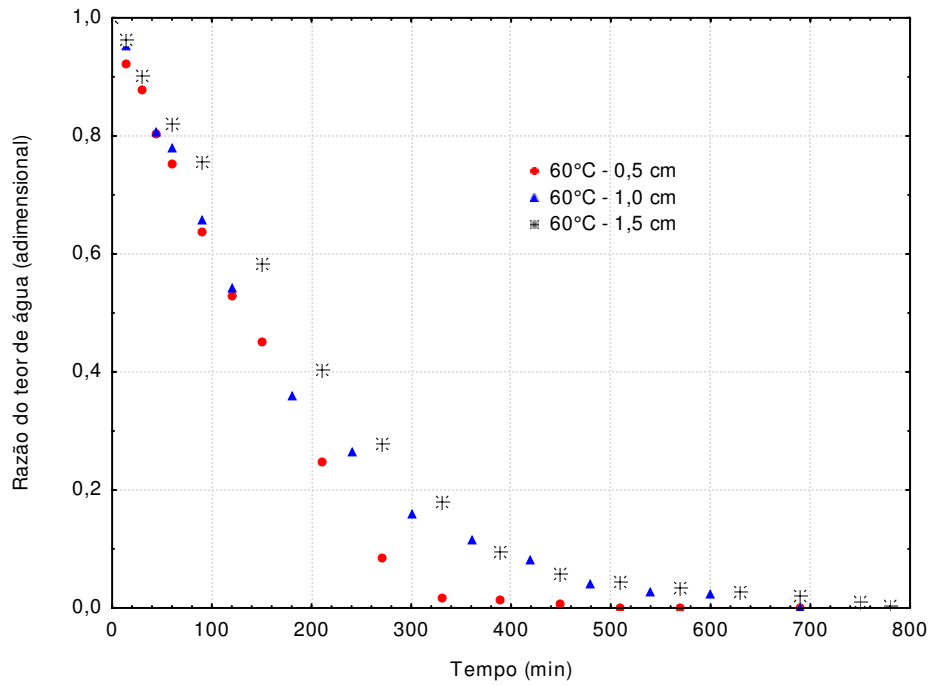


Figura 4.6 – Cinética de secagem da espuma do Tratamento 2 a 60 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma

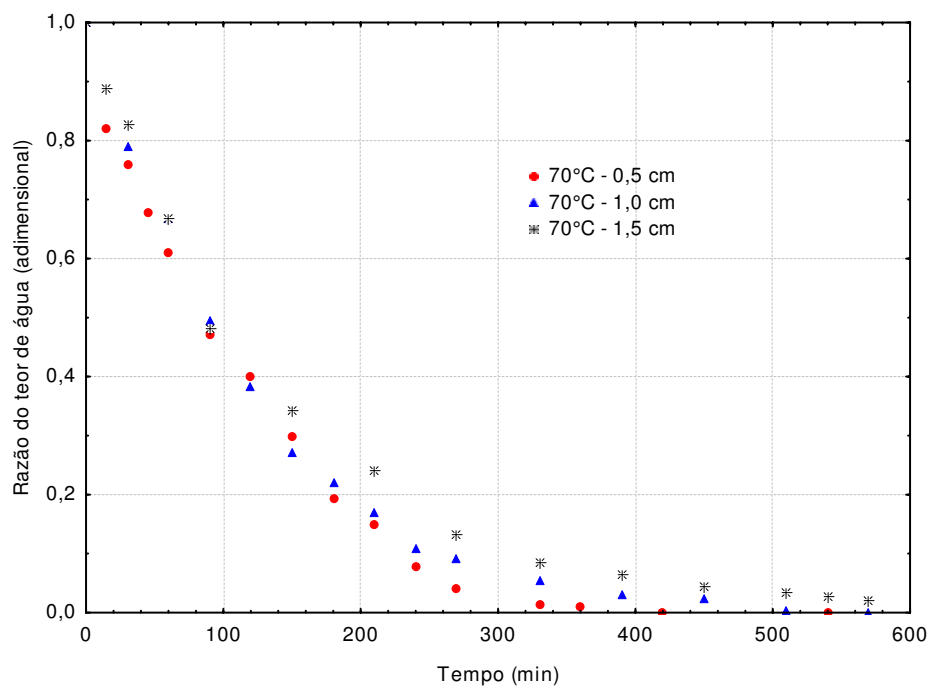


Figura 4.7 – Cinética de secagem da espuma do Tratamento 2 a 70 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma

THUWAPANICHAYANAN et al. (2012) ao avaliarem a cinética de secagem da polpa de banana a 80 °C com diferentes aditivos (albumina de ovo, proteína de soja isolada e concentrado de proteína do soro do leite) com espessura da camada de 2,5 mm, também verificaram a influência da temperatura no processo de secagem. Observa-se que o tempo necessário para retirar a água contida na polpa de manga formulada, utilizando-se a temperatura de 50 °C, foi de aproximadamente 1,44 vez maior que o tempo requerido na temperatura de 70 °C, na espessura da camada de 0,5 cm.

4.6.2 – Modelos matemáticos

Os valores dos parâmetros dos modelos de Henderson & Pabis, Logarítmico, Henderson, Page e Exponencial de dois termos são apresentados nas Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9; esses modelos foram ajustados às curvas de cinética de secagem da formulação elaborada com a polpa de manga (Tratamento 2) desidratada nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, também constam os valores dos coeficientes de determinação R^2 e os desvios quadráticos médios (DQM).

Verifica-se, na Tabela 4.7, que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem da formulação do Tratamento 2, na espessura da camada de espuma de 0,5 cm, em diferentes temperaturas em razão de apresentarem coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,005. ALEXANDRE et al. (2013) ao estudarem a secagem do resíduo de abacaxi enriquecido nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e com velocidades do ar de secagem variando de 0,8 a 1,3 s⁻¹, encontram, para o modelo de Henderson & Pabis, $R^2 > 0,99$ para todas as temperaturas de secagem. MADUREIRA et al. (2011) ao ajustarem o modelo de Henderson & Pabis aos dados da cinética de secagem da polpa do figo-da-índia nas temperaturas de 60 e 70 °C encontraram valores de $R^2 > 0,99$. Observa-se que dentre os modelos testados, o modelo de Page nas temperaturas de 50 e 60 °C, e o modelo Exponencial dois termos na temperatura de 70 °C foram o que resultaram nos melhores ajustes, apresentando os maiores coeficientes de determinação e os menores desvios quadráticos médios. SOUSA et al. (2011) ao estudarem a cinética de secagem da polpa de oiti nas temperaturas e 50, 60 e 70 °C, constatararam que o modelo de Page apresentou altos coeficientes de determinação, todos superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,01.

Tabela 4.7 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), com espessura de camada de espuma de 0,5 cm, em diferentes temperaturas avaliadas

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		a	k				
Henderson & Pabis	50	1,0070	0,0018	0,9948	0,0014		
	60	1,0067	0,0057	0,9989	0,0010		
	70	0,9807	0,0083	0,9979	0,0005		
Temperatura (°C)		a	c	k	R^2	DQM	
Logarítmico	50	1,0319	- 0,0312	0,0077	0,9967	0,0011	
	60	1,0713	- 0,0169	0,0188	0,9981	0,0002	
	70	0,9671	0,0205	0,0214	0,9982	0,0004	
Temperatura (°C)		a	b	C	d	R^2	DQM
Henderson	50	0,503	0,008	0,503	0,008	0,9947	0,0014
	60	0,529	0,025	0,529	0,025	0,9964	0,0010
	70	0,343	0,039	0,666	0,013	0,9992	0,0009
Temperatura (°C)		k	n		R^2	DQM	
Page	50	0,0029	1,2118		0,9973	0,0007	
	60	0,0077	1,3031		0,9996	0,0001	
	70	0,0268	0,9014		0,9988	0,0002	
Temperatura (°C)		a	k		R^2	DQM	
Exponencial dois termos	50	0,3599	0,0221		0,9947	0,0049	
	60	0,0021	0,0113		0,9944	0,0016	
	70	0,0036	0,0362		0,9991	0,0002	

Verifica-se que o parâmetro k (min^{-1}) dos modelos de Henderson & Pabis, Logarítmico e de Page, aumentou com o aumento da temperatura. Segundo CORRÊA et al. (2010) o parâmetro k tende a aumentar já que maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo. Comportamento semelhante foi observado por KAYA et al. (2007) ao estudarem a cinética de secagem da maçã nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

DIÓGENES et al. (2013) ao avaliarem a cinética de secagem de grãos de abóbora verificaram que o parâmetro a do modelo de Page aumentou com a elevação da temperatura de secagem semelhante ao que foi observado neste trabalho. Avaliando a constante n do modelo de Page na temperatura de 60 °C, verifica-se que foi apresentada maior resistência do produto à secagem. Segundo CÔRREA et al. (2007) a constante n do modelo de Page reflete a resistência interna do produto à secagem.

O coeficiente de secagem a do modelo Logarítmico na temperatura de 70 °C apresentou menor resistência ao processo de secagem. A constante c deste modelo é dependente da temperatura, verificando-se que ela aumentou com a elevação da temperatura de secagem; comportamento semelhante foi observado por DIÓGENES et al. (2013) ao aplicarem o modelo Logarítmico para avaliar a cinética de secagem de grãos de abóbora.

Na Figura 4.8 estão traçadas as curvas de cinética de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), desidratada em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C), com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, com ajuste pelo modelo de Page considerado um dos melhores dentre os aplicados.

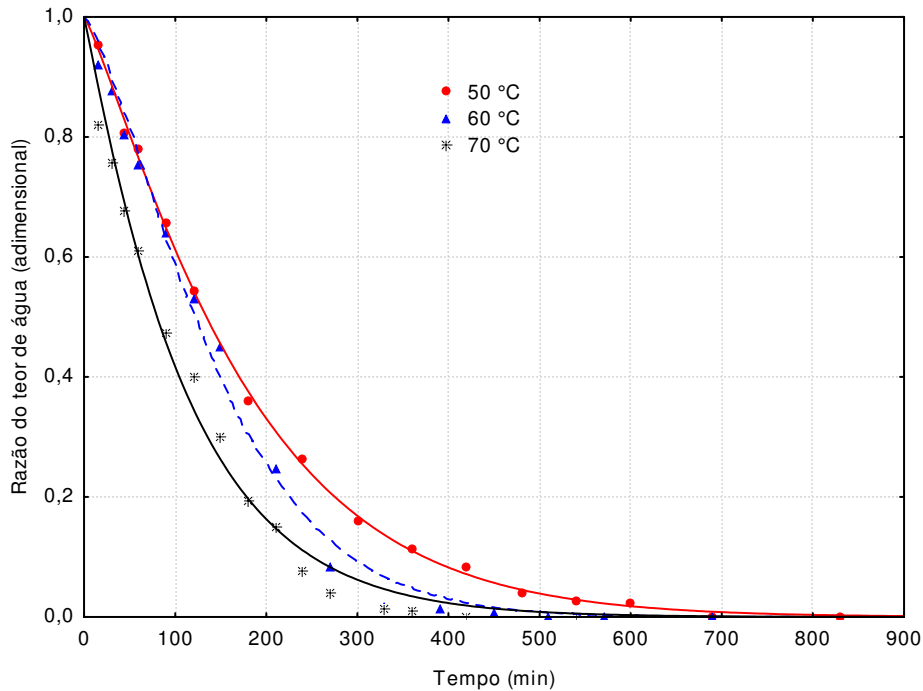


Figura 4.8 – Cinética de secagem da formulação do Tratamento 2 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Page

Na Tabela 4.8 se encontram os valores estimados dos parâmetros dos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Logarítmico, Henderson, Page e Exponencial de dois termos, ajustados às curvas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), desidratada nas diferentes temperaturas avaliadas, com 1,0 cm de espessura da camada de espuma; os coeficientes de determinação R^2 foram superiores a 0,98 e desvios quadráticos médios menores que 0,007, o que torna possível a aplicação, com precisão, de qualquer um dos modelos testados.

O modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais nas temperaturas de 50 e 60 °C, e o modelo Logarítmico na temperatura de 70 °C com os maiores coeficientes de determinação $R^2 > 0,99$, e os menores desvios quadráticos médios. ALEXANDRE et al. (2009) ao estudarem a cinética de secagem do abacaxi pérola nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, obtiveram ao empregar o modelo de Page, $R^2 > 0,99$ e $DQM < 0,001$.

Tabela 4.8 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), com espessura de camada de espuma de 1,0 cm, em diferentes temperaturas avaliadas

	Temperatura (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		a	K				
Henderson & Pabis	50	1,0670	0,0057		0,9889	0,0034	
	60	1,3599	0,0089		0,9988	0,0010	
	70	0,9881	0,0231		0,9979	0,0005	
	Temperatura (°C)	a	c	k	R^2	DQM	
Logarítmico	50	1,1909	- 0,1448	0,0043	0,9939	0,0021	
	60	1,0369	- 0,0012	0,0231	0,9987	0,0004	
	70	1,0419	-0,0661	0,0076	0,9990	0,0006	
	Temperatura (°C)	a	b	c	d	R^2	DQM
Henderson	50	0,534	0,006	0,533	0,533	0,9889	0,0035
	60	0,517	0,023	0,518	0,518	0,9986	0,0004
	70	0,494	0,009	0,494	0,494	0,9978	0,0005
	Temperatura (°C)	k		N	R^2	DQM	
Page	50	0,00068		1,3885	0,9955	0,0014	
	60	0,00923		1,1571	0,9995	0,0001	
	70	0,01238		0,9977	0,9977	0,0006	
	Temperatura (°C)	k		A	R^2	DQM	
Exponencial dois termos	50	0,0016		3,2806	0,9849	0,0065	
	60	0,0022		9,8371	0,9979	0,0006	
	70	0,0159		0,5591	0,9979	0,0005	

Verifica-se que o parâmetro **n** do modelo de Page diminuiu com a elevação da temperatura de secagem. JITTANIT (2011) ajustou o modelo de Page aos dados experimentais da secagem de sementes de abóbora em secador de bandejas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e observou que o parâmetro **n** diminuiu com a elevação da temperatura de secagem, resultado este semelhante ao encontrado no presente trabalho; o parâmetro **k** do modelo de Page aumentou com a elevação da temperatura. Segundo CÔRREA et al. (2010) o parâmetro **k** tende a aumentar devido às maiores taxas de secagem em temperaturas mais elevadas. SANTOS et al. (2013) ao ajustarem o modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem da farinha de urucum observaram que o parâmetro **k** aumentou com o aumento da temperatura de secagem, resultado semelhante ao encontrado neste estudo.

A constante **k** dos modelos Logarítmico e Exponencial de dois termos não apresentou comportamento padrão com o aumento da temperatura.

Na Figura 4.9 tem-se as curvas das cinéticas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), desidratadas com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas com ajustes pelo modelo de Page considerado um dos melhores dentre os avaliados.

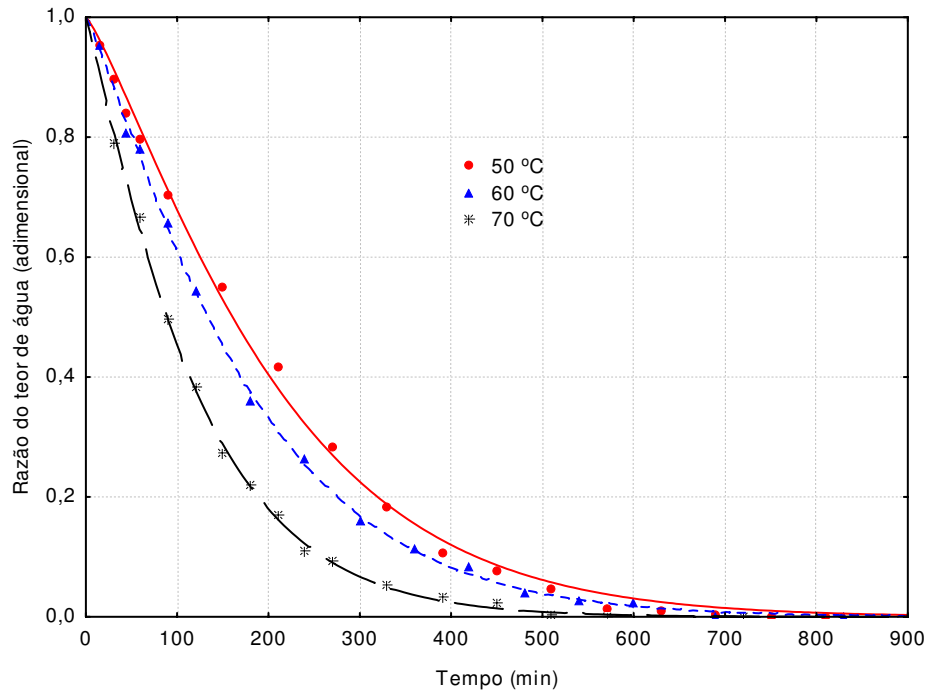


Figura 4.9 – Cinética de secagem da formulação do Tratamento 2 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas, com ajustes pelo modelo de Page

São apresentados, na Tabela 4.9, os valores estimados dos parâmetros dos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Logarítmico, Henderson, Page e Exponencial de dois termos, ajustados às curvas de secagem da polpa de manga formulada, desidratada nas diferentes temperaturas avaliadas com 1,5 cm de espessura da camada de espuma. Observa-se que todos os coeficientes de determinação (R^2) foram todos superiores a 0,98 e os desvios quadráticos médios menores que 0,005, o que torna possível a aplicação com precisão de qualquer um dos modelos testados.

Dos modelos testados o de Page apresentou os melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação, $R^2 > 0,99$ e os menores desvios quadráticos médios $DQM < 0,0005$. FERREIRA et al. (2012) ao estudarem a secagem do bagaço de uva fermentado nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C encontraram, para este modelo, $R^2 > 0,99$ e $DQM < 0,015$.

Verifica-se que o parâmetro k aumentou com a elevação da temperatura para os modelos Logarítmico e Page. Esse parâmetro representa o comportamento das taxas de secagem com a temperatura, assim elevando-se, a temperatura, têm-se as maiores taxas de

secagem chegando ao teor de água de equilíbrio em menos tempo; o mesmo foi observado por DIÓGENES et al. (2013) ao estudarem a cinética de secagem da farinha de sementes de abóbora.

Tabela 4.9 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da formulação selecionada (Tratamento 2), com espessura de camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		a		K			
Henderson & Pabis	50	1,0449		0,0050	0,9936	0,0042	
	60	1,0369		0,0231	0,9985	0,0004	
	70	1,0335		0,0143	0,9982	0,0005	
	Temperatura (°C)	a	c	K	R^2	DQM	
Logarítmico	50	1,1381	- 0,1109	0,0039	0,9973	0,0011	
	60	1,0318	0,0022	0,0135	0,9985	0,0004	
	70	1,0542	-0,0228	0,0232	0,9986	0,0004	
	Temperatura (°C)	a	b	c	D	R^2	DQM
Henderson	50	0,521	0,005	0,521	0,005	0,9834	0,0019
	60	0,517	0,023	0,518	0,023	0,9985	0,0004
	70	0,518	0,014	0,518	0,014	0,9982	0,0005
	Temperatura (°C)	k		N	R^2	DQM	
Page	50	0,0009		1,3039	0,9988	0,0004	
	60	0,0073		1,1533	0,9993	0,0002	
	70	0,0126		1,1465	0,9990	0,0003	
	Temperatura (°C)	k		A	R^2	DQM	
Exponencial dois termos	50	0,0021		2,2139	0,9917	0,0041	
	60	0,0022		9,9554	0,9978	0,0006	
	70	0,0022		6,2332	0,9971	0,0006	

Para o modelo de Henderson & Pabis, a constante da taxa de secagem k também aumentou com a elevação da temperatura; tal comportamento também foi verificado por REIS et al. (2011) ao estudarem a cinética de secagem da pimenta cumari do Pará, nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C.

Na Figura 4.10 tem-se as cinéticas de secagem da formulação selecionada, desidratadas com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas, com ajustes pelo modelo de Page considerado o melhor dentre os aplicados. FERREIRA et al. (2012) ao estudarem a cinética de secagem do bagaço de uva, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, concluíram ser o modelo de Page o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com $R^2 > 0,99$ e $DQM < 0,015$. FIGUEIRÊDO et al. (2013) ao estudarem a cinética de secagem em camada de espuma da polpa de mangaba verificaram que o modelo de Page se mostrou adequado para a predição das curvas de secagem em camada de espuma da polpa de mangaba com $R^2 = 0,9945$ e $DQM = 0,0347$.

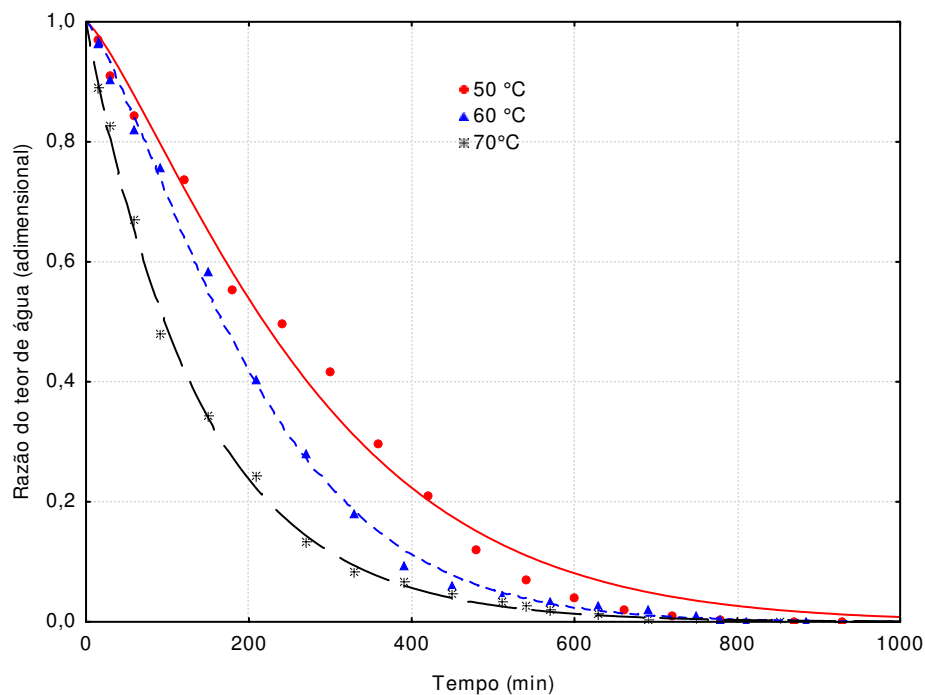


Figura 4.10 – Cinética de secagem da formulação do Tratamento 2 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas, com ajustes pelo modelo de Page

4.7 – Caracterização química, física e físico-química da polpa de manga Keitt em pó

4.7.1 – Teor de água

Da análise da variância do teor de água para amostra em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma verificou-se que os resultados apresentaram diferenças significativas a 1% de probabilidade, pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.10 estão apresentados os valores do teor de água para amostra em pó do Tratamento 2. Analisando os valores médios do teor de água para as amostras em pó, verifica-se que o teor de água apresenta tendência de diminuição com o aumento da temperatura de secagem em todas as espessuras da camada de espuma. Observa-se diferença significativa entre as médias, a 5% de probabilidade, quando a temperatura passou de 50 para 70 °C, em todas as espessuras da camada de espuma avaliadas. Entre as temperaturas de 60 e 70 °C não houve diferença significativa entre os teores de água, nas espessuras da camada de espuma de 1,0 e 1,5 cm.

Quanto ao efeito da espessura da camada de espuma observa-se tendência de aumento do teor de água com o aumento da espessura da camada de espuma; verifica-se, na temperatura de 50 °C entre as espessuras de 1,0 e 1,5 cm não houve diferença estatística entre os valores do teor de água; nas temperaturas de 60 e 70 °C ocorreu diferença significativa entre todas as médias, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, entre todas as espessuras da camada de espuma.

Tabela 4.10 – Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	7,31 aB	7,83 aA	7,86 aA
60	6,46 bC	6,59 bB	6,70 bA
70	6,33 cC	6,64 bB	6,70 bA

DMS para colunas = 0,06; DMS para linhas = 0,06; MG = 6,94; CV% = 0,39 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SILVA FILHO (2012) encontrou, realizando secagem em camada de espuma da polpa de manga Haden, teores de água de 7,44 e 7,28%; valores esses próximos aos encontrados para polpa da manga em pó desidratada na temperatura de 50 °C, enquanto BASTOS et al. (2005) ao estudarem a polpa de manga Tommy Atkins desidratada em camada de espuma à 70 °C, encontraram um teor de água de 5,25%, valor inferior ao encontrado neste trabalho.

O menor teor de água da amostra em pó foi na temperatura de 70 °C e espessura da camada de espuma de 0,5 cm e o maior em 50 °C e espessura de 1,5 cm.

4.7.2 – pH

Avaliando os resultados apresentados na Tabela 4.11 para os valores médios do pH da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada na temperatura de 50 °C verifica-se que o pH apresentou, em todas as espessuras da camada de espuma, valores distintos e aumentou com o aumento da temperatura de secagem nas espessuras de 0,5 e 1,0 cm; na espessura da camada de espuma de 0,5 cm e temperatura de 50 °C obteve-se o menor valor médio de pH.

Tabela 4.11 - Valores médios do pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de Secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	4,06	4,08	4,17
60	4,13	4,16	4,12
70	4,21	4,22	4,13

O pH é um parâmetro de qualidade de um alimento muito importante pela influência que exerce sobre os micro-organismos aptos à sua multiplicação e, portanto, sobre as alterações que, logicamente, poderiam produzir (GAVA, 1998). Para os produtos industrializados de frutas é interessante que o pH seja inferior a 4,3, por conferir maior resistência aos micro-organismos patogênicos.

Na temperatura de 50 °C houve um aumento do pH com o aumento da espessura da camada de espuma. BASTOS et al. (2005) observaram redução no pH com o aumento da espessura da camada de espuma.

BASTOS et al. (2005), ao realizarem o estudo da secagem de polpa de manga em camada de espuma (70 °C e 0,5 cm de espessura), obtiveram um valor médio do pH em torno de 4,58, sendo superior a todos os valores encontrados no presente trabalho.

Verifica-se que as amostras em pó (Tratamento 2) produzidas apresentaram valores de pH dentro da faixa que inibe o desenvolvimento de micro-organismos que é um pH inferior a 4,3 (FELLOWS, 2006).

4.7.3 – Sólidos solúveis totais (°Brix)

Na Tabela 4.12 estão apresentados os valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da manga em pó (Tratamento 2). Observa-se que não houve influência na temperatura de secagem nem da espessura da camada de espuma nos sólidos solúveis totais (°Brix) do produto final, obtendo-se os mesmos valores para todas as amostras em pó. Comportamento semelhante foi encontrado por MELO (2008) ao realizar a secagem da polpa do fruto do mandacaru. LOUREIRO (2006) ao secar a polpa de buriti nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C também observou que não houve variação nos teores de sólidos solúveis totais.

Tabela 4.12 - Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	90,0	90,00	90,00
60	90,00	90,00	90,00
70	90,00	90,00	90,00

Quando comparados os valores da polpa integral com a polpa em pó, observa-se que houve grande concentração dos sólidos solúveis totais (°Brix), em razão do processo

de secagem eliminar parte da água contida nas amostras concentrando os sólidos solúveis totais.

4.7.4 – Ácido ascórbico

Da análise da variância do ácido ascórbico para manga em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, verificou-se que os resultados apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, para a fonte de variação temperatura de secagem, não significativo para a espessura da camada de espuma e significativo a 1% de probabilidade para a interação entre os dois fatores.

São apresentados, na Tabela 4.13, os resultados dos valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) da polpa de manga em pó (Tratamento 2). Os valores do ácido ascórbico do produto em pó foram superiores aos da polpa da manga Keitt integral e ao da espuma (Tratamento 2); este aumento ocorreu em razão da água ter sido evaporada durante o processo de secagem e, conseqüentemente, ter concentrado o teor de ácido ascórbico.

Tabela 4.13 - Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	26,06aA	21,40aC	22,17aB
60	20,95bA	20,31bA	20,02bB
70	19,76cA	19,51cB	19,03cC

DMS para colunas = 2,45; DMS para linhas = 2,45 ; MG = 19,72; CV = 3,76%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV = Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

O conteúdo de vitamina C das frutas varia de acordo com as condições nas quais foram cultivadas e com as condições sob as quais foram armazenadas (KRAUSE & MAHAN, 1991). O declínio no teor de ácido ascórbico é afetado, principalmente, com o aumento da temperatura no processo de secagem (KADAM et al., 2010); em geral, sua

estabilidade é aumentada com a redução da temperatura, procedimento que não evita as possíveis perdas no congelamento ou armazenamento, a baixas temperaturas.

Os valores médios do ácido ascórbico diminuíram com o aumento da temperatura de secagem. De maneira geral, os menores valores médios de ácido ascórbico foram detectados na temperatura de 70 °C, provavelmente, em razão do maior efeito do calor na degradação da vitamina C. Segundo ALVES et al. (2003) a vitamina C contida nos alimentos é a mais sensível ao calor, sendo rapidamente destruída durante a secagem a altas temperaturas. Verifica-se, na temperatura de 70 °C, que o ácido ascórbico variou de 19,76 a 19,03 mg/100 g quando a espessura variou de 0,5 para 1,5 cm, significando que a esta temperatura a espessura maior da camada protegeu melhor o teor de ácido ascórbico da amostra. Valor próximo ao do presente trabalho foi encontrado por FERNANDES (2010) ao realizar a secagem em camada de espuma da polpa de cajá na temperatura de 60 °C, tendo encontrado um teor de ácido ascórbico de 22 mg/100 g com espessura de camada de espuma de 0,5 cm. RAJKUMAR et al. (2007) estudando a secagem em camada de espuma da polpa de manga Alphonso na temperatura de 60 °C com espessuras da camada de espuma de 1, 2 e 3 mm encontraram um teor de ácido ascórbico de 23,11%, resultado próximo ao encontrado neste trabalho.

Observa-se que não houve um comportamento padrão do teor de ácido ascórbico com o aumento da espessura da camada de espuma. Todas as médias encontradas para a temperatura de 50 °C foram estatisticamente diferentes, com o maior valor na espessura de 0,5 cm e o menor em 1,0 cm; já para temperatura de 60 °C os teores de ácido ascórbico das amostras em pó produzidas com espessuras de camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm foram estatisticamente iguais e estatisticamente maiores que na espessura de 1,5 cm; na temperatura de 70 °C o maior valor foi na espessura de 1,5 cm. Essas variações no teor de ácido ascórbico com relação à espessura, podem estar relacionadas com o tempo de secagem em que o material permanece por um tempo de exposição maior aos efeitos da temperatura.

4.7.5 – Acidez total titulável

Da análise da variância da acidez total titulável para amostra em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, os resultados apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, para as fontes de

variação de temperatura e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

A determinação acidez é importante para avaliação do estado de conservação de um produto alimentício. Um processo de decomposição, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, altera quase sempre a conservação do pH (BRASIL, 2005).

Os resultados dos valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa de manga em pó estão apresentados na Tabela 4.14, nota-se, na espessura da camada de espuma de 1,0 cm, tendência de uma redução da acidez total titulável com o aumento da temperatura de secagem; nas demais espessuras houve oscilações nos valores. BASTOS et al. (2005) verificaram tendência de diminuição da acidez em função do aumento da temperatura de secagem da polpa de manga Tommy.

Tabela 4.14 - Valores médios de acidez total (% ac. cítrico) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	2,47 bB	2,79 aA	2,78 aA
60	2,61 aA	2,61 bA	2,51 cB
70	2,15 cB	2,59 bA	2,61 bA

DMS para colunas = 0,07; DMS para linhas = 0,07 ; MG = 2,58 CV% = 1,44 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se, para a polpa de manga em pó (Tratamento 2) redução da acidez total titulável entre a amostra produzida a 50 °C e a amostra produzida a 70 °C de 12,95; 5,38 e 6,11%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

Observa-se, nas temperaturas de 50 e 70 °C, que entre as espessuras de 1,0 e 1,5 cm não houve diferença estatística entre as médias da acidez total titulável; na temperatura de 60 °C entre as espessuras de 0,5 e 1,0 cm, as médias foram estatisticamente iguais, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; com o aumento da temperatura de secagem de 60 para 70 °C; verifica-se que na espessura de 1,0 cm, que as médias foram estatisticamente iguais, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

AGRA (2006) ao estudar a secagem da manga Haden por liofilização, encontrou um valor médio de 2,33% ácido cítrico para amostra desidratada na temperatura de 55 °C, valor próximo aos obtidos neste trabalho que variou de 2,15 a 2,79% ac. cítrico.

Observa-se que o maior valor da acidez foi obtido na espessura de 1,0 cm e temperatura de 50 °C, e o menor a 70 °C com 0,5 cm de espessura.

4.7.6 – Açúcares redutores

Da análise da variância dos açúcares redutores (%) para amostra em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma verificou-se que os resultados apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.15 estão os resultados dos valores médios dos açúcares redutores (%) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

Observa-se tendência de redução dos açúcares redutores com o aumento da temperatura em todas as espessuras da camada de espuma, em que os valores dos açúcares redutores sofreram decréscimos de 6,98; 11,93 e 14,52% quando a temperatura passou de 50 °C para 70 °C nas espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

Tabela 4.15 - Valores médios de açúcares redutores (% glicose) da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	20,63 aA	18,77 aC	19,21 aB
60	19,23 bA	17,83 bB	17,55 bC
70	19,19 bA	16,53 cB	16,4 cB

DMS para colunas = 0,16; DMS para linhas = 0,16; MG = 19,78; CV% = 0,38 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas temperaturas de 60 e 70 °C houve tendência de redução dos açúcares redutores com o aumento da espessura.

O maior teor de açúcares redutores foi o da amostra produzida a 50 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma e o menor valor foi na temperatura de 70 °C com 1,5 cm de espessura da camada de espuma.

Os açúcares redutores variaram entre 16,42 e 20,63% glicose, valores próximos aos encontrados por MARTIN (2006) ao realizar a desidratação da polpa de manga Tommy Atkins, na temperatura de 60 °C, que foi 17,85% de glicose. BASTOS et al. (2005) verificaram ao desidratar a polpa de manga Tommy Atkins a 70 e 85 °C valores de açúcares redutores de 5,34 e 5,39% de glicose no pó, sendo muito inferiores aos da polpa de manga em pó. Comparando o valor encontrado na temperatura de 70 °C e espessura de camada de 0,5 cm, com o valor determinado por BASTOS et al. (2005) para a mesma temperatura, conclui-se que o valor dos açúcares resdutores foi de 72,17% menor.

4.7.7 – Luminosidade (L*)

Da análise de variância da luminosidade (L*) para amostra em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, verificou-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para a fonte de variação de espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores (espessura e temperatura).

Estão apresentados, na Tabela 4.16, os valores médios da luminosidade (L*) da polpa de manga em pó desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

Observa-se que, com o aumento da temperatura há tendência de decréscimo da luminosidade (L*) da polpa da manga Keit em pó (tratamento 2), nas espessuras de 0,5 e 1,0 cm, significando que com o aumento da temperatura a amostra fica mais escura; na espessura de 1,5 cm ocorreu o inverso; com o aumento da temperatura tem-se valores maiores da luminosidade em relação à temperatura de 50 °C, provavelmente em razão de que, como a 50 °C a secagem é muito demorada na espessura de 1,5 cm, isto provoca um escurecimento maior da amostra. CRUZ (2013) observou, ao obter a polpa de goiaba em pó pelo método da secagem em camada de espuma, a influência da temperatura sobre o pó de goiaba, verificando também redução na luminosidade; da mesma forma, FERRARI et

al. (2012) ao estudarem a secagem da amora preta por atomização, observaram que o aumento da temperatura de secagem teve influência significativa na diminuição dos valores da luminosidade.

Tabela 4.16 - Valores médios da luminosidade (L^*) da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	63,42 aA	63,20 aB	52,88 cC
60	63,66 aA	62,80 bB	61,33 aC
70	60,92 bA	60,29 cB	60,09 bC

DMS para colunas = 0,21; DMS para linhas = 0,21; MG = 62,40; CV% = 0,16 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

As reduções da luminosidade com o aumento da temperatura entre as amostras secadas a 50 °C e as amostras secadas a 70 °C, foram de 3,94; 4,60%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm, respectivamente.

Com relação ao aumento da espessura da camada de espuma, observa-se uma tendência ao decréscimo da luminosidade em todas as temperaturas de secagem significando que as amostras com espessuras maiores são mais escuras devido ao maior tempo de secagem dessas amostras; as reduções na luminosidade entre a amostra produzida com a menor espessura da camada de espuma (0,5 cm) e a seca com 1,5 cm, foram de 16,62; 3,66 e 1,36%, para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

A maior luminosidade foi da amostra produzida a 60 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma e a menor da amostra produzida a 50 °C com 1,5 cm de espessura de camada de espuma.

4.7.8 – Intensidade do vermelho (+a*)

Da análise de variância da intensidade de vermelho (+a*) para a amostra em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, observou-se que os resultados apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo

teste F, para as fontes de variação de temperatura e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

São apresentados, na Tabela 4.17, os valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

Tabela 4.17 - Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	8,25 bC	8,69 cB	8,97cA
60	7,56 cB	10,35 bA	10,34 bA
70	11,50 aA	11,30 aB	10,91 aC

DMS para colunas = 0,17; DMS para linhas = 0,17; MG = 9,76; CV% = 0,81 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Com o aumento da temperatura de secagem houve uma tendência de aumento na intensidade de vermelho (+a*), indicando assim um escurecimento do pó obtido. KAREN & CHEE-WAI (1999) ao estudarem a desidratação em camada de espuma da polpa de carambola, nas temperaturas de 80 e 90°C; observaram um aumento da intensidade de vermelho e atribuíram este fato ao escurecimento não-enzimático ou a caramelização dos açúcares que ocorre durante o processo de secagem. O aumento da intensidade de vermelho entre as temperaturas de 50 e 70 °C foi de 39,39; 30,03 e 21,62% para as espessuras de camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

Nas temperaturas de 50 e 60 °C percebe-se tendência de aumento de +a* com o aumento da espessura e na temperatura de 70 °C as médias apresentaram tendência de redução com o aumento da espessura.

O maior valor de +a* ocorreu na temperatura de 70 °C e espessura da camada de espuma de 0,5 cm e o menor na temperatura de 50 °C com 1,5 cm de espessura da camada de espuma.

4.7.9 – Intensidade de amarelo (+b*)

Da análise da variância da intensidade de amarelo para amostra em pó desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma observou-se efeito significativo, pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.18 estão os resultados dos valores médios da intensidade de amarelo (+b*) da polpa de manga em pó desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma. Observa-se que houve tendência de aumento da intensidade de amarelo (+b*) com o aumento da temperatura de secagem; comportamento semelhante foi encontrado por PEREIRA et al. (2006) ao estudarem a influência da temperatura de secagem para o tomate.

Tabela 4.18 - Valores médios da intensidade do amarelo (+b*) da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	35,17 cC	38,36 cB	39,47 cA
60	45,71 bC	47,17 aB	48,08 aA
70	47,71 aB	46,63 bA	46,63 bA

DMS para colunas = 0,21; DMS para linhas = 0,21; MG = 44,77; CV% = 0,23 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C observa-se uma tendência de aumento da intensidade de amarelo com o aumento da espessura da camada de espuma na temperatura de 70 °C. MASKAN (2002) atribui as alterações na cor de alimentos quando submetidos a processos térmicos às reações não-enzimáticas (Maillard) e destruição dos pigmentos presentes (oxidação). Observa-se que os valores médios da intensidade de amarelo foram estatisticamente iguais para as espessuras de 1,0 e 1,5 cm, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.7.10 – Atividade de água

Da análise da variância da atividade de água para amostra em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, verificou-se que houve efeito significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.19 estão apresentados os resultados dos valores médios da atividade de água da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma; verifica-se, em todas as espessuras da camada de espuma, que os valores da atividade de água reduziram entre 50 e 70 °C denotando a influência da temperatura em razão da perda de água durante o processo de secagem.

FERRARI et al. (2012) ao estudarem a secagem da amora preta por atomização verificaram que com o aumento da temperatura de secagem resultou em pós menos úmidos e com menor atividade de água.

Nas temperaturas de 50 e 70 °C observa-se, com o aumento da espessura da camada de espuma, tendência de redução da atividade de água.

Tabela 4.19 - Valores médios da atividade de água da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	0,269 aA	0,243 aB	0,214 aC
60	0,231 bB	0,243 aA	0,216 aC
70	0,236 bA	0,213 bB	0,202 bC

DMS para colunas = 0,009; DMS para linhas = 0,009; MG = 0,229; CV% = 1,82 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.7.11 – Solubilidade

Da análise de variância da solubilidade para amostra em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma observou-se que efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação de

temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.20 estão apresentados os resultados dos valores médios da solubilidade (min) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma. Verifica-se, com o aumento da temperatura de secagem, que ocorreu uma diminuição nos valores médios da solubilidade para todas as espessuras da camada de espuma; com o aumento da temperatura de 50 para 70 °C o valor da solubilidade, que é expresso em minutos, foi reduzido de forma significativa para todas as espessuras de camada de espuma, significando que as amostras secas a 70 °C se dissolveram mais rapidamente.

Tabela 4.20 - Valores médios de solubilidade (min) da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	4,30 aA	4,29 aA	4,25 aA
60	3,00 bB	3,30 bA	3,26 bA
70	2,15 cA	2,02 cB	2,01 cB

DMS para colunas = 0,11; DMS para linhas = 0,11; MG = 3,18; CV% = 1,58 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a temperatura de 50 °C as médias da solubilidade das amostras permaneceram estatisticamente iguais para todas as espessuras da camada de espuma; nas temperaturas de 60 °C e 70 °C não houve diferença estatística entre os valores médios da solubilidade entre as espessuras de 1,0 e 1,5 cm, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As amostras em pó da manga levaram de 2,01 a 4,30 minutos para serem completamente dissolvidas sendo estes valores próximos aos encontrados por DANTAS (2010) para a manga em pó seca pelo método de secagem em camada de espuma que foi de 3,5 minutos. Segundo GOULA & ADAMAPOULOS (2010), o aumento da temperatura do ar de secagem, geralmente, produz partículas maiores e mais porosas; com isto, ocorre diminuição no tempo necessário para o pó ser reidratado; as partículas maiores podem

depositar-se enquanto as pequenas geralmente flutuam na água dificultando a reconstituição do pó; desta forma, justifica-se a temperatura de 70 °C apresentar o menor tempo de reconstituição para todas as espessuras de camada de espuma.

4.7.12 – Rendimento

Da análise da variância do rendimento das amostras em pó (Tratamento 2) desidratadas em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, constata-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e não significativo para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.21 estão apresentados os resultados dos valores médios do rendimento (%) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma; verifica-se que o rendimento teve tendência de aumento com o aumento da espessura da camada de espuma para todas as temperaturas estudadas.

Tabela 4.21 - Valores médios de rendimento (%) da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	17,05 cC	18,41 Cb	18,76 cA
60	17,47 bC	18,83 bB	19,41 bA
70	18,83 aC	18,89 aB	19,59 aA

DMS para colunas = 0,06; DMS para linhas = 0,06; MG = 18,58; CV% = 0,15 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De forma geral ocorreu, em todas as espessuras avaliadas houve aumento nos valores do rendimento das amostras em pó com o aumento da temperatura; observa-se que na maior temperatura estudada com a maior espessura da camada de espuma obteve-se o maior valor para o rendimento (19,59%).

VIANA JÚNIOR (2010) ao analisarem a banana em pó, obtida por secagem convencional nas temperaturas de 55 e 80 °C encontraram rendimentos de 15,10 e 14,60%,

respectivamente, inferiores aos encontrados nesse trabalho, para todas as temperaturas de secagem avaliadas.

FERNANDES (2010) ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa de cajá observou que o rendimento variou entre 10,76 e 19,31%, valores esses próximos aos encontrados para manga em pó.

4.7.13 – Densidade

Da análise da variância da densidade das amostras em pó (Tratamento 2) desidratadas em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma, observam-se diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura e espessura da camada de espuma e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.22 estão apresentados os resultados dos valores médios da densidade (%) a 25 °C da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma; constata-se que com o aumento da temperatura de secagem houve uma redução nos valores médios da densidade, em todas as espessuras e com o aumento da espessura observou-se redução da densidade, em todas as temperaturas.

Tabela 4.22 - Valores médios da densidade (g/cm^3) a 25 °C da polpa de manga em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
50	1,496 aA	1,492 aB	1,473 aC
60	1,453 bA	1,447 bB	1,441 bC
70	1,436 cA	1,431 cB	1,424 cC

DMS para colunas = 0,043; DMS para linhas = 0,043; MG = 1,459; CV% = 0,15 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores médios da densidade são estatisticamente diferentes nas três temperaturas e entre as três espessuras avaliadas, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As densidades das amostras da manga em pó foram superiores às da polpa integral (1,204 g/cm³), valor superior de densidade foi encontrado por OLIVEIRA (2006) para a polpa de pitanga desidratada pelo método de secagem por aspersão, de 1,381 g/cm³.

4.7.14 – Seleção do melhor pó

Avaliando as amostras em pó através dos parâmetros teor de água, ácido ascórbico, luminosidade (L*), intensidade de vermelho (+a*) e rendimento, o produto em pó obtido do Tratamento 2 (1% de Super Liga Neutra e 1% de Emustab; 0,5 cm de espessura da camada de espuma e temperatura de secagem de 60 °C) pode ser classificado como o melhor pó em razão do mesmo ter apresentado o menor valor do teor de água (6,46% b.u.) indicando maior vida útil, bom teor de ácido ascórbico (20,95 mg/100 g), maior luminosidade (L* = 63,66), menor intensidade de vermelho (+a* = 7,56) e um bom rendimento (17,47%). FERNANDES (2010) ao secar a polpa do cajá nas mesmas condições de temperatura e espessura da camada de espuma obteve um rendimento de 18,25%.

4.8 - Isotermas de adsorção de água

A avaliação das isotermas de adsorção de água foram determinadas na temperatura de 25°C das amostras em pó obtidas a partir da secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm. De acordo com STAUDT et al. (2013) as isotermas são de grande importância, visto que descrevem a relação entre a atividade de água e o teor de água de equilíbrio podendo ser levantadas em diferentes temperaturas; desta forma, é possível analisar o comportamento de um alimento durante o processamento e depois, além de auxiliar na escolha das condições de armazenamento evitando, assim, modificações indesejáveis, melhorando o tempo de vida de prateleira.

Na Tabela 4.23 são apresentados os valores das umidades de equilíbrio da polpa da manga em pó desidratada na temperatura de 50 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm. Observa-se, para todas as amostras, que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água fato que também foi observado por

ALEXANDRE et al. (2007) ao estudarem as isotermas de adsorção de água da pitanga em pó, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.23 – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada a 50 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm)

Espessura da camada de espuma (cm)					
0,5		1,0		1,5	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0,326	2,746	0,363	2,804	0,384	2,887
0,434	3,254	0,515	4,275	0,498	4,641
0,471	4,136	0,579	7,881	0,560	6,121
0,511	4,712	0,621	12,605	0,588	7,148
0,540	5,322	0,658	14,529	0,610	8,731
0,562	6,305	0,689	16,457	0,626	10,141
0,615	6,779	0,731	19,540	0,630	11,509
0,648	8,134	0,754	22,380	0,683	14,888
0,675	9,049	0,767	24,095	0,706	16,435
0,702	11,663	0,782	26,056	0,728	18,123
0,739	18,107	0,800	31,468	0,754	20,974
0,798	30,096	0,813	33,952	0,770	22,317
0,857	35,835	0,886	52,825	0,783	24,376
0,884	41,915	0,887	52,475	0,893	46,029
0,886	46,664	0,902	67,128	0,895	53,783
0,890	55,258	0,921	84,791	0,896	54,502
0,898	59,566	-	-	0,904	56,453
0,901	71,451	-	-	0,919	68,917
0,923	93,864	-	-	-	-

Na Tabela 4.24 são apresentados os parâmetros dos modelos de Oswin, GAB, Peleg e Halsey ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa da manga Keitt em pó, os

coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P), na temperatura de 50 °C com espessuras de camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm.

Tabela 4.24 - Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas da polpa de manga em pó (Tratamento 2) com temperatura de secagem de 50 °C

Modelo	Espessura da camada (cm)	Parâmetro				R^2	P(%)
		a	B				
Oswin	0,5	3,8796	1,2692			0,9898	12,43
	1,0	7,2788	0,9928			0,9964	12,76
	1,5	6,6091	0,9225			0,9958	13,20
Espessura da camada (cm)		X_m	C	K	R^2	P(%)	
GAB	0,5	5,0133	0,8612	1,0289	0,9911	9,53	
	1,0	7,2662	0,9759	0,9985	0,9964	7,31	
	1,5	8,3021	0,6191	0,9746	0,9964	9,73	
Espessura da camada (cm)		k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P(%)
Peleg	0,5	666,43	31,86	69,75	4,14	0,9919	6,93
	1,0	458,33	31,57	59,81	3,88	0,9982	6,44
	1,5	257,88	27,61	59,98	3,71	0,9975	6,65
Espessura da camada (cm)		A	B		R^2	P(%)	
Halsey	0,5	2,0820	0,7205		0,9905	8,57	
	1,0	4,7496	0,9156		0,9955	17,24	
	1,5	4,4309	0,9346		0,9948	13,20	

De acordo com os valores obtidos para os coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios percentuais médios (P), observa-se que os modelos de GAB e Peleg, apresentaram coeficientes de determinação maiores que 0,99 e desvios percentuais médios menores que 10%; modelos com valores de $P > 10\%$ devem ser evitados para estimar as isotermas de adsorção de água.

O modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água da manga em pó apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,99$) e os menores desvios percentuais médios ($P < 7\%$). Este comportamento também foi observado por ALEXANDRE et al. (2007) ao estudarem a isoterma de adsorção de água da pitanga em pó nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, com $R^2 > 0,98$ e $P < 4\%$; observa-se ainda, que com o aumento da espessura da camada de espuma os parâmetros do modelo de Peleg apresentaram tendência de redução.

Para as amostras em pó produzidas nas espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, o modelo de GAB apresentou $R^2 > 0,99$ e $P < 9,8\%$, podendo-se utilizar também este modelo para estimar essas isotermas. GABAS et al. (2007) também observaram comportamento semelhante para as isotermas de adsorção do abacaxi em pó na temperatura de 20 °C com $R^2 > 0,99$ e $P < 10\%$; com base nos valores dos parâmetros K e C, conclui-se que a isoterma a 25 °C da amostra em pó (Tratamento 2), de acordo com BLAHOVEC (2004), é do tipo III ($0 < K \leq 1$ e $0 < C \leq 2$).

A partir da observação dos parâmetros encontrados para o modelo de Oswin, é provável que ele é inadequado para representar as isotermas de adsorção de água da manga Keitt em pó pois, apesar de ter apresentado $R^2 > 0,99$ em todas as espessuras da camada de espuma, os desvios percentuais médios foram superiores a 10%; similarmente, ZAMANTHA et al. (2013) encontraram, para os modelos de Oswin e Halsey, respectivamente, desvios percentuais médios superiores a 18,5% e 11,5%, para as isotermas de adsorção do molho vermelho mexicano em pó obtido por liofilização na temperatura de 35 °C.

Observa-se que X_m (teor de água na monocamada molecular) e K do modelo de GAB diminuíram com o aumento da espessura; de forma semelhante, MEDEIROS et al. (2007), verificaram para o cupuaçu em pó, que o valor de X_m diminuiu com o aumento da temperatura, de 3,99 para 3,39% b.s. LIMA et al. (2008) ao ajustarem o modelo de GAB às isotermas de adsorção da farinha de facheiro, observaram também, que o valor de K diminuiu com o aumento da temperatura para uma espessura da camada de espuma de 3 mm.

No Apêndice B (Figuras B.1, B.2 e B.3) tem-se as isotermas de adsorção de água a 25 °C, da polpa da manga em pó desidratada a 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma ajustadas pelos modelos de GAB, Oswin e Halsey.

Na Figura 4.11 tem-se as isotermas de adsorção com ajuste pelo modelo de Peleg, considerado o melhor modelo; observa-se que nas atividades de água na faixa de 0,2 até cerca de 0,85, as curvas obtidas para as espessuras da camada de espuma de 1,0 e 1,5 cm apresentam umidades de equilíbrio maiores; já a partir de 0,85 de atividade de água, as curvas para a espessura da camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm se sobrepõem e apresentam maior teor de água de equilíbrio do que a curva com 1,5 cm.

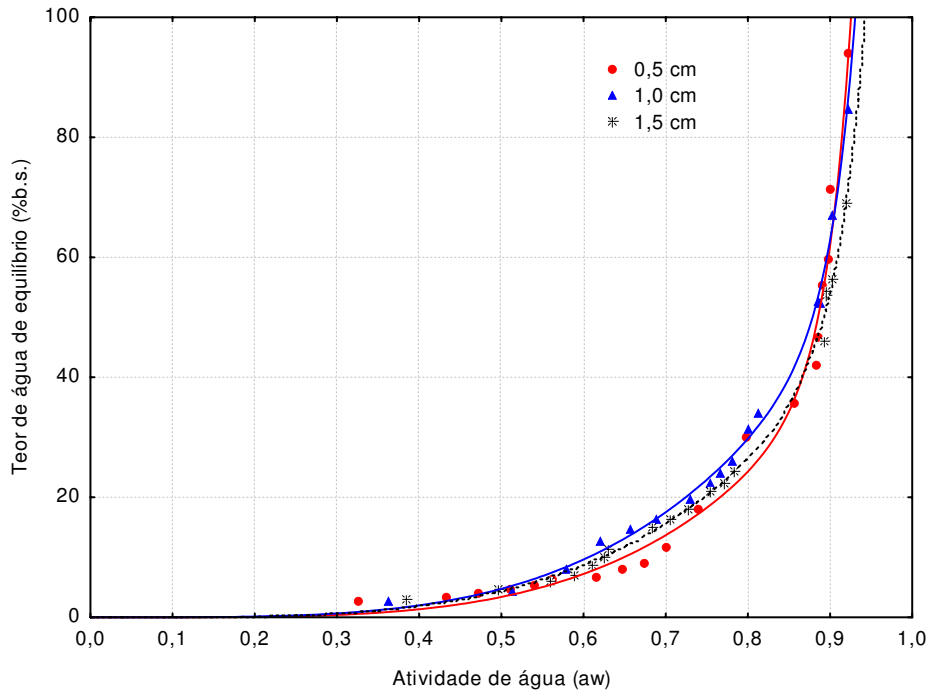


Figura 4.11 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó (Tratamento 2), desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Peleg

Na Tabela 4.25 são apresentados os valores das umidades de equilíbrio da polpa da manga em pó da formulação desidratada na temperatura de 60 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm; observa-se, para todas as amostras, que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água o que também foi constatado por COMUNIAN et al. (2011) ao estudarem as isotermas de adsorção dos corantes em pó obtidos pelos pigmentos da clorofila, na temperatura de 20 °C.

Tabela 4.25 – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada a 60 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm)

Espessura da camada de espuma (cm)					
0,5		1,0		1,5	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0,400	2,755	0,385	5,417	0,400	7,262
0,499	5,310	0,479	8,334	0,499	8,597
0,563	9,983	0,570	11,983	0,531	10,012
0,603	13,253	0,624	14,552	0,547	10,768
0,624	17,479	0,661	16,740	0,566	11,702
0,648	17,431	0,687	18,441	0,583	12,737
0,666	18,753	0,724	21,323	0,621	14,563
0,669	18,771	0,749	24,102	0,657	16,635
0,691	21,007	0,764	26,498	0,691	18,671
0,712	23,292	0,791	31,672	0,714	20,607
0,740	27,348	0,803	34,381	0,743	23,190
0,760	28,357	0,816	36,847	0,762	25,875
0,774	30,125	0,883	58,064	0,890	61,172
0,888	60,785	0,889	60,528	0,893	61,349
0,889	61,672	0,896	64,523	0,933	91,274
0,890	62,456	0,922	81,918	-	-
0,893	65,823	-	-	-	-
0,927	90,077	-	-	-	-

São apresentados, na Tabela 4.26, os parâmetros dos modelos de Oswin, GAB, Peleg e Halsey, ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa da manga Keitt em pó (Tratamento 2) desidratada a 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P); os modelos de GAB e Peleg foram, dentre os testados, os que melhor se ajustaram aos dados experimentais e podem estimar as isotermas em todas as espessuras da camada de espuma em razão de terem apresentado $R^2 > 0,99$ e desvios percentuais médios inferiores a 10%.

Tabela 4.26 - Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de umidade da polpa de manga em pó (Tratamento 2), a 25 °C, desidratada a 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma

Modelo	Espessura da camada (cm)	Parâmetro				R^2	P (%)
		A		B			
Oswin	0,5	10,0984		0,8700		0,9968	17,96
	1,0	9,6051		0,8789		0,9990	3,98
	1,5	9,8347		0,8594		0,9976	5,04
Espessura da camada (cm)		X_m	C	K	R^2	P (%)	
GAB	0,5	10,8692	0,8105	0,9639	0,9977	4,34	
	1,0	9,9253	0,8511	0,9675	0,9997	3,70	
	1,5	10,0423	0,8611	0,9698	0,9989	2,01	
Espessura da camada (cm)		k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P (%)
Peleg	0,5	188,55	22,08	70,92	3,30	0,9992	2,46
	1,0	38,19	2,09	132,12	12,18	0,9996	1,76
	1,5	138,38	12,27	30,07	1,97	0,9989	3,01
Espessura da camada (cm)		A		B		R^2	P (%)
Halsey	0,5	8,3776		1,0369		0,9949	22,58
	1,0	7,9464		1,0312		0,9977	7,54
	1,5	8,5601		1,0554		0,9958	7,96

Observa-se, que os modelos de Oswin e Halsey para a espessura da camada de espuma de 0,5 cm, não podem ser utilizados para representar as isotermas de adsorção da manga Keitt em pó, em razão de terem apresentado desvios percentuais médios superiores a 10% porém esses modelos podem estimar as isotermas nas demais espessuras da camada de espuma, já que apresentaram $R^2 > 0,99$ e desvios percentuais médios inferiores a 10%.

Para o modelo de GAB foram encontrados $R^2 > 0,99$ e $P < 4,5\%$, estando de acordo com o encontrado por GOULA et al. (2008) para as isotermas de adsorção de água da

polpa de tomate em pó a 25 °C, obtido por secagem por aspersão com $R^2 = 0,99$ e $P = 3,49\%$. Pode-se observar que, com o aumento da espessura da camada de espuma, os parâmetros do modelo de GAB C e K aumentaram; a umidade da monocamada molecular (X_m) não apresentou comportamento padrão em relação ao aumento da espessura da camada de espuma e seus valores foram abaixo de 11% b.s. Baseado nos valores dos parâmetros K e C, a isoterma a 25 °C da amostra em pó, em todas as espessuras da camada de espuma, de acordo com BLAHOVEC (2004) é do Tipo III ($0 < K \leq 1$ e $0 < C \leq 2$).

O modelo de Oswin pode ser utilizado para representar as isotermas de adsorção de água da manga Keitt em pó nas espessuras da camada de espuma de 1,0 e 1,5 cm, em razão de ter apresentado $R^2 > 0,999$ e $P < 10\%$. BEZERRA et al. (2010) para manga cv. Espada em pó ao ajustarem o modelo de Oswin à isoterma de adsorção na temperatura de 23 °C, obtiveram $R^2 > 0,999$ e $P < 5,5\%$ o que comprova que o modelo pode representar as isotermas de adsorção da manga em pó.

Ao analisar os parâmetros obtidos com o modelo de Halsey verifica-se nas espessuras da camada de espuma de 1,0 e 1,5 cm que pode ser utilizado para representar as isotermas de adsorção da manga Keitt em pó, já que $R^2 > 0,999$ e $P < 10\%$. LIMA et al. (2008) ao ajustarem o modelo de Halsey às isotermas de adsorção da farinha de facheiro na temperatura de 20 °C, encontram $R^2 > 0,99$ e $P < 4,0\%$.

O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água nas espessuras da camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm foi o de Peleg apresentando $R^2 > 0,99$ e desvios percentuais médios ($P < 2,5\%$). IGUEDJTAL et al. (2008) ao realizarem o ajuste das isotermas de adsorção da batata em pó com o modelo de Peleg encontraram $R^2 > 0,99$ e $P < 4,5\%$, na temperatura de 20 °C.

No Apêndice B (Figuras B.4, B.5 e B.6) tem-se as isotermas de adsorção de água a 25 °C, da polpa da manga em pó desidratada a 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma ajustadas pelos modelos de GAB, Oswin e Halsey.

Na Figura 4.12 tem-se as isotermas de adsorção com ajuste pelo modelo de Peleg, considerado o melhor modelo. Observa-se que as isotermas de adsorção de água nas espessuras da camada de espuma de 1,0 e 1,5 cm são muito próximas em toda a faixa de atividade de água; já a isoterma da amostra em pó produzida com espessura de camada de espuma de 0,5 cm na faixa de 0 a 0,6 de atividade de água apresenta valores menores de teor de água de equilíbrio que as outras curvas mas, ao atingir valores de atividade de água

entre 0,6 e 0,8 supera as outras curvas e a partir 0,8 ela se aproxima das outras amostras produzidas com 1,0 e 1,5 cm de espessura da camada de espuma.

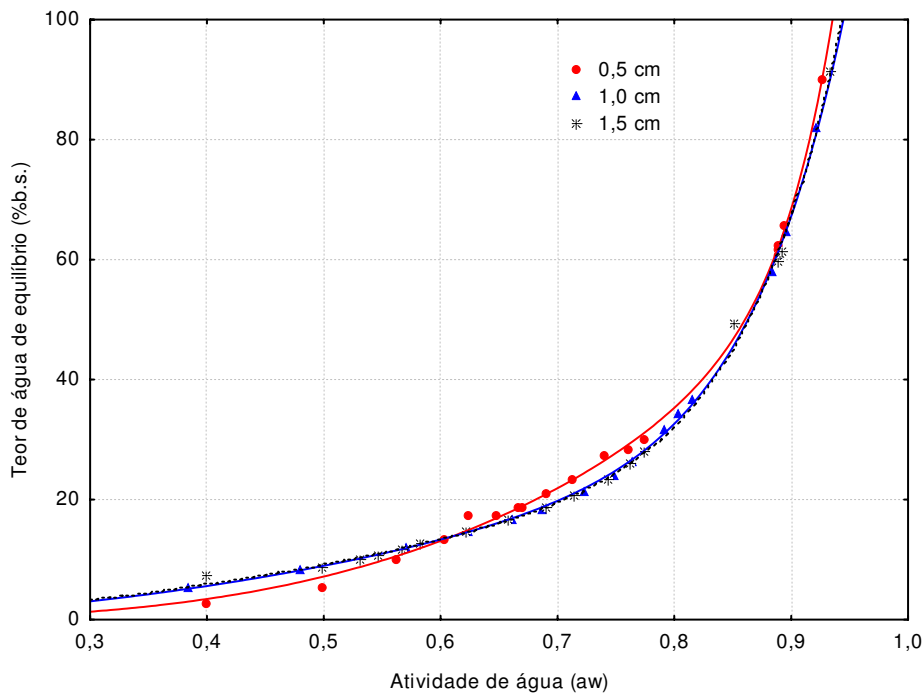


Figura 4.12 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Peleg

Na Tabela 4.27 são apresentados os valores das umidades de equilíbrio da polpa da manga em pó, desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma; verifica-se, para todas as amostras, que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água o que também foi observado por ALEXANDRE et al. (2007) ao estudarem as isotermas de adsorção da pitanga em pó nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.27 – Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa de manga em pó (Tratamento 2) desidratada a 70 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm)

Espessura (cm)					
0,5		1,0		1,5	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0,336	2,439	0,339	3,929	0,361	3,327
0,416	3,793	0,382	8,566	0,467	7,016
0,453	4,911	0,478	11,984	0,552	17,383
0,573	6,096	0,524	14,240	0,609	20,160
0,592	6,909	0,664	16,931	0,642	22,351
0,607	7,518	0,687	18,809	0,666	24,178
0,641	9,516	0,720	21,814	0,703	26,807
0,666	11,378	0,744	23,757	0,728	29,219
0,682	47,996	0,757	26,113	0,747	31,483
0,697	14,528	0,783	29,321	0,763	34,259
0,724	18,049	0,787	30,516	0,783	37,509
0,739	20,657	0,801	32,499	0,799	40,869
0,748	22,723	0,809	34,277	0,812	43,719
0,876	54,894	0,818	36,055	0,890	69,683
0,877	92,962	0,886	57,514	0,892	71,035
0,879	57,467	0,894	60,691	0,896	72,132
0,913	76,310	0,897	63,117	0,921	93,060
0,919	82,560	0,910	69,118	-	-
-	-	0,921	80,002	-	-

Tem-se, na Tabela 4.28 os parâmetros dos modelos de Oswin, GAB, Peleg, e Halsey, ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa da manga Keitt em pó, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P), na temperatura de 70 °C com espessuras de camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm.

Analisando os valores obtidos dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios percentuais médios (P), observa-se que os modelos de GAB e Peleg apresentaram

coeficientes de determinação maiores que 0,99 e desvio percentual médio menores que 10%; já os modelos de Halsey e Oswin apresentaram coeficientes de determinação maiores que 0,99 e desvios percentuais médios maiores que 10%, sendo esses modelos inadequados para representar as isotermas de adsorção de água da polpa de manga em pó .

Tabela 4.28 - Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de umidade da polpa de manga em pó (Tratamento 2), a 25 °C desidratada a 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma

Modelo	Espessura da camada (cm)	Parâmetro			R^2	P(%)	
		A	B				
Oswin	0,5	10,2174	0,8358		0,9983	17,44	
	1,0	9,6561	0,8625		0,9995	13,94	
	1,5	13,4017	0,7909		0,9968	15,51	
	Espessura da camada (cm)	X_m	C	K	R^2	P(%)	
GAB	0,5	7,2579	1,7313	0,9901	0,9985	7,60	
	1,0	9,9203	1,1094	0,9747	0,9997	7,94	
	1,5	11,7514	1,3060	0,9689	0,9972	8,36	
	Espessura da camada (cm)	k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P(%)
Peleg	0,5	33,26	1,52	139,58	12,71	0,9985	7,00
	1,0	140,22	15,31	47,88	2,49	0,9994	7,28
	1,5	197,04	19,96	68,22	2,59	0,9988	7,36
	Espessura da camada (cm)	A	B	R^2	P(%)		
Halsey	0,5	9,5004	1,0821	0,9983	20,05		
	1,0	8,3988	1,0521	0,9984	27,92		
	1,5	14,5309	1,1369	0,9947	29,96		

De acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 4.28 o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção das amostras em pó obtidas

com diferentes espessuras de camada de espuma foi o de Peleg, apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,99$) e os menores desvios percentuais médios ($< 7,4\%$), uma vez que, quanto maior o valor de R^2 e menor o valor de P maior a precisão do modelo. Comportamento semelhante foi verificado por MISHRA et al. (1996) para as isotermas de adsorção de água do chá verde em pó, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, com $R^2 > 0,99$ e $P < 5\%$, para o modelo de Peleg.

Para as amostras em pó produzidas com 0,5, 1,0 e 1,5 cm de espessura da camada de espuma, o modelo de GAB apresentou $R^2 > 0,99$ e $P < 8,5\%$, podendo-se utilizá-lo para estimar as isotermas de adsorção da polpa de manga Keitt em pó.

A umidade da monocamada molecular (X_m) do modelo de GAB representa o teor de umidade para uma armazenagem segura na qual o material apresenta estabilidade máxima (MISHIRA et al., 1996). Analisando os parâmetros obtidos com o modelo de GAB, observa-se que os valores do teor de água de equilíbrio da monocamada molecular (X_m) variaram entre 7,2579 a 11,7514% b.s., aumentou com o aumento da espessura da camada de espuma e estão próximos aos valores encontrados por BEZERRA et al. (2010) para manga variedade Coité em pó que foi de 9,086% b.s. ao ajustarem o modelo de GAB à isoterma de adsorção na temperatura de 23 °C.

Os parâmetros C e K do modelo de GAB para todas as espessuras de camada de espuma, apresentaram valores menores que 2 (dois) e menores que 1 (um), respectivamente, sendo essas isotermas classificadas como tipo III, de acordo com a classificação de BLAHOVEC (2004).

Verifica-se que em todas as espessuras da camada de espuma, os modelos de Oswin e Halsey apresentaram valores do desvio percentual médio superiores a 10%; portanto, não é apropriado para representar as isotermas de adsorção da manga Keitt em pó. BEZERRA et al. (2011) ao ajustarem o modelo de Oswin às isotermas de adsorção da manga rosa em pó, também encontraram um desvio percentual médio superior a 10%. KUROZAWA et al. (2005) ao estudarem o modelo de Halsey para representação das isotermas do cogumelo em pó, também verificaram que não era adequado para representar as isotermas já que os valores do desvio médio foram superiores a 11,5% quando as amostras foram desidratadas em 60 e 80 °C.

Na Figura 4.13 tem-se a representação das isotermas de adsorção de água a 25 °C, da polpa da manga Keitt em pó desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes

espessuras da camada de espuma com ajuste pelo modelo de Peleg, considerado o melhor dentre os modelos avaliadas; verifica-se que as curvas apresentadas são do Tipo III isto é, típicas de produtos alimentícios. Essas isotermas são semelhantes às encontradas por SILVA et al. (2008) ao estudarem o comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó; constata-se que quando a atividade de água atinge um valor maior que 0,6, as isotermas das amostras em pó nas camadas de 0,5 e 1,0 cm de espessura são muito próximas e a isoterma da amostra produzida com espessura de camada de espuma de 1,5 cm se distancia das demais amostras demonstrando maior higroscopicidade.

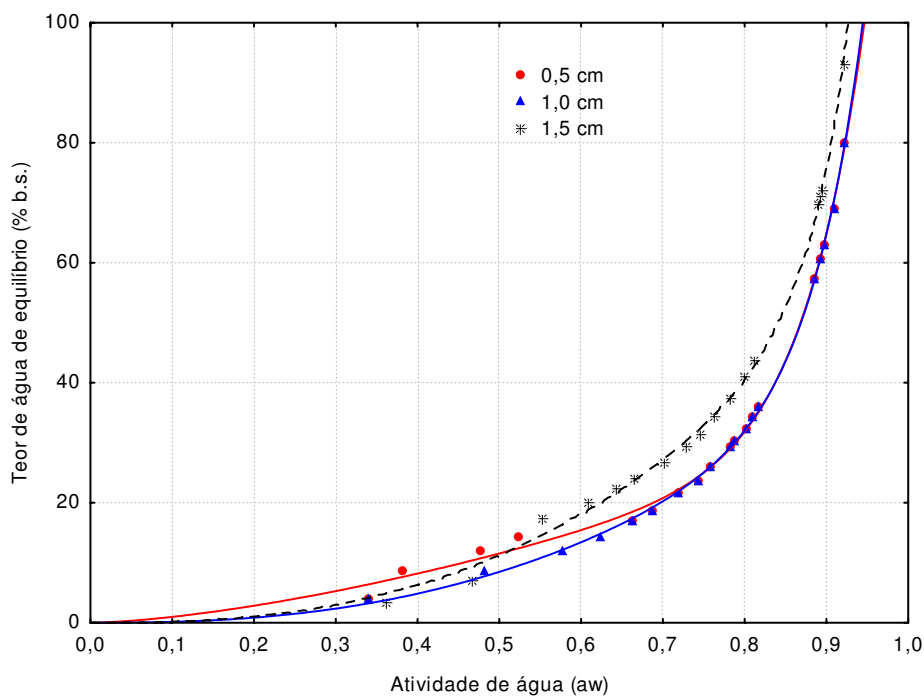


Figura 4.13 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga em pó (Tratamento 2), desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg

4.8.1 - Isotermas de adsorção de água do produto em pó

Na Tabela 4.29 estão os dados experimentais do teor de água de equilíbrio da polpa de manga em pó (Tratamento 2) produzida na temperatura de secagem de 60 °C e espessura da camada de espuma de 0,5 cm selecionada como uma das melhores amostras, e suas respectivas atividades de água, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C; nota-se que o teor de água de equilíbrio da amostra aumentou com o aumento da atividade de água e que na

maioria dos casos, o teor de água de equilíbrio diminuiu com o aumento da temperatura; comportamento semelhante foi observado por NOGUEIRA (2002) ao estudar as isotermas de adsorção de água de pó de inulina de chicória nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C.

Tabela 4.29 - Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) da polpa da manga em pó em função da atividade de água (a_w) nas diferentes temperaturas

Temperatura (°C)					
20		30		40	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0,286	2,500	0,187	2,423	0,185	2,376
0,373	3,617	0,282	3,497	0,279	3,283
0,417	4,702	0,336	4,322	0,334	4,055
0,470	6,217	0,375	5,338	0,375	5,239
0,517	8,320	0,427	6,937	0,426	6,781
0,567	11,251	0,4625	8,254	0,463	7,945
0,639	14,932	0,4945	9,852	0,495	9,581
0,678	17,795	0,556	12,371	0,557	12,117
0,706	20,064	0,585	13,883	0,584	13,442
0,733	22,728	0,6255	15,927	0,623	15,375
0,750	25,097	0,6725	19,167	0,671	18,773
0,797	31,897	0,7145	22,988	0,714	22,652
0,825	39,256	0,745	26,335	0,746	26,025
0,853	48,511	0,857	47,890	0,856	46,960
0,901	59,848	0,8635	50,454	0,862	49,652
0,910	73,598	0,923	80,577	0,923	79,407
0,918	79,846	0,9365	93,577	0,935	92,230

Estão apresentados, na Tabela 4.30, os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Peleg, Oswin e Halsey, ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa da manga Keitt em pó, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, os coeficiente de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

De acordo com os valores obtidos dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios percentuais médios (P), observa-se que os modelos de GAB e Peleg foram os que apresentam coeficientes de determinação maiores que 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 7% para as três temperaturas avaliadas; já os modelos de Oswin e Halsey, apesar de apresentar $R^2 > 0,99$, os valores para os desvios percentuais médios foram maiores que 11,8% o que inviabiliza a utilização desses modelos para estimar as isotermas da polpa de manga Keitt em pó com precisão.

Tabela 4.30 - Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água da polpa de manga em pó (Tratamento 2), desidratada na temperatura de secagem de 60 °C e com 0,5 cm de espessura de camada de espuma

Modelo	Espessura da camada (cm)	Parâmetro				R^2	P(%)
		a	B				
Oswin	0,5	9,1781	1,0985			0,9957	11,86
	1,0	9,9288	0,8923			0,9962	15,76
	1,5	10,3778	0,8246			0,9989	12,64
Espessura da camada (cm)		X_m	C	K	R^2	P(%)	
GAB	0,5	9,8824	0,5737	0,9532	0,9968	6,49	
	1,0	10,1400	1,0648	0,9623	0,9998	4,02	
	1,5	12,0798	1,0602	0,9647	0,9998	4,60	
Espessura da camada (cm)		k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P(%)
Peleg	0,5	53,10	2,81	129,53	15,08	0,9968	5,55
	1,0	43,94	2,14	135,51	13,64	0,9998	5,11
	1,5	135,02	13,94	44,261	2,19	0,9996	5,55
Espessura da camada (cm)		A		B		R^2	P(%)
Halsey	0,5	6,9426		1,0033		0,9935	15,11
	1,0	9,9288		1,0824		0,9963	25,67
	1,5	9,2430		1,0981		0,9965	25,67

O modelo de GAB foi o que melhor representou as isotermas de adsorção de água da amostra em pó Tratamento 2 (temperatura secagem - 60 °C; 0,5 cm de espessura da camada de espuma) nas temperaturas de 30 e 40 °C, com $R^2 > 0,99$ e $P < 4,7\%$; na temperatura de 20 °C o modelo de Peleg apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, com $R^2 > 0,99$ e $P < 5,6\%$. CATELAM et al. (2011) ao estudarem as isotermas de adsorção da polpa de maracujá desidratada em secador por aspersão e liofilizador nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, obtiveram $R^2 > 0,99$ e $P < 2,0\%$.

Analisando os parâmetros do modelo de GAB, observa-se que os valores do teor de água de equilíbrio na monocamada molecular (X_m) variaram entre 9,8824 a 12,0798% b.s. apresentando aumento com o aumento da temperatura; valor próximo de X_m foi encontrado por BEZERRA et al. (2010) quando ajustaram o modelo de GAB aos dados experimentais das isotermas de adsorção para manga Coité em pó e obtiveram o valor de 9,086% b.s.

Avaliando a constante C do modelo de GAB que representa o calor total de sorção da primeira camada, constata-se que houve aumento com o aumento da temperatura; comportamento semelhante foi observado por IGUEDJTAL et al. (2008) ao determinarem as isotermas de adsorção da batata em pó; o parâmetro K do modelo de GAB, que é a constante relacionada ao calor de sorção na multicamada com relação ao volume líquido, aumentou com o aumento da temperatura, fato também constatado por IGUEDJTAL et al. (2008).

De acordo com a classificação de BLAHOVEC (2004) as isotermas de adsorção de água da polpa de manga em pó (Tratamento 2) são do Tipo III em razão de ($0 < K \leq 1$ e $0 < C \leq 2$).

No ajuste pelo modelo de Peleg observa-se que as constantes k_1 e n_1 diminuíram com o aumento da temperatura de 20 para 30 °C e aumentaram de 30 para 40 °C, enquanto a constante k_2 teve um aumento entre as temperaturas de 20 e 30 °C e diminuiu de 30 para 40 °C, semelhante ao que foi observado por ALEXANDRE et al. (2007) ao estudarem a desidratação da polpa da pitanga.

Na Figura 4.12 tem-se a representação das isotermas de adsorção de água da polpa da manga em pó desidratada na temperatura de 60 °C/0,5 cm de espessura da camada de espuma, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C ajustadas pelo modelo de GAB; observa-se que em todas as faixas de atividade de água as curvas referentes às temperaturas de 30 e 40 °C estão sobrepostas; já a curva para a temperatura de 20 °C com atividade de água no

intervalo 0-0,85 apresenta valores menores de teor de água de equilíbrio inferiores aos obtidos com as demais temperaturas porém a partir de 0,85 esta curva se sobrepõe às demais, ou seja, nesta faixa de atividade de água houve pouca influência da temperatura, fato semelhante foi observado por LIMA et al. (2008) estudando as isotermas de adsorção da farinha da coroa de frade.

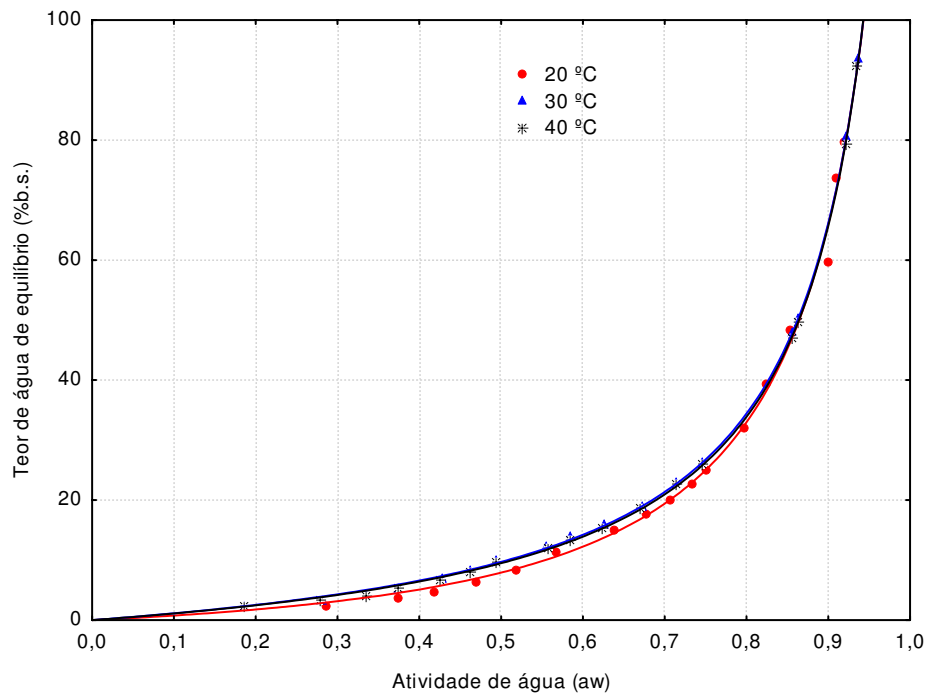


Figura 4.14 - Isotermas de adsorção de água da polpa da manga Keitt em pó (Tratamento 2), temperatura de secagem de 60 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma), nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ajustadas pelo modelo de GAB

4.9 – Armazenamento do produto em pó

O produto em pó, Tratamento 2 (60 °C/0,5 cm) foi armazenado durante 60 dias em embalagens flexíveis laminadas sob diferentes umidades relativas (55 e 83%) e temperaturas (20, 30 e 40 °C).

4.9.1 – Teor de água

Das análises de variância do teor de água (%) da polpa da manga Keitt em pó (Tratamento 2) em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR – 55 e 83%) observaram-se efeitos significativos a 1% de probabilidade,

pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para interação entre os dois fatores.

São apresentados, na Tabela 4.31, os valores médios do teor de água do produto em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) armazenado em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%; verifica-se, durante o armazenamento, que ocorreu aumento do teor de água nas três temperaturas em relação ao teor de água inicial.

Tabela 4.31 – Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Teor de água (%)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	7,4600 gA	7,4600 gA	7,4600 gA
10	8,2667 fC	8,9267 fB	9,6333 fA
20	8,6367 eC	9,4067 eB	10,2300 eA
30	9,4300 dC	10,2533 dB	11,1567 cA
40	10,3733 cC	10,7067 cB	11,7200 bA
50	12,0400 bA	11,4333 bB	10,7033 dC
60	12,8667 aB	13,0833 aA	13,1433 aA

DMS para colunas = 0,1367; DMS para linhas = 0,1072 ; MG = 10,20905; CV% = 0,53 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Constata-se, em todas as temperaturas, um aumento no teor de água durante o armazenamento, e entre o tempo inicial (0 dia) e o tempo de 60 dias de armazenamento este aumento foi na ordem de 72,47; 75,38 e 76,18%, respectivamente. LISBÔA (2010) observou, ao armazenar figo-da-índia em pó nas temperaturas de 25 e 40 °C um aumento no teor de água maior que 100% ao final do período de 100 dias de armazenamento, comportamento que evidencia que a permeabilidade ao vapor d'água da embalagem laminada, apesar de ser baixa, é responsável pela troca de água da amostra com o ambiente externo, o qual também pode ser provocado por uma deficiência na selagem da embalagem

contribuindo para o aumento no teor de água da amostra; resultado semelhante foi constatado por LOUREIRO et al. (2013) ao estudarem o armazenamento da polpa do buriti em pó durante 90 dias; RAHMAN et al. (2012) também verificaram aumento significativo no teor de água de fatias de jaca desidratadas osmoticamente e acondicionadas em embalagens de polietileno de alta densidade, armazenadas durante 240 dias.

Tem-se, na Tabela 4.32, os valores médios do teor de água da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83% (KCI).

Tabela 4.32 – Valores médios do teor de água (% b.u.) da polpa de manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Teor de água (%)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	7,4600 gA	7,4600 gA	7,4600 dA
10	8,3800 fC	9,4333 fB	10,4800 cA
20	10,7533 dC	11,4800dB	12,1333 bA
30	11,0300 cC	11,6600cB	12,2300 bA
40	9,4000 eC	10,9600 eB	12,3067 bA
50	13,3000 bC	13,5733 bB	13,7400 aA
60	13,5467 aB	13,8067 aA	13,8600 aA

DMS para colunas = 0,1772; DMS para linhas = 0,1390 ; MG = 11,1644; CV% = 0,63 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se tendência de aumento do teor de água com o aumento do tempo de armazenamento em todas as temperaturas; na temperatura de 20 °C houve um aumento de 81,59% do teor de água do início ao final do armazenamento; na temperatura de 30 °C observou-se aumento de 85,08% e em 40 °C aumento de cerca de 86% no final do período; as amostras absorveram água progressivamente ao longo dos 60 dias de armazenamento demonstrando que as embalagens não constituíram barreira suficiente; este resultado se assemelha ao reportado por GALDINO (2011), durante o estudo da secagem por aspersão

do figo-da-índia que verificou um aumento do teor de água das amostras ao longo dos 40 dias de armazenamento, de cerca de 148% na temperatura de 40 °C, demonstrando a ineficiência da embalagem para este produto ou da sua selagem.

Analisando o comportamento do teor de água entre as temperaturas nos diferentes tempos de armazenamento verifica-se que, exceto aos 60 dias nas temperaturas de 30 e 40 °C que não houve diferença estatística entre os valores médios dos teores de água; ao longo de todo o período de armazenamento houve diferença significativa entre os valores médios do teor de água entre as temperaturas, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, com os valores aumentando com o aumento da temperatura, ficando evidente que a temperatura de armazenamento influencia significativamente no teor de água da manga em pó.

Na Tabela 4.33 tem-se as equações de regressão polinomial significativas propostas para estimar o teor de água (% b.u.) da amostra em pó, em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C, para a temperatura de 20 °C observa-se que o melhor ajuste foi obtido com a equação de 4º grau com coeficiente de determinação maior que 0,99, podendo ser usada para estimar o teor de água em função do tempo de armazenamento; já para a temperatura de 30 °C pode-se observar que as equações cúbica, quadrática e de quinto graus apresentaram bons ajustes com coeficientes de determinação superiores a 0,99, podendo estimar o teor de água em função do tempo de armazenamento com boa precisão; na temperatura de 40 °C a equação de 5º foi a que se mostrou mais apropriada para representar o teor de água em função do tempo de armazenamento, com coeficiente de determinação superior a 0,99.

Tabela 4.33 – Equações de regressão propostas para o teor de água polpa de manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) em função do tempo de armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$X = 7,1173 + 0,9125t^{**}$	0,9617
	$X = 7,5508 + 0,3922t + 0,008671t^{2**}$	0,9877
	$X = 7,4659 + 1,4368t - 0,8769t^2 + 0,2679t^4 - 0,002278t^{4**}$	0,9977
30	$X = 7,6975 + 0,8279t^{**}$	0,9670
	$X = 7,7786 + 0,7306t + 0,01623t^{2**}$	0,9681
	$X = 7,4758 + 1,7389t - 0,4379t^2 + 0,05046t^{3**}$	0,9958
	$X = 7,4903 + 1,5974t - 0,3128t^2 + 0,01667t^3 + 0,000282t^{4**}$	0,9960
	$X = 7,4654 + 2,6017t - 1,7543t^2 + 0,70100t^3 - 0,1282t^4 + 0,00874t^{5**}$	0,9986
40	$X = 8,3623 + 0,7386t^{**}$	0,8051
	$X = 7,9183 + 1,2714t - 0,0888t^{2**}$	0,8400
	$X = 7,3978 + 3,0066t - 0,86964t^2 + 0,08676t^{3**}$	0,9267
	$X = 7,5603 + 1,4084t + 0,5344t^2 - 0,2924t^3 + 0,0316t^{4**}$	0,9496
	$X = 7,4549 + 5,6488t - 5,5522t^2 + 2,5971t^3 - 0,5217t^4 + 0,03688t^{5**}$	0,9987

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Na Tabela 4.34 tem-se as equações de regressão significativas, propostas para estimar o teor de água (% b.u.) da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C; na temperatura de 20 °C, o melhor ajuste foi obtido com a equação de 5º grau com coeficiente de determinação maior que 0,99, podendo ser usada para estimar o teor de água em função do tempo de armazenamento; já para a temperatura de 30 °C o melhor ajuste foi com a equação de quinto grau com coeficientes de determinação superiores a 0,9637, podendo estimar o teor de água em função do tempo de armazenamento com boa precisão; na temperatura de 40°C a equação de 5º foi a que se mostrou mais apropriada para representar o teor de água em função do tempo de armazenamento, com coeficiente de determinação superior a 0,99.

SILVA FILHO (2012) ao armazenar a polpa da manga Haden em pó em embalagem laminada, verificou que na temperatura de 40 °C as equações linear e quadrática não resultaram em bons ajustes com coeficientes de determinação de 0,3071 e 0,6189, respectivamente.

Tabela 4.34 – Equações de regressão propostas para o teor de água polpa de manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) em função do tempo de armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$X = 7,6869 + 0,0958t^{**}$	0,7706
	$X = 7,2938 - 2,234t - 0,4618t^2 + 0,0698t^{3**}$	0,8288
	$X = 7,4942 + 1,459t - 1,0114t^2 + 0,1747t^3 - 0,00874t^{4**}$	0,8405
	$X = 7,4942 + 1,423t - 1,0114t^2 + 0,1647t^3 - 0,0087t^4 - 0,0015t^{5**}$	0,9637
30	$X = 7,86 + 0,157t^{**}$	0,8583
	$X = 7,8707 + 1,5019t - 0,134797t^{2**}$	0,8815
	$X = 7,4163 + 3,0167t - 0,7724t^2 + 0,0490767t^{3**}$	0,9230
	$X = 7,3219 + 3,945t - 1,588t^2 + 0,13979t^3 - 0,001835t^{4**}$	0,9281
	$X = 7,4744 - 2,1920t + 7,2211t^2 - 3,8861t^3 + 0,7824t^4 - 0,0174622t^{5**}$	0,9935
40	$X = 7,4636 + 0,30164t^{**}$	0,8224
	$X = 5,0305 + 2,0419t - 0,149695t^{2**}$	0,9224
	$X = 7,5446 + 3,6900t - 0,4231t^2 + 0,00824t^{3**}$	0,9728
	$X = 7,3934 + 5,1765t - 2,2337t^2 + 0,0468t^3 - 0,02939t^{4**}$	0,9862
	$X = 7,4622 + 2,4113t + 1,7353t^2 - 1,4492t^3 - 0,330t^4 - 0,02046t^{5**}$	0,9998

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01).

4.9.2 – Acidez total titulável

Das análises de variância da acidez total titulável (%) da polpa da manga em pó em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (55 e 83%)

observou-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para a interação entre os dois fatores.

Apresentam-se na Tabela 4.35, os valores médios da acidez total titulável da amostra em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%; observa-se que nas temperaturas de 30 e 40 °C a acidez apresentou tendência de estabilidade com o tempo de armazenamento e na temperatura de 20 °C entre o início e o final do armazenamento houve redução da acidez. FIGUEIRÊDO et al. (2013) observaram, ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa de mangaba que utilizando a embalagem laminada, a acidez se manteve estatisticamente inalterada durante os 90 dias de armazenamento. LISBÔA et al. (2012) também notaram tendência à estabilidade da acidez para o figo-da-índia em pó armazenado durante 80 dias em embalagens laminadas nas temperaturas de 20 e 40 °C.

Tabela 4.35 – Valores médios da acidez total titulável da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Acidez total titulável (% ácido cítrico)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	1,7500 aA	1,7500 aA	1,7500 aA
10	1,6567 aB	1,7300 aB	1,7600 aB
20	1,6733 aB	1,5967 bA	1,6300 bA
30	1,7033 bA	1,6833 aA	1,7167 bA
40	1,6633 aA	1,5900 aA	1,6433 bA
50	1,6967 bA	1,7267 bA	1,7367 aA
60	1,5933 bA	1,6467 aA	1,6567 aA

DMS para colunas = 0,1335; DMS para linhas = 0,1703 ; MG = 1,7406; CV% = 1,87 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A acidez é influenciada pelo tempo e pelas condições de armazenamento sendo afetada principalmente pela temperatura, umidade relativa, luz, características da amostra e pelo tipo de embalagem, dentre outros fatores (FELLOWS, 2006).

Constata-se que dos 30 aos 60 dias não houve diferenças significativas entre os valores médios da acidez entre as três temperaturas.

Na Tabela 4.36 são apresentados os valores médios da acidez total titulável da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%; observa-se que nas três temperaturas de armazenamento, houve uma tendência de redução da acidez com o tempo de armazenamento, com diferenças significativas entre o tempo 0 e 60 dias; a acidez é influenciada pelo tempo e pelas condições de armazenamento sendo afetada principalmente: pela temperatura, umidade relativa, luz, características do produto e tipo de embalagem; esta redução na acidez pode estar relacionada à redução do teor de água aos processos oxidativos ou à ineficiência da embalagem.

Tabela 4.36 – Valores médios da acidez total titulável da polpa manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Acidez total titulável (% ácido cítrico)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	1,7500 aA	1,7500 aA	1,7500 aA
10	1,7233 aB	1,7600 aB	1,7467 bA
20	1,6133 bB	1,7600 bA	1,7500 aA
30	1,7000 aA	1,6067 cA	1,6567 bA
40	1,6733 bA	1,6833 aA	1,5467 bA
50	1,7267 aA	1,7600 aB	1,4733 cB
60	1,6467 bA	1,6033 bA	1,6333 bA

DMS para colunas = 0,1164; DMS para linhas = 0,1485 ; MG = 1,7387; CV% = 1,38 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4.37 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a acidez (% ácido cítrico) da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.37 – Equações de regressão propostas para a acidez total titulável da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$ATT = 1,90731 - 0,05893t^{**}$	0,4595
	$ATT = 2,01981 - 0,19393t + 0,02249t^{2**}$	0,6604
	$ATT = 2,11307 - 0,50481t + 0,16239t^2 - 0,01554t^{3**}$	0,9069
	$ATT = 2,14281 - 0,79729t + 0,41936t^2 - 0,08494t^3 + 0,00579t^{4**}$	0,9785
30	$ATT = 1,90204 - 0,05635t^{**}$	0,4179
	$ATT = 2,04927 - 0,23303t + 0,02944t^{2**}$	0,7602
	$ATT = 2,13352 - 0,51389t + 0,15583t^2 - 0,014043t^{3**}$	0,9604
40	$ATT = 1,916 - 0,05381t^{**}$	0,4112
	$ATT = 2,05789 - 0,223006t + 0,02819t^{2**}$	0,7500
	$ATT = 2,05789 - 0,49393t + 0,15011t^2 - 0,01356t^{3**}$	0,9511

Em que: ATT – acidez total titulável (% ácido cítrico); t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Para temperatura de 20 °C observa-se que a equação linear e a quadrática apresentaram baixos coeficientes de determinação devendo ser evitadas para estimar o comportamento da acidez total titulável; o melhor ajuste foi obtido com a equação de 4º grau com coeficiente de determinação de 0,9785, podendo ser usada para estimar a acidez em função do tempo de armazenamento; já para a temperatura de 30 °C pode-se observar que as equações linear e quadrática não apresentaram bons ajustes com coeficientes de determinação de 0,4179 e 0,7602, não podendo estimar a acidez em função do tempo de armazenamento; nesta temperatura a equação que mais se aproximou dos dados

experimentais foi a equação cúbica com coeficiente de determinação de 0,9604; na temperatura de 40 °C as equações linear e quadrática não resultaram em bons ajustes, com coeficientes de determinação de 0,4112 e 0,7500, respectivamente; a equação de 5° foi a que se mostrou mais apropriada para representar a acidez em função do tempo de armazenamento, com coeficiente de determinação de 0,9511. SILVA FILHO (2012), verificou, em estudo do armazenamento do pó de manga Haden na temperatura de 40 °C, que a equação cúbica foi a mais adequada para representar o comportamento da acidez total titulável.

Na Tabela 4.38 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a acidez (% ácido cítrico) da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.38 – Equações de regressão propostas para a acidez total titulável da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$ATT = 1,9406 - 0,06940t^{**}$	0,5790
	$ATT = 2,05151 - 0,2025t + 0,02218t^{2**}$	0,7571
	$ATT = 2,11206 - 0,40435t + 0,1130t^2 - 0,01009t^{3**}$	0,8516
	$ATT = 2,1378 - 0,65784t + 0,33519t^2 - 0,070244t^3 + 0,005012t^{4**}$	0,9004
	$ATT = 2,1524 - 1,2437t + 1,17676t^2 - 0,46953t^3 + 0,08147t^4 - 0,005097t^{5**}$	0,9770
30	$ATT = 1,9190 - 0,06286t^{**}$	0,5024
	$ATT = 2,06574 - 0,23857t + 0,02926t^{2**}$	0,8296
	$ATT = 2,1326 - 0,46265t + 0,13011t^2 - 0,011203t^{3**}$	0,9528
40	$ATT = 1,9506 - 0,07036t^{**}$	0,6103
	$ATT = 2,08492 - 0,23155t + 0,02686t^{2**}$	0,8774
	$ATT = 2,12714 - 0,37229t + 0,09019t^2 - 0,007037t^{3**}$	0,9244

Em que: ATT – acidez total titulável (% ácido cítrico); t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Para temperatura de 20 °C observa-se que o melhor ajuste foi obtido com a equação de 5º grau com coeficiente de determinação de 0,977, podendo ser usada para estimar o teor de água em função do tempo de armazenamento; já para a temperatura de 30 °C pode-se observar que o melhor ajuste foi da equação cúbica com coeficiente de determinação 0,9528, podendo-se estimar a acidez em função do tempo de armazenamento com boa precisão. A equação linear deve ser evitada não sendo adequada para estimar os dados da acidez em função do tempo de armazenamento por apresentar coeficiente de determinação de 0,50; na temperatura de 40 °C a equação linear não resultou em bom ajuste com coeficiente de determinação de 0,6103, a equação cúbica apresentou o melhor ajuste com boa precisão para representar a acidez em função do tempo de armazenamento, com coeficiente de determinação de 0,9244.

4.9.3 – pH

Na Tabela 4.39 são apresentados os valores médios do pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.

Tabela 4.39 – Valores médios do pH da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	pH		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	4,67	4,67	4,67
10	4,48	4,47	4,53
20	4,53	4,37	4,38
30	4,34	4,36	4,41
40	4,41	4,37	4,46
50	4,48	4,53	4,42
60	4,38	4,41	4,41

Constata-se tendência de redução do pH com o tempo de armazenamento em todas as temperaturas; esta diminuição do pH aos 60 dias corresponde a um percentual de 6,21% em relação ao valor inicial para temperatura de 20 e de 5,57% para as temperaturas 30 e 40; este fato pode ser uma indicação de deterioração da amostra em razão do desenvolvimento de micro-organismos que produzem ácidos diminuindo, desta forma, o pH. KADAM et al. (2011) também verificaram uma redução do pH ao estudar o armazenamento da tangerina em pó. CORDENUNSI et al. (2002) ao avaliar o comportamento do morango em pó durante o armazenamento a frio, verificou um declínio e atribuíram este fato à redução do teor de ácido cítrico no período de armazenamento; além disto verificaram que as mudanças no pH também dependiam da cultivar em estudo. ARLINDO et al. (2007) ao avaliarem o armazenamento do pimentão em pó durante 100 dias observaram oscilações nos valores médios do pH, não apresentando um comportamento padrão entre os tempos de armazenamento.

Na Tabela 4.40 são apresentados os valores médios do pH da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%.

Tabela 4.40 – Valores médios do pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	pH		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	4,67	4,67	4,67
10	4,43	4,49	4,50
20	4,54	4,35	4,36
30	4,37	4,42	4,57
40	4,55	4,43	4,44
50	4,64	4,51	4,49
60	4,47	4,38	4,34

Observa-se que nas três temperaturas de armazenamento, houve um comportamento semelhante do pH das amostras com uma tendência de redução nos valores médios com o tempo de armazenamento. KADAM et al. (2011) ao estudarem o comportamento do pH

durante o armazenamento da tangerina em pó, observaram que esse parâmetro teve tendência a redução ao longo do armazenamento.

Na Tabela 4.41 estão as equações de regressão significativas propostas para estimar o pH da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.41 – Equações de regressão propostas para o pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp (°C)	Equação	R ²
20	$pH = 4,57246 - 0,03102t^{**}$	0,4683
	$pH = 4,64759 - 0,12119t + 0,01503t^{2**}$	0,7978
	$pH = 4,66716 - 0,44886t + 0,432501t^2 - 0,18569t^3 + 0,034184t^4 - 0,00222t^{5**}$	0,8705
30	$pH = 4,58298 - 0,04015t^{**}$	0,6515
	$pH = 4,64838 - 0,11862t + 0,01308t^2$	0,8593
	$pH = 4,66061 - 0,21357t + 0,09095t^2 - 0,02011t^3 + 0,001621t^{4**}$	0,8778
	$pH = 4,66793 - 0,50845t + 0,51422t^2 - 0,22105t^3 + 0,04010t^4 - 0,00256t^{5**}$	0,9429
40	$pH = 4,58047 - 0,04206t^{**}$	0,5921
	$pH = 4,65971 - 0,13714t + 0,01585t^{2**}$	0,8442
	$pH = 4,66714 - 0,47682t + 0,49388t^2 - 0,22129t^3 + 0,04134t^4 - 0,00269t^{5**}$	0,9101

Em que: pH – valor do pH; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01).

Para a temperatura de 20 °C observa-se que a equação linear apresentou baixo coeficiente de determinação devendo ser evitada para estimar o comportamento do pH em função do tempo de armazenamento enquanto o melhor ajuste foi da equação de 5º grau; já para a temperatura de 30 °C também se observa que a equação linear não apresentou bom ajuste com coeficiente de determinação de 0,6515, não devendo ser utilizada para estimar o pH função do tempo de armazenamento e a equação que mais se aproximou dos dados experimentais foi a de 5º com coeficiente de determinação de 0,9429; na temperatura de 40

°C a equação linear não resultou em bom ajuste, com coeficiente de determinação de 0,5921; a equação de 5º foi a que se mostrou mais apropriada para representar o pH em função do tempo, visto que obteve coeficiente de determinação de 0,9101; resultado diferente do encontrado por LIMA (2006) ao estudar o armazenamento da farinha de facheiro que verificou ser a equação quadrática a que melhor se ajustou aos dados experimentais do pH em função do tempo de armazenamento.

Na Tabela 4.42 se encontram as equações de regressão significativas propostas para estimar o pH da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.42 – Equações de regressão propostas para o pH da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$pH = 4,54690 - 0,020714t^{**}$	0,1704
	$pH = 4,60603 - 0,09167t + 0,01182t^{2**}$	0,3371
	$pH = 4,66714 - 0,29537t + 0,10349t^2 - 0,01019t^{3**}$	0,6550
	$pH = 4,65494 - 0,17532t - 0,001969t^2 + 0,01829t^3 - 0,00237t^{4**}$	0,6911
	$pH = 4,66668 - 0,64790t + 0,67636t^2 - 0,30373t^3 + 0,05929t^4 - 0,00411t^{5**}$	0,8586
30	$pH = 4,63440 - 0,04702t^{**}$	0,7287
	$pH = 4,66867 + 0,11337t - 0,20365t^2 + 0,06152t^3 - 0,005366t^{3**}$	0,9819
	$pH = 4,66871 + 0,1117t - 0,20136t^2 + 0,06043t^3 - 0,005157t^4 - 0,000013t^5$	0,9819
40	$pH = 4,6521 - 0,05499t^{**}$	0,8184
	$pH = 4,66709 + 0,140219t - 0,20449t^2 + 0,05715t^3 - 0,004747t^{5**}$	0,9702

Em que: pH – valores médios do pH; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Para a temperatura de 20 °C, verifica-se que os coeficientes de determinação foram muito baixos, inferiores a 0,8 para as equações linear, quadrática, cúbica e de 4º grau,

sendo apenas a equação de 5º indicada para estimar o pH em função do tempo de armazenamento. Para a temperatura de 30 °C pode-se observar que as equações cúbica e de quinto grau podem estimar os valores médios do pH em função do tempo de armazenamento, visto que apresentaram coeficientes de determinação de 0,9819; na temperatura de 40 °C a equação de quarto grau apresentou o melhor ajuste para representar o pH em função do tempo de armazenamento, pois obteve coeficiente de determinação 0,9702.

4.9.4 – Atividade de água (a_w)

Das análises de variância da atividade de água da polpa da manga em pó em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 55 e 83%) foram observados efeitos significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para a interação entre os dois fatores.

Na Tabela 4.43 são apresentados os valores médios da atividade de água da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%; em todas as temperaturas a atividade de água aumentou com o aumento do tempo de armazenamento e da temperatura de armazenamento.

Segundo FELLOWS (2006), quase toda a atividade microbiana é inibida abaixo de 0,6; assim, as amostras em pó se encontravam dentro de uma faixa de segurança para proliferação de micro-organismos, podendo ser armazenada por um período mais longo que o estudado neste trabalho, já que a mesma apresentou, após 60 dias de armazenamento, uma a_w de no máximo 0,392 indicando que, do ponto de vista da atividade de água e apesar de ter havido alterações com o tempo, a embalagem utilizada manteve a atividade de água em um nível seguro.

Tabela 4.43 – Valores médios de atividade de água da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Atividade de água (a_w)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	0,326 dA	0,326 eA	0,326 dA
10	0,337 bcB	0,342 dB	0,382 bA
20	0,335 cdC	0,347 cdB	0,357 cA
30	0,346 abB	0,355 cA	0,358 cA
40	0,346 abC	0,376 bB	0,385 abA
50	0,348 aB	0,388 aA	0,391 abA
60	0,349 aB	0,389 aA	0,392 aA

DMS para colunas = 0,001; DMS para linhas = 0,007 ; MG = 0,357; CV% = 1,04 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4.44 são apresentados os valores médios da atividade de água da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%; constata-se que a atividade de água aumentou com o aumento do tempo de armazenamento, em todas as temperaturas e apresentou tendência de aumento com o aumento da temperatura em todos os períodos de armazenamento, em razão de que, mesmo a embalagem sendo impermeável, houve trocas de vapores d'água das amostras com o meio; os valores encontrados para atividade de água foram inferiores aos obtidos por RAMOS et al. (2008) para o abacaxi desidratados que foi de 0,54; alimentos nesta faixa de atividade de água geralmente não oferecem condições para o desenvolvimento de micro-organismos, denotando-se condições adequadas para o armazenamento no período avaliado; portanto, durante os 60 dias de armazenamento o produto estava em condições adequadas de a_w .

Comparando as a_w das amostras armazenadas na mesma temperatura porém sob umidades relativas diferentes, constata-se que os aumentos das atividades de água aos 60 dias foram superiores na umidade relativa de 83%; este fato é em razão de quanto maior a

umidade relativa do ambiente maior a absorção de água pela amostra e, conseqüentemente, da atividade de água.

Tabela 4.44 – Valores médios de atividade de água da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Atividade de água (a_w)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	0,326 dA	0,326 eA	0,326 fA
10	0,337 cdA	0,339 dA	0,345 eA
20	0,339 cB	0,342 dB	0,361 dA
30	0,353 bC	0,363 cB	0,385 cA
40	0,353 bC	0,372 cB	0,388 cA
50	0,390 aB	0,387 bB	0,411 bA
60	0,388 aC	0,405 aB	0,458 aA

DMS para colunas = 0,012; DMS para linhas = 0,091 ; MG = 0,366; CV% = 1,25 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4.45 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a atividade de água da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C; para temperatura de 20 °C, observa-se que somente a equação linear deve ser evitada para estimar os dados de atividade de água, por apresentar $R^2=0,7235$ as equações quadrática, cúbica e de quinto grau testadas apresentaram $R^2 > 0,99$; desta forma, pode-se utilizar qualquer uma para estimar os dados com maior precisão; já para a temperatura de 30 °C pode-se observar que a equação linear não apresentou bom ajuste com coeficiente de determinação $R^2 < 0,8$, não sendo recomendada para estimar a atividade de água em função do tempo de armazenamento, o melhor ajuste foi da equação de quinto grau com coeficientes de determinação superiores a 0,99; na temperatura de 40 °C o melhor ajuste foi da equação de quinto grau com coeficientes de determinação de 0,9819. LISBÔA (2010) ao estudar o

armazenamento do figo-da-índia em pó na temperatura de 40 °C, obteve $R^2 > 0,99$ para as equações de quarto e quinto grau.

Tabela 4.45 – Equações de regressão propostas para a atividade de água da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$a_w = 0,30055 + 0,03002t^{**}$	0,7235
	$a_w = 0,31409 - 0,0044t + 0,00228t^{2**}$	0,9154
	$a_w = 0,32543 + 0,001905t - 0,00735t^2 + 0,001327t^{3**}$	0,9822
	$a_w = 0,32613 + 0,03231t - 0,02321t^2 + 0,00831t^3 - 0,001791t^4 + 0,000086t^{5**}$	0,9894
30	$a_w = 0,3045 + 0,03151t^{**}$	0,7034
	$a_w = 0,35750 - 0,01795t + 0,007611t^{2**}$	0,8534
	$a_w = 0,34316 + 0,03216t - 0,01341t^2 + 0,00355t^{3**}$	0,8932
	$a_w = 0,32404 + 0,17156t - 0,12524t^2 + 0,04800t^3 - 0,004954t^{4**}$	0,9918
	$a_w = 0,32513 + 0,22576t - 0,21449t^2 + 0,08552t^3 - 0,01249t^4 + 0,0005223t^5$	0,9996
40	$a_w = 0,3421 + 0,032372t^{**}$	0,8023
	$a_w = 0,34789 + 0,04233t - 0,001561t^{2**}$	0,8078
	$a_w = 0,34107 + 0,09813t - 0,026734t^2 + 0,002771t^{3**}$	0,8674
	$a_w = 0,30397 + 0,22543t - 0,12261t^2 + 0,03059t^3 - 0,002151t^{4**}$	0,9795
	$a_w = 0,32137 + 0,23335t - 0,10032t^2 + 0,009038t^3 + 0,002832t^4 - 0,000453t^5$	0,9819

Em que: t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Na Tabela 4.46 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a atividade de água da manga em pó função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

O comportamento apresentado pelas amostras submetidas a uma umidade relativa de 83% foi semelhante aos encontrados para a umidade relativa de 55%; observando-se a Tabela 4.46 confirma-se por meio de equações lineares, a tendência de aumento da

atividade de água com o tempo de armazenamento em todas as condições avaliadas de temperaturas e umidade relativa.

Constata-se, em todas as temperaturas, que os melhores ajustes foram da equação de quinto grau apresentando os maiores R^2 , mas as demais equações testadas também podem ser usadas para estimar os dados da atividade de água, exceto a linear nas temperaturas de 20 e 30 °C que teve $R^2 < 0,8$.

Tabela 4.46 – Equações de regressão propostas para a atividade de água da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp (°C)	Equação	R^2
20	$a_w = 0,32055 + 0,03102t^{**}$	0,7625
	$a_w = 0,33409 - 0,0054t + 0,00268t^{2**}$	0,9084
	$a_w = 0,32673 + 0,001905t - 0,00835t^2 + 0,001227t^{3**}$	0,9864
	$a_w = 0,32623 + 0,03236t - 0,02621t^2 + 0,00931t^3 - 0,001491t^4 + 0,000096t^{5**}$	0,9882
30	$a_w = 0,3155 + 0,03271t^{**}$	0,7153
	$a_w = 0,35860 - 0,01895t + 0,008611t^{2**}$	0,8641
	$a_w = 0,34326 + 0,03219t - 0,01441t^2 + 0,00255t^{3**}$	0,8978
	$a_w = 0,32807 + 0,18157t - 0,14564t^2 + 0,03800t^3 - 0,002954t^{4**}$	0,9921
	$a_w = 0,32617 + 0,25776t - 0,25499t^2 + 0,08992t^3 - 0,01289t^4 + 0,0006227t^{5**}$	0,9993
40	$a_w = 0,3651 + 0,03247t^{**}$	0,8035
	$a_w = 0,35689 + 0,04243t - 0,001661t^{2**}$	0,8098
	$a_w = 0,34017 + 0,09815t - 0,026736t^2 + 0,0027861t^{3**}$	0,8554
	$a_w = 0,32398 + 0,25749t - 0,16671t^2 + 0,04059t^3 - 0,003151t^{4**}$	0,9797
	$a_w = 0,32512 + 0,21117t - 0,10023t^2 + 0,009032t^3 + 0,002893t^4 - 0,0004029t^{5**}$	0,9807

Em que: t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

4.9.5 – Ácido ascórbico

Das análises de variância do ácido ascórbico da polpa da manga em pó em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR – 55 e 83%) verificaram-se efeitos significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para interação entre os dois fatores.

São apresentados, na Tabela 4.47, os valores médios do ácido ascórbico do produto em pó armazenado em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.

Em todas as temperaturas avaliadas observa-se que os teores de ácido ascórbico do produto em pó diminuíram durante o período de 60 dias de armazenamento; e em todos os períodos o ácido ascórbico diminuiu com o aumento da temperatura.

Tabela 4.47 – Valores médios do ácido ascórbico da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Ácido ascórbico (mg/100 g)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	13,92 aA	13,92 aA	13,92 aA
10	13,81 bA	13,51 bB	12,82 bC
20	12,95 cA	12,66 cB	10,51 cC
30	11,66 dA	10,68 dB	9,27 dC
40	11,66 dA	10,68 dB	9,27 dC
50	11,02 eA	10,07 fB	9,27 dC
60	10,45 fA	10,18 eB	9,03 eC

DMS para colunas = 0,01; DMS para linhas = 0,01 ; MG = 11,49; CV% =0,06 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O declínio no teor de ácido ascórbico é afetado, sobretudo, com o aumento da temperatura no processo de secagem (KADAM et al., 2010), em geral, sua estabilidade é

aumentada com a redução da temperatura procedimento que não evita as possíveis perdas no congelamento ou no armazenamento, a baixas temperaturas.

SILVA FILHO (2012) verificou redução no ácido ascórbico na ordem de 33,97% no armazenamento da polpa de manga Haden em pó acondicionado em embalagem laminada e exposta à temperatura de 40 °C após 60 dias de armazenamento.

Quando se comparam os valores médios obtidos nas diferentes temperaturas avaliadas constata-se que, de maneira geral, a temperatura exerceu influência significativa na redução dos valores do ácido ascórbico verificando-se que, quanto maior a temperatura de armazenamento maior também é a degradação do ácido ascórbico.

Na Tabela 4.48 são apresentados os valores médios do ácido ascórbico da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C com umidade relativa de 83%.

Tabela 4.48 – Valores médios do ácido ascórbico da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Ácido ascórbico (mg/100 g)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	13,92 aA	13,92 aA	13,92 aA
10	13,85 bA	13,67 bB	12,46 bC
20	13,47 cA	13,25 cB	11,95 cC
30	12,95 dA	12,04 dB	11,93 dC
40	12,95 dA	11,47 eB	11,01 eC
50	12,91 eA	11,27 fB	11,01 eC
60	12,86 fA	10,55 gB	10,43 fC

DMS para colunas = 0,01; DMS para linhas = 0,01 ; MG = 12,47; CV% = 0,05 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se, que os teores de ácido ascórbico da polpa de manga Keitt em pó diminuiram durante o período de 60 dias de armazenamento, em todas as temperaturas avaliadas, o que demonstra a dependência do teor de ácido ascórbico com a temperatura

apresentando os maiores declíneos nas temperaturas mais elevadas, um dos componentes mais termossensíveis dos alimentos. Segundo SINGH & LUND (1984) entre os fatores que influenciam a degradação da vitamina C, se encontram a temperatura, a atividade de água, o teor de água, o pH e a presença de oxigênio.

Em todos os períodos de armazenamento houve redução do teor de ácido ascórbico com o aumento da temperatura. KADAM et al. (2010) ao estudarem o pó de manga obtido através da secagem em camada de espuma, observaram declínio no teor de ácido ascórbico com o aumento da temperatura de secagem e concluíram ser em razão do ácido ascórbico ser termossensível.

Na Tabela 4.49 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar o teor de ácido ascórbico da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C; observa-se, em todas as temperaturas, que os melhores ajustes foram obtidos com a equação de quinto grau ($R^2 > 0,99$). Para a temperatura de 20 °C, a equação linear deve ser evitada para estimar os dados do teor de ácido ascórbico, visto que, apresentou $R^2 < 0,8$. As equações quadrática, cúbica e de quarto grau também podem ser utilizadas para estimar os dados com precisão; já para a temperatura de 30 °C, constata-se que apenas as equações linear e quadrática não apresentaram bons ajustes com coeficientes de determinação $R^2 < 0,8$ não podendo estimar o teor de ácido ascórbico em função do tempo de armazenamento caso em que as equações cúbica, a de quarto e quinto graus, são adequadas para representar os dados experimentais com precisão; na temperatura de 40 °C a equação linear apresentou $R^2 < 0,8$, devendo-se evitar o seu uso; as demais equações se mostraram apropriadas para representar o teor de ácido ascórbico em função do tempo. Resultados semelhantes foram obtidos por SILVA FILHO (2012) ao estudar o armazenamento da manga Haden em pó sendo que a equação cúbica foi a que melhor descreveu o comportamento do ácido ascórbico da manga Haden em pó em função do tempo de armazenamento.

Tabela 4.49 – Equações de regressão propostas para o teor de ácido ascórbico da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$AA = 3,82384 - 1,30890t^{**}$	0,6366
	$AA = 13,76612 - 3,63970t + 0,38847t^{2**}$	0,8048
	$AA = 13,163 - 8,29880t + 2,48506t^2 - 0,23295t^{3**}$	0,9604
	$AA = 12,49019 - 11,50726t + 5,30370t^2 - 0,99428t^3 + 0,063444t^{4**}$	0,9845
	$AA = 13,60748 - 11,22607t + 12,07706t^2 - 4,20987t^3 + 0,67919t^4 - 0,04105t^{5**}$	0,9999
30	$AA = 12,80895 - 1,30675t^{**}$	0,6178
	$AA = 12,57421 - 3,42506t + 0,35305t^{2**}$	0,7531
	$AA = 13,23819 - 8,97166t + 2,84902t^2 - 0,2773t^{3**}$	0,9678
	$AA = 13,46570 - 11,20878t + 4,81440t^2 - 0,80817t^3 + 0,04423t^{4**}$	0,9793
	$AA = 13,59657 - 16,47411t + 12,37213t^2 + 4,39619t^3 + 0,73130t^4 - 0,045804t^{5**}$	0,9978
40	$AA = 13,63693 - 1,66723t^{**}$	0,7218
	$AA = 12,90014 - 4,49108t + 0,47064t^{2**}$	0,8944
	$AA = 13,10748 - 8,21554t + 2,14664t^2 - 0,18622t^{3**}$	0,9639
	$AA = 13,46971 - 11,77744t + 5,27588t^2 - 1,03142t^3 + 0,07043t^{4**}$	0,9847
	$AA = 12,58700 - 11,49469t + 12,050109t^2 - 4,24746t^3 + 0,68626t^4 - 0,04105t^{5**}$	0,9955

Em que: AA – valor do ácido ascórbico; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

Na Tabela 4.50 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar o ácido ascórbico da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Observa-se, na temperatura de 20 °C, que as equações linear e de quarto grau podem ser utilizadas para estimar o ácido ascórbico com o melhor ajuste para a de quarto grau; na temperatura de 30 °C apenas as equações de terceiro e quarto graus podem ser utilizadas para predizer o ácido ascórbico ($R^2 > 0,8$). E na temperatura de 40 °C apenas a equação linear não pode ser usada para estimar o ácido ascórbico ($R^2 < 0,8$).

O comportamento apresentado pelas amostras submetidas a uma umidade relativa de 83% foi semelhante ao encontrado para a umidade relativa de 55%; observando a Tabela 4.50 confirma-se, por meio de equações lineares, a tendência de redução do teor de ácido ascórbico com o tempo de armazenamento, em todas as condições avaliadas de temperatura.

Tabela 4.50 – Equações de regressão propostas para o teor de ácido ascórbico da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$AA = 13,35666 - 1,65857t^{**}$	0,9485
	$AA = 13,56136 - 7,14707t + 3,89608t^2 - 0,93781t^3 + 0,072904t^4^{**}$	0,9972
30	$AA = 13,58762 - 1,40572 t^{**}$	0,6987
	$AA = 12,58166 - 2,59857 t + 0,19809 t^{2**}$	0,7407
	$AA = 13,80888 - 6,68931 t + 2,03964 t^2 - 0,20454 t^{3**}$	0,8548
	$AA = 13,55908 - 14,06622 t + 8,52049 t^2 - 1,95499 t^3 + 0,14587 t^{4**}$	0,9765
40	$AA = 13,69262 - 1,37595t^{**}$	0,6455
	$AA = 13,66325 - 3,74071t - 0,39412t^{2**}$	0,8044
	$AA = 12,98603 - 8,14997t + 2,37829t^2 - 0,22046t^{3**}$	0,9322
	$AA = 13,46272 - 12,83741t + 6,49634t^2 - 1,33274t^3 + 0,09269t^{4**}$	0,9897
	$AA = 13,59542 - 12,17631t - 12,1597t^2 - 4,9709t^3 + 0,78935t^4 - 0,04644t^{5**}$	0,9976

Em que: AA – valor do ácido ascórbico; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

4.9.6 – Luminosidade (L*)

Das análises de variância da luminosidade da polpa da manga em pó em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR – 55 e 83%) observaram-se efeitos significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F, para as fontes de variação temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para interação entre os dois fatores.

São apresentados, na Tabela 4.51, os valores médios da luminosidade da amostra em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.

Analisando os valores médios da luminosidade das amostras em pó nas diferentes temperaturas, verifica-se uma redução ao longo do tempo de armazenamento; significando que houve escurecimento das amostras durante o período de armazenamento em todos os tempos de armazenamento houve redução da luminosidade com o aumento da temperatura.

Muitos pigmentos naturais são destruídos pelo aquecimento durante o processamento e o armazenamento, pela alteração de pH ou oxidação de compostos e, como resultado, os alimentos processados podem perder a cor característica e, em contrapartida, seu valor comercial. O escurecimento não enzimático (reação de Maillard e a oxidação do ácido ascórbico, por exemplo) é uma causa importante na alteração de cor dos alimentos (FELLOWS, 2006).

Tabela 4.51 – Valores médios da luminosidade da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo armazenamento (dias)	Luminosidade		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	65,41 aA	65,41 aA	65,41 aA
10	64,85 bA	63,12 bB	58,53 bC
20	62,83 cA	61,27 cB	56,96 cC
30	60,53 dA	53,54 dB	52,25 dC
40	57,64 eA	52,95 eB	51,53 eC
50	56,21 fA	51,01 fB	50,18 fC
60	53,29 gA	49,60 gB	46,65 gC

DMS para colunas = 0,04; DMS para linhas = 0,03 ; MG =57,10; CV% =0,03 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na temperatura de 40 °C foram encontradas as maiores reduções na luminosidade, ou seja, verificou-se um escurecimento progressivo das amostras com o tempo atingindo

um percentual de redução de 28,65% ao final dos 60 dias, em relação ao tempo inicial. LISBÔA et al. (2012) ao estudarem a cor no pó de figo-da-índia e acompanhando as alterações deste parâmetro em amostras armazenadas sob temperaturas e umidades relativas controladas, verificaram que nas amostras armazenadas em ambiente com umidade relativa de cerca de 53%, também houve diminuição da luminosidade, ao final de 100 dias de armazenamento.

Verifica-se que nos tempos de armazenamento dos 10 aos 60 dias, os valores das luminosidades das amostras expostas a 20 °C foram superiores aos das temperaturas de 30 °C e 40 °C, indicando influência da temperatura na luminosidade. GALDINO (2011) também observou, em estudo com figo-da-índia em pó, que na temperatura de 25 °C o parâmetro da luminosidade era maior a esta temperatura.

Na Tabela 4.52 são apresentados os valores médios da luminosidade da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C com umidade relativa de 83%.

Tabela 4.52 – Valores médios da luminosidade da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo armazenamento (dias)	Luminosidade (L*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	65,41 aA	65,41 aA	65,41 aA
10	62,84 bA	61,93 bA	59,62 bB
20	59,06 cA	58,89 cA	56,45 cB
30	55,27 dA	55,78 dA	54,78 cdA
40	55,13 deA	54,82 deA	53,50 dA
50	52,77 eA	54,82 deA	53,50 dA
60	53,46 deA	51,03 fB	47,95 fC

DMS para colunas = 2,06; DMS para linhas = 1,62; MG =56,81; CV% = 1,44 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observando-se que a luminosidade diminuiu com o tempo de armazenamento, em todas as temperaturas avaliadas, denotando escurecimento das amostras; tal comportamento ocorre, conforme COULTATE (2004), em razão de que, quando os açúcares são aquecidos uma série de reações ocorre dando origem a pigmentos escuros associados à caramelização e à torrefação; assim como na umidade relativa média de 55%, as amostras armazenadas a 20 °C apresentaram, dos 10 aos 60 dias de armazenamento, valores superiores de luminosidade quando comparada com a das temperaturas de 30 °C e 40 °C; as amostras sob temperatura de 40 °C foram escurecendo ao longo do tempo atingindo o percentual de redução de luminosidade no final do armazenamento em relação ao início, de 26,65%. FIGUEIRÊDO et al. (2005) ao estudarem a cor no pó de acerola verificaram uma redução da luminosidade nas amostras armazenadas em ambiente com umidade relativa média de 83%, ao final de trinta dias de armazenamento.

Na Tabela 4.53 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a luminosidade da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C; nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C observa-se que todas as equações podem ser utilizadas para estimar os dados da luminosidade pois apresentaram $R^2 > 0,8$, com os melhores ajustes com a equação de quinto grau; resultados semelhantes foram obtidos por SILVA FILHO (2012) ao estudar o armazenamento da manga Haden em pó, que utilizou a equação cúbica e de quarto grau para descrever a luminosidade da manga Haden em pó em função do tempo de armazenamento.

Tabela 4.53 – Equações de regressão propostas para a luminosidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp (°C)	Equação	R ²
20	$L = 65,47154 - 1,8855t^{**}$	0,9368
	$L = 64,79000 - 1,067730t - 0,13630t^{2**}$	0,9515
	$L = 65,4994 - 3,43255t + 0,92785t^2 - 0,11824t^{3**}$	0,9799
	$L = 65,30924 - 1,56230t - 0,71521t^2 + 0,32555t^3 - 0,03698t^{4**}$	0,9857
	$L = 65,37468 - 4,19503t + 3,06374t^2 - 1,46850t^3 + 0,30655t^4 - 0,022902t^{5**}$	0,9891
30	$L = 65,43011 - 2,59273t^{**}$	0,9653
	$L = 65,60174 - 2,79869t + 0,034325t^{2**}$	0,9658
	$L = 65,94785 - 3,95239t + 0,55349t^2 - 0,05768t^{3**}$	0,9695
	$L = 65,63883 - 0,09136t - 2,11614t^2 + 0,66337t^3 - 0,060088t^{4**}$	0,9779
	$L = 65,41283 + 8,17877t - 15,167190t^2 + 6,85932t^3 - 1,24654t^4 + 0,07909t^{5**}$	0,9999
40	$L = 62,44964 - 2,71226t^{**}$	0,8922
	$L = 63,47126 - 3,93821t + 0,20432t^{2**}$	0,9526
	$L = 64,84293 - 8,51043t + 2,26182t^2 - 0,22861t^{3**}$	0,9563
	$L = 65,53300 - 15,29607t + 8,22321t^2 - 1,83876t^3 + 0,13417t^{4**}$	0,9916
	$L = 65,39288 - 9,65861t + 0,13134t^2 + 2,00283t^3 - 0,60144t^4 + 0,04904t^{5**}$	0,9988

Em que: L – luminosidade; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01)

Na Tabela 4.54 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a luminosidade da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Observando a Tabela 4.54 confirma-se, por meio de equações lineares, a tendência de redução da luminosidade com o tempo de armazenamento em todas as condições avaliadas de temperaturas e umidade relativa.

Tabela 4.54 – Equações de regressão propostas para a luminosidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$L = 65,41976 - 1,83642t^{**}$	0,9813
	$L = 65,09357 - 1,4450t - 0,06523t^2$	0,9851
	$L = 65,23023 - 1,90055t + 0,13976t^2 - 0,02277t^{3**}$	0,9862
	$L = 65,34945 - 3,07289t + 1,16969t^2 - 0,30095t^3 + 0,02318t^{4**}$	0,9887
	$L = 65,37683 - 4,17452t + 2,75094t^2 - 1,05165t^3 + 0,16693t^4 - 0,00958t^{5**}$	0,9894
30	$L = 63,85654 - 2,19488t^{**}$	0,9465
	$L = 64,34920 - 2,78607t + 0,09853t^{2**}$	0,9522
	$L = 65,01198 - 4,99533t + 1,09269t^2 - 0,11046t^{3**}$	0,9707
	$L = 65,44672 - 9,27027t + 4,84837t^2 - 1,12485t^3 + 0,08453t^{4**}$	0,9934
	$L = 65,38430 - 6,75888t + 1,24357t^2 + 0,58650t^3 - 0,24317t^4 + 0,021847t^{5**}$	0,9957
40	$L = 62,25273 - 2,55297t^{**}$	0,8732
	$L = 63,59063 - 4,15845t + 0,26757t^{2**}$	0,9020
	$L = 64,79785 - 8,18252t + 2,07841t^2 - 0,20120t^{3**}$	0,9438
	$L = 65,54220 - 15,50197t + 8,50877t^2 - 1,93802t^3 + 0,14473t^{4**}$	0,9892
	$L = 65,39105 - 9,42067t - 0,22018t^2 + 2,20602t^3 - 0,64880t^4 + 0,052902t^{5**}$	0,9984

Em que: L – luminosidade; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01)

4.9.7 – Intensidade de vermelho (+a*)

Das análises de variância da intensidade de vermelho da polpa da manga em pó em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR – 55 e 83%) observou-se efeitos significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para interação entre os dois fatores.

Tem-se na Tabela 4.55 os valores médios da intensidade de vermelho da amostra em pó, armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas

temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%; observa-se que a intensidade de vermelho das amostras em pó, quando avaliadas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C aumentou ao longo do tempo de armazenamento; este aumento no final do armazenamento em relação ao início, foi de 18,34; 72,85 e 82,35%, respectivamente, significando que as amostras se tornaram mais vermelhas, o que pode ser devido à degradação de pigmentos e/ ou ao ácido ascórbico; comportamento semelhante foi verificado por SILVA et al. (2005) ao estudarem o armazenamento do umbu-cajá em pó durante 60 dias.

Tabela 4.55 – Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Intensidade de vermelho (+a*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	10,83 fA	10,83 gA	10,83 gA
10	11,74 eC	13,09 fB	14,87 fA
20	11,77 eC	14,31 eB	16,84 eA
30	11,93 dC	16,12 dB	17,69 dA
40	12,47 cC	17,53 cB	18,64 cA
50	12,71 bC	18,46 bB	19,23 bA
60	12,82 aC	18,72 aB	19,74 aA

DMS para colunas = 0,06; DMS para linhas = 0,04; MG =14,82; CV% = 0,15 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

LISBÔA et al. (2012) verificaram ao estudarem o armazenamento do figo-da-índia em pó que a intensidade de vermelho das amostras armazenadas aumentou com o tempo, sendo afetada principalmente pela temperatura de armazenamento chegando a atingir entre 79% de acréscimo a 40 °C, semelhante ao encontrado neste trabalho para a temperatura de 40 °C, que apresentou aumento de 82,35% na intensidade do vermelho aos 60 dias de armazenamento.

Constata-se que dos 10 até os 60 dias a intensidade de vermelho aumentou com o aumento da temperatura significando que houve influência da temperatura sobre este parâmetro.

Na Tabela 4.56 são apresentados os valores médios da intensidade do vermelho da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C com umidade relativa de 83%.

Tabela 4.56 – Valores médios da intensidade de vermelho da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Intensidade de vermelho (+a*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	10,83 cA	10,83 cA	10,83 cA
10	11,70 bB	13,25 eC	14,00 dA
20	11,58 bB	14,43 dC	16,89 cA
30	12,44 abB	16,25 cD	18,08 bCA
40	12,97 aB	17,64 dC	18,73 abA
50	13,38 aB	18,55 aB	19,25 aA
60	13,79 aB	18,88 aB	19,42 aA

DMS para colunas = 1,18; DMS para linhas = 0,78; MG = 15,87; CV% = 3,31 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Da mesma maneira que nas amostras armazenadas na umidade relativa média de 55%, houve aumento da intensidade do vermelho com o tempo de armazenamento nas três temperaturas sendo que na temperatura de 40 °C os acréscimos foram maiores que nas demais temperaturas atingindo o percentual de cerca de 79,32% no final do armazenamento.

Dos 10 dias até os 60 dias constata-se aumento da intensidade de vermelho com o aumento da temperatura, significando que também houve influência da temperatura sobre

este parâmetro; assim, as amostras armazenadas a 40 °C eram mais vermelhas do que as amostras armazenadas a 20 e 30 °C.

Na Tabela 4.57 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a intensidade de vermelho da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.57 – Equações de regressão propostas para a intensidade de vermelho (+a*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$+ a^* = 10,38869 - 0,57511t^{**}$	0,7381
	$+ a^* = 10,85317 - 3,25287t + 0,0928968t^{2**}$	0,7959
	$+ a^* = 11,48928 - 3,25287t + 1,04706t^2 - 0,10601t^{3**}$	0,9894
	$+ a^* = 11,53649 - 3,71708t + 1,45488t^2 - 0,21617t^3 + 0,00917t^{4**}$	0,9924
	$+ a^* = 11,5700 - 5,06617t + 3,39134t^2 - 1,13549t^3 + 0,18522t^4 - 0,011736t^{5**}$	0,9999
30	$+ a^* = 10,37011 - 0,55750t^{**}$	0,8544
	$+ a^* = 10,98619 - 1,29678t + 0,2321t^{2**}$	0,9149
	$+ a^* = 10,98619 - 3,18752t + 0,97404t^2 - 0,09453t^{3**}$	0,9991
	$+ a^* = 11,56711 - 3,32225t + 1,09241t^2 - 0,12650t^3 + 0,00917t^{4**}$	0,9994
	$+ a^* = 11,5723 - 3,53459t + 1,39720t^2 - 0,27120t^3 + 0,030372t^4 - 0,001847t^{5**}$	0,9996
40	$+ a^* = 10,32797 - 0,53964t^{**}$	0,8922
	$+ a^* = 11,10396 - 1,47083t + 0,15519t^{2**}$	0,9526
	$+ a^* = 11,61896 - 3,18750t + 0,92769t^2 - 0,08583t^{3**}$	0,9563
	$+ a^* = 11,6000 - 3,00168t + 0,76445t^2 - 0,041742t^3 + 0,00367t^{4**}$	0,9916
	$+ a^* = 11,57447 - 1,97190t + 0,71366t^2 + 0,65999t^3 - 0,13804t^4 - 0,00895t^{5**}$	0,9988

Em que: +a* – intensidade de vermelho; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01).

Para a temperatura de 20 °C observa-se que as equações linear e quadrática não resultaram em um bom ajuste com $R^2 < 0,8$ devendo ser evitado seu uso; já as equações

cúbica, de quarto e quinto grau, resultaram em $R^2 > 0,8$ podendo-se utilizar qualquer uma na predição do comportamento da intensidade de vermelho; já nas temperaturas de 30 e 40 °C todas as equações avaliadas podem ser usadas na predição da intensidade de vermelho por apresentarem $R^2 > 0,8$, com melhor ajuste para a de quinto grau. LISBÔA (2010) verificou, para amostras armazenadas a 25 e 40 °C, que a equação quadrática se ajustou bem aos dados com coeficientes de determinação maiores que 0,9.

Na Tabela 4.58 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a intensidade de vermelho da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Tabela 4.58 – Equações de regressão propostas para a intensidade de vermelho (+a*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$+a^* = 10,63988 - 0,56392t^{**}$	0,7598
	$+a^* = 10,89761 - 3,0009t + 0,05154t^{2**}$	0,7788
	$+a^* = 11,53595 - 3,25287t + 1,00904t^2 - 0,10638t^{3**}$	0,9875
	$+a^* = 11,52783 - 2,92117t + 0,93892t^2 - 0,08744t^3 + 0,00157t^{4**}$	0,9876
	$+a^* = 11,56938 - 4,59277t + 3,33830t^2 - 1,22654t^3 + 0,21654t^4 - 0,01454t^{5**}$	0,9999
30	$+a^* = 10,84750 - 0,62107t^{**}$	0,8902
	$+a^* = 11,10603 - 2,25538t + 0,051706t^{2**}$	0,9087
	$+a^* = 11,50325 - 2,25538t - 0,64753t^2 - 0,06620t^{3**}$	0,9867
	$+a^* = 11,52565 - 2,47567t + 0,841073t^2 - 0,11847t^3 + 0,00435t^{4**}$	0,9874
	$+a^* = 11,52565 - 4,13450t + 3,22211t^2 - 1,24886t^3 + 0,22081t^4 - 0,01443t^{5**}$	0,9992
40	$+a^* = 11,03107 - 0,68226t^{**}$	0,9539
	$+a^* = 11,29317 - 0,99678t + 0,05242t^{2**}$	0,9708
	$+a^* = 11,4659 - 2,15568t + 0,82375t^2 - 0,02879t^{3**}$	0,9839
	$+a^* = 11,52523 - 3,00168t + 0,76445t^2 - 0,16712t^3 + 0,01152t^{4**}$	0,9883
	$+a^* = 11,56401 - 3,71552t + 3,06271t^2 - 1,23006t^3 + 0,21506t^4 - 0,01356t^{5**}$	0,9976

Em que: +a* – intensidade de vermelho; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Para as amostras armazenadas na temperatura de 20°C deve-se evitar as equações linear e quadrática, pois apresentaram $R^2 < 0,8$; as demais equações podem ser utilizadas na predição deste parâmetro; para as temperaturas de 30 e 40 °C todas as equações avaliadas podem ser utilizadas para estimar a intensidade de vermelho ($R^2 > 0,8$).

4.9.8 – Intensidade de amarelo (+b*)

Das análises de variância da intensidade de amarelo da polpa da manga em pó em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR – 55 e 83%) observaram-se efeitos significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para interação entre os dois fatores.

São apresentados, na Tabela 4.59, os valores médios da intensidade de amarelo da amostra em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.

Tabela 4.59 – Valores médios da intensidade de amarelo da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Intensidade de amarelo (+b*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	45,39 aA	45,39 aA	45,39 aA
10	39,15 bA	35,84 bC	37,35 bB
20	37,11 cA	35,63 bB	36,14 cB
30	34,15 dB	35,75 bA	33,53 dB
40	32,94 eA	31,45 cFB	33,34 dA
50	32,5 eA	31,41 cB	32,93 dA
60	32,23 eA	31,11 cB	29,44 eC

DMS para colunas = 0,96; DMS para linhas = 0,76; MG = 35,62; CV% = 1,07 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se que a intensidade de amarelo diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento, em todas as temperaturas; esta redução na intensidade do amarelo foi causada, provavelmente, pela degradação de pigmentos e ácido ascórbico e pela incorporação dos aditivos que tornaram o produto menos amarelo. LOUREIRO et al. (2013) ao estudarem esse parâmetro para o buriti em pó verificaram que não houve diferença estatística significativa entre os valores médios de +b* com o tempo de armazenamento.

Na Tabela 4.60 são apresentados os valores médios da intensidade de amarelo da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C com umidade relativa de 83%, Constatando-se que a intensidade de amarelo diminuiu com o tempo de armazenamento.

Tabela 4.60 – Valores médios da intensidade de amarelo da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dias)	Intensidade de amarelo (+b*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	45,39 aA	45,39 aA	45,39 aA
10	39,65 bA	39,29 bA	36,44 bcB
20	38,21 bcA	37,22 cA	37,62 bA
30	36,34 cA	36,22 cA	35,73 bcdA
40	32,82 dC	36,84 cA	35,11 cdB
50	32,23 dC	36,63 cA	34,45 dB
60	31,34 dB	33,44 dA	29,74 eC

DMS para colunas =1,92; DMS para linhas = 1,51; MG = 36,93; CV% =2,06 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

LIMA (2006) estudando o armazenamento da farinha de facheiro, em temperatura ambiente, após 60 dias de armazenamento, observou uma diminuição no valor da intensidade de amarelo, de cerca de 20%.

Na Tabela 4.61 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a intensidade de amarelo da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C; observa-se, nas três temperaturas que todas as equações avaliadas podem ser utilizadas para estimar a intensidade de amarelo ($R^2 > 0,8$), com melhor ajuste com a equação de quinto grau. ARLINDO et al. (2007) ao estudarem o armazenamento do pimentão em pó durante 100 dias, verificaram que a equação quadrática foi satisfatória no ajuste dos dados experimentais.

Tabela 4.61 – Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo (+b*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$+b^* = 42,95178 - 1,61059t^{**}$	0,8482
	$+b^* = 43,96706 - 6,41781t + 0,20305t^{2**}$	0,8886
	$+b^* = 45,04373 - 3,25287t + 1,81805t^2 - 0,17944t^{3**}$	0,9699
	$+b^* = 45,25009 - 8,44705t + 3,60080t^2 - 0,66095t^3 - 0,04012t^{4**}$	0,9784
	$+b^* = 45,35997 - 12,86793t - 9,94643t^2 - 3,67352t^3 + 0,61700t^4 - 0,03845t^{5**}$	0,9903
30	$+b^* = 42,95178 - 1,61059t^{**}$	0,8442
	$+b^* = 43,96706 - 2,82892t + 0,20305t^{2**}$	0,9000
	$+b^* = 45,04373 - 6,41781t + 1,81805t^2 + 0,17944t^{3**}$	0,9699
	$+b^* = 45,25009 - 8,44705t + 3,60080t^2 - 0,66095t^3 + 0,04012t^{4**}$	0,9784
	$+b^* = 45,35997 - 12,86793t + 9,94643t^2 - 3,67352t^3 + 0,61700t^4 - 0,03845t^{5**}$	0,9903
40	$+b^* = 42,90964 - 2,45797t^{**}$	0,9190
	$+b^* = 44,46063 - 4,31916t + 0,31019t^{2**}$	0,9629
	$+b^* = 45,19007 - 6,75064t + 1,40436t^2 - 0,12157t^{3**}$	0,9803
	$+b^* = 45,53391 - 10,13165t + 4,37468t^2 - 0,92384t^3 + 0,06685t^{4**}$	0,9913
	$+b^* = 45,39887 - 4,69855t + 3,42385t^2 + 2,77849t^3 - 0,64210t^4 + 0,04726t^{5**}$	0,9996

Em que: +b* – intensidade de amarelo; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Na Tabela 4.62 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a intensidade de amarelo da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C; observa-se, nas três temperaturas, que todas as equações avaliadas podem ser utilizadas para estimar a intensidade de amarelo ($R^2 > 0,8$), com melhor ajuste com a equação de quinto grau. RAMOS et al. (2008), em estudo do armazenamento de abacaxi desidratado e armazenado em embalagem de polietileno, verificaram que a equação linear foi satisfatória no ajuste dos dados experimentais, com $R^2 = 0,99$.

Tabela 4.62 – Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo (+b*) da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$+b^* = 42,78869 - 1,42369t^{**}$	0,8128
	$+b^* = 44,19285 - 3,10869t + 0,28083t^{2**}$	0,9077
	$+b^* = 45,05785 - 5,99202t + 1,57833t^2 - 0,14416t^{3**}$	0,9721
	$+b^* = 45,36558 - 9,01800t + 4,23675t^2 - 0,86219t^3 - 0,05983t^{4**}$	0,9953
	$+b^* = 45,37117 - 9,24312t + 4,55988t^2 - 1,01559t^3 + 0,08921t^4 - 0,001958t^{5**}$	0,9953
30	$+b^* = 43,1870 - 1,90583t^{**}$	0,8899
	$+b^* = 44,09158 - 2,99130t + 0,18091t^{2**}$	0,9130
	$+b^* = 44,90547 - 5,70427t + 1,40174t^2 - 0,13564t^{3**}$	0,9477
	$+b^* = 45,41255 - 10,69053t + 5,78233t^2 - 1,31882t^3 + 0,09859t^{4**}$	0,9862
	$+b^* = 45,35283 - 8,2877t + 2,33337t^2 + 0,31855t^3 - 0,21494t^4 + 0,020902t^{5**}$	0,9888
40	$+b^* = 43,32511 - 2,34440t^{**}$	0,8828
	$+b^* = 43,73920 - 2,84130t + 0,08281t^{2**}$	0,8862
	$+b^* = 44,62198 - 5,78390t + 1,40698t^2 - 0,14712t^{3**}$	0,9130
	$+b^* = 45,42347 - 13,66525t + 8,33099t^2 - 2,01728t^3 + 0,15584t^{4**}$	0,9761
	$+b^* = 45,32915 - 9,87022t + 2,88370t^2 + 0,56880t^3 - 0,33936t^4 + 0,03301t^{5**}$	0,9804

Em que: +b* – intensidade de amarelo; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

4.9.9 – Solubilidade

Das análises da variância da solubilidade da polpa da manga em pó em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR – 55 e 83%) foram observados efeitos significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, para as fontes de variação de temperatura de armazenamento e tempo de estocagem (dias) e para interação entre os dois fatores.

Segundo PEÑA (2003), quando um pó está em contato com a superfície de um líquido, as etapas que ocorrem são: molhabilidade (*wettability*), que consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó devido à capilaridade; imersibilidade (*sinkability*), que é a imersão das partículas ou de porções do pó no líquido; dispersibilidade, ou seja, a dispersão do pó no líquido e a solubilidade, que é a dissolução das partículas pelo líquido, desde que essas sejam solúveis.

Na Tabela 4.63 são apresentados os valores médios da solubilidade da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%.

Tabela 4.63 – Valores médios da solubilidade da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Solubilidade (min)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	4,35 fA	4,35 gA	4,35 gA
10	4,57 eC	4,68 fB	4,84 fA
20	4,81 dB	4,98 eA	5,01 beA
30	5,02 cC	5,55 cB	5,61 dA
40	5,52 bC	5,95 aB	5,99 aB
50	5,94 aA	5,43 dC	5,69 cB
60	5,94 aC	6,05 bB	6,12 bA

DMS para colunas = 0,04; DMS para linhas = 0,03; MG = 5,16; CV% = 0,19 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se que o tempo para solubilizar a amostra aumentou com o tempo de armazenamento indicando que, com o tempo as amostras se tornaram mais difíceis de solubilizar. É provável que este comportamento tenha ocorrido em razão do aumento do teor de água com o tempo, fazendo com que haja uma tendência de aglomeração das partículas, e com isto a solubilidade se torne mais difícil; aos 60 dias de armazenamento houve aumento de 26,90; 39,31 e 40,92% na solubilidade em relação ao valor inicial, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente.

Comparando os valores da solubilidade dentro de cada tempo, verifica-se tendência de aumento dos valores da solubilidade com o aumento da temperatura demonstrando influência da temperatura de armazenamento sobre este parâmetro, indicando que o aumento da temperatura é desfavorável para uma solubilidade melhor do produto, em razão de que, com o aumento da temperatura, obteve-se maior absorção de água e, conseqüentemente, as partículas se encontravam mais ligadas, dificultando sua dissolução. SANTOS et al. (2005) ao estudarem a dissolução de microcápsulas de oleoresina de páprica obtidas por atomizaao com goma arábica e com grânulos porosos de amido de arroz com gelatina, verificaram que os pós obtidos com ambos os materiais se dissolveram completamente após 5 minutos sob agitaao mecânica em água, óleo e etanol.

Na Tabela 4.64 são apresentados os valores médios da solubilidade da polpa de manga em pó armazenada em embalagem laminada durante 60 dias de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C com umidade relativa de 83%.

Observa-se, também na umidade relativa média de 83%, que o tempo para solubilizar a amostra aumentou com o tempo de armazenamento porém nesta umidade a amostra levou um tempo maior para solubilizar-se, quando comparada com as amostras armazenadas a 55% indicando a influência da umidade relativa no processo; aos 60 dias de armazenamento houve um aumento de 39,08; 39,31 e 45,06% na solubilidade em relaao ao valor inicial, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente.

Tabela 4.64 – Valores médios da solubilidade da polpa manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dias)	Solubilidade (min)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	4,35 gA	4,35 gA	4,35 eA
10	4,67 fC	4,79 fB	4,93 dA
20	4,83 eB	4,99 eA	4,99 dA
30	5,13 cB	5,17 dB	5,47 cA
40	5,47 cB	5,43 cB	5,98 bA
50	5,67 bB	5,69 bB	6,06 bA
60	6,05 aB	6,06 aB	6,31 aA

DMS para colunas = 0,08; DMS para linhas = 0,06; MG = 5,27; CV% = 0,61 DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4.65 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a solubilidade da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Observa-se que nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C todas as equações testadas resultaram em bom ajuste com $R^2 > 0,8$ podendo-se usar qualquer uma delas na predição do comportamento da solubilidade, com a equação de quinto grau apresentando os melhores ajustes. SANTOS et al. (2010) ao estudarem o armazenamento de sopas desidratadas elaboradas com farinha de batata, armazenadas durante 90 dias verificaram que a equação linear poderia ser utilizada para representar a solubilidade, com bom boa precisão; pode-se confirmar, por meio das equações lineares, a tendência de aumento do valor da solubilidade com o tempo de armazenamento, em todas as temperaturas.

Tabela 4.65 – Equações de regressão propostas para a intensidade solubilidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 55%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$Sol = 4,26964 + 0,27250t^{**}$	0,9781
	$Sol = 4,34841 + 0,17797t + 0,01575t^{2**}$	0,9879
	$Sol = 4,36007 + 0,13908t + 0,03325t^2 - 0,001944t^{3**}$	0,9884
	$Sol = 4,34807 + 0,73844t - 0,84802t^2 + 0,42321t^3 - 0,08238t^4 + 0,00554t^{5**}$	0,9983
30	$Sol = 4,34202 + 0,26773t^{**}$	0,9649
	$Sol = 4,3946 + 0,20464t + 0,010515t^{2**}$	0,9694
	$Sol = 4,34496 + 1,09858t - 1,18034t^2 + 0,55187t^3 - 0,10520t^4 + 0,007041t^{5**}$	0,9887
40	$Sol = 4,31988 + 0,30559t^{**}$	0,9667
	$Sol = 4,7841 + 0,23535t + 0,01170t^{2**}$	0,9709
	$Sol = 4,41563 + 0,11128t + 0,06753t^2 - 0,00620t^{3**}$	0,9740
	$Sol = 4,5985 + 0,65977t - 0,41433t^2 + 0,12394t^3 - 0,010845t^{4**}$	0,9937
	$Sol = 4,34775 + 1,14672t - 1,11328t^2 + 0,45577t^3 - 0,07438t^4 + 0,004236t^{5**}$	0,9983

Em que: Sol – solubilidade; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01).

Na Tabela 4.66 tem-se as equações de regressão significativas propostas para estimar a solubilidade da manga em pó em função do tempo de armazenamento para umidade relativa de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C; o comportamento apresentado pelas amostras submetidas a uma umidade relativa de 83% foi semelhante aos encontrados para a umidade relativa de 55%; nas três temperaturas de armazenamento avaliadas todas as equações apresentaram bom ajuste aos dados experimentais da solubilidade e podem ser utilizadas de forma precisa para representar os valores médios da solubilidade das amostras; observa-se, através das equações lineares, tendência de aumento da solubilidade com o tempo de armazenamento, nas três temperaturas estudadas.

Tabela 4.66 – Equações de regressão propostas para a solubilidade da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm), durante o armazenamento a 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%

Temp. (°C)	Equação	R ²
20	$Sol = 4,338450 + 0,27654t^{**}$	0,9940
	$Sol = 4,36999 + 0,23869t + 0,006309t^{2**}$	0,9955
	$Sol = 4,34968 + 0,69913t + 0,28913t^2 - 0,05469t^3 - 0,05469t^4 + 0,00362t^{5**}$	0,9999
30	$Sol = 4,42321 + 0,26321t^{**}$	0,9857
	$Sol = 4,36769 + 0,46139t - 0,09126t^2 + 0,01028t^{3**}$	0,9973
	$Sol = 4,35309 + 0,60506t - 0,21749t^2 + 0,04436t^3 - 0,00284t^{4**}$	0,9993
40	$Sol = 4,346203 + 0,32678t^{**}$	0,9652
	$Sol = 4,3733 + 0,43321t - 0,01773t^{2**}$	0,9737
	$Sol = 4,40055 + 0,34247t + 0,02309t^2 - 0,00453t^{3**}$	0,9752
	$Sol = 4,37841 + 0,56021t - 0,16819t^2 + 0,04712t^3 - 0,00431t^{4**}$	0,9779
	$Sol = 4,34988 + 1,70813t - 1,81590t^2 + 0,82937t^3 - 0,15409t^4 + 0,00998t^{5**}$	0,9999

Em que: Sol – solubilidade; t – tempo de armazenamento (dias), ** - significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01).

4.10 – Cinética de degradação do ácido ascórbico

Tem-se, na Figura 4.15, os valores médios dos teores do ácido ascórbico (mg/100 g) da polpa de manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) em função do tempo de armazenamento, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C; observa-se que o teor de ácido ascórbico diminuiu com o tempo de armazenamento em todas as temperaturas avaliadas; o teor de ácido ascórbico variou de 25,29 a 14,92 mg 100 g⁻¹; 25,29 a 11,21 mg 100 g⁻¹ e de 25,29 a 7,79 mg 100 g⁻¹, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente. Ocorreu redução no teor do ácido ascórbico nos valores finais em relação aos valores iniciais de 41,00; 55,67 e 69,19%, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente, tais reduções podem ser mostradas como taxas de redução do ácido ascórbico de aproximadamente 0,69 mg 100g⁻¹ dia⁻¹ (20 °C); 0,94 mg 100g⁻¹ dia⁻¹ (30 °C) e 1,17 mg 100g⁻¹ dia⁻¹ (40 °C). YADLA (2013) encontraram uma redução do ácido ascórbico de 77,13% quando

estudaram durante 4 meses, o armazenamento do tomate, na temperatura de 28 °C; enquanto as maiores degradações foram verificadas nas maiores temperaturas de armazenamento.

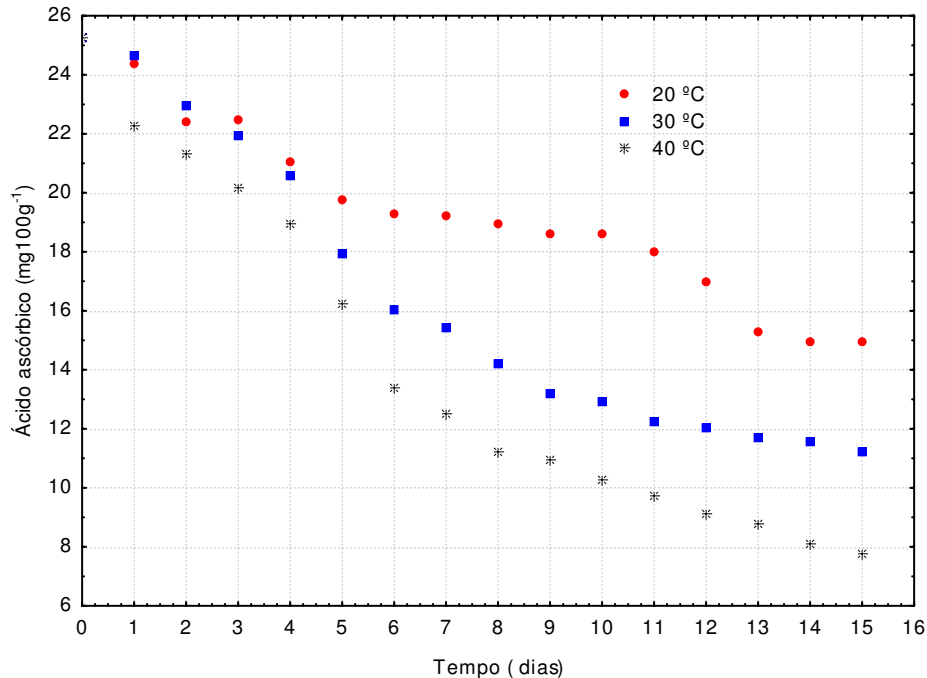


Figura 4.15 – Valores médios do ácido ascórbico da polpa de manga Keitt em pó (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm) em função do tempo de armazenamento, em diferentes temperaturas

Na Tabela 4.67 tem-se os parâmetros das equações de ordem zero e primeira ordem aplicadas à cinética da degradação do teor de ácido ascórbico da amostra em pó, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C; avaliando-se os resultados obtidos, constata-se que os maiores valores obtidos para o coeficiente de determinação (R^2) foram para a reação de primeira ordem ($R^2 > 0,9$). Segundo TAOUKIS & LABUZA (1996) podem ser aplicados modelos de primeira ordem a perdas de vitaminas, oxidação de pigmentos e crescimento microbiano. OLIVEIRA et al. (2013) ao estudarem a cinética de degradação do suco integral de manga nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C, concluíram que o modelo de primeira ordem se mostrou o mais adequado com $R^2 > 0,993$; as constantes da velocidade de reação (k) para o modelo de primeira ordem foram de 0,0423 dia⁻¹ (20 °C); 0,0703 dia⁻¹ (30 °C) e 0,0961 dia⁻¹ (40 °C), demonstrando a sensibilidade do ácido ascórbico à

temperatura de armazenamento; comportamento semelhante foi observado por TEIXEIRA et al. (2006), para goiabas industrializadas e por AL-ZUBAIDY & KHALIL (2007), para suco de limão.

O tempo de meia vida ($\Theta_{1/2}$), que denota o quanto mais rápida uma reação pode ocorrer para cada aumento de 10 °C na temperatura, foi determinado a partir da constante da velocidade (**k**) da reação de primeira ordem, constatando-se que com o aumento da temperatura há uma redução do tempo de meia vida, ou seja, o ácido ascórbico presente na amostra estudada é degradado mais rapidamente a altas temperaturas.

Tabela 4.67 – Parâmetros das equações de ordem zero e de primeira ordem da cinética de degradação do ácido ascórbico do pó da manga (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm) em três temperaturas de armazenamento

Temperatura (°C)	Ordem zero		Primeira ordem		$\Theta_{(1/2)}^*$ (dia)
	k (dia ⁻¹)	R ²	k (dia ⁻¹)	R ²	
20	0,8495	0,8647	0,0423	0,9198	16,38
30	1,2756	0,9136	0,0703	0,9783	9,86
40	1,5432	0,8839	0,0961	0,9807	7,21

$\Theta_{1/2}$ - tempo de meia vida, calculado com o valor de k de primeira ordem.

Na Figura 4.16 está representado o modelo cinético de primeira ordem da variação do teor de ácido ascórbico em função do tempo de armazenamento, para as amostras em pó da manga (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm); observa-se que com o aumento da temperatura ocorreu uma perda acentuada do ácido ascórbico, também verificado por GABAS et al. (2003) ao estudarem a degradação da vitamina C ao longo de 5 dias, nas temperaturas 40 a 80 °C, em ameixas liofilizadas.

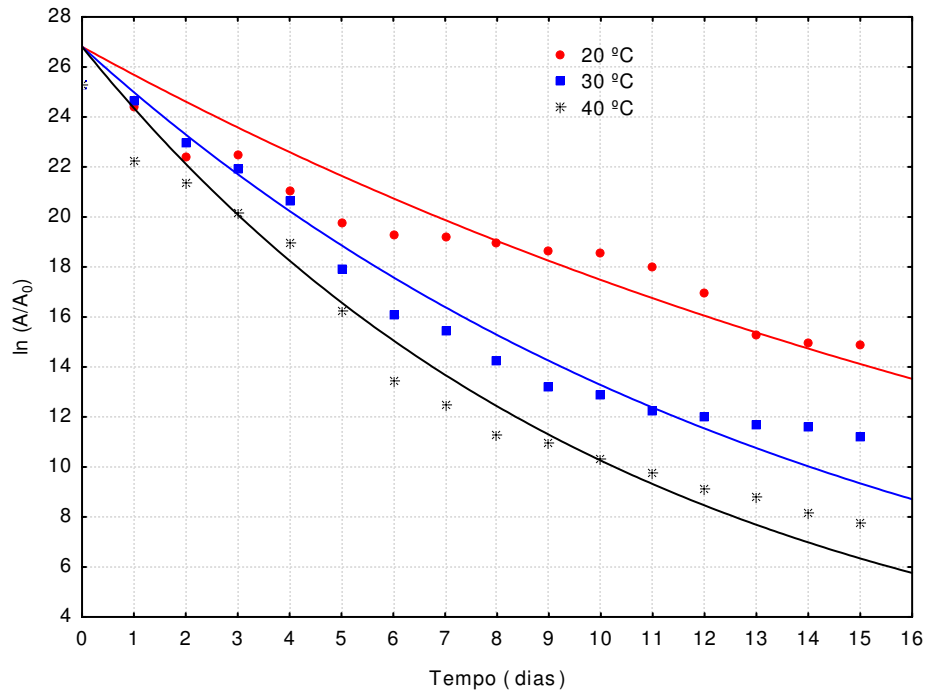


Figura 4.16 – Modelo cinético de primeira ordem do teor de ácido ascórbico da polpa de manga em pó (Tratamento 2 – 60 °C /0,5 cm) em função do tempo de armazenamento, em diferentes temperaturas

Na Figura 4.17 encontra-se a representação da constante cinética de primeira ordem da equação do tipo Arrhenius para a degradação do ácido ascórbico do pó de manga em pó; a partir da equação ajustada determinou-se a energia de ativação a partir do valor da inclinação da reta ($-E_a/R$) para amostra em pó.

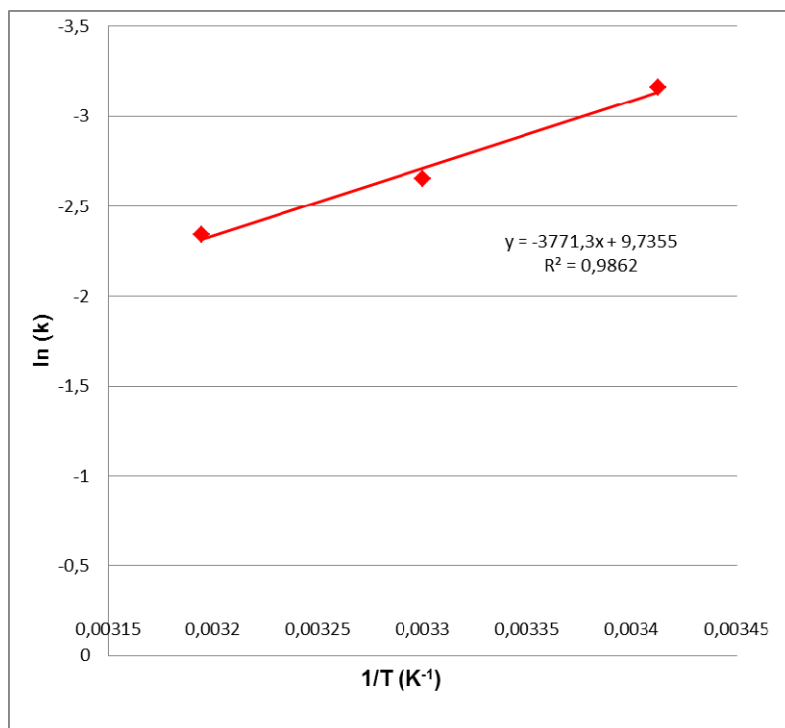


Figura 4.17 – Aplicação da equação de Arrhenius para os dados das constantes da velocidade de reação de primeira ordem para a degradação do ácido ascórbico do pó de manga (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm)

Na Tabela 4.68 são apresentados os parâmetros de Arrhenius e o coeficiente de reação (Q_{10}) para degradação do ácido ascórbico do pó de manga (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm); constata-se que o valor de Q_{10} foi de 1,52 (20-30 °C) e 1,49 (30-40 °C), significando que a maior degradação do ácido ascórbico foi entre 30-40 °C.

Observa-se que o valor da energia de ativação (31,34 kJ mol⁻¹) foi próximo ao determinado por ORIKASA et al. (2008) ao estudarem a degradação do ácido ascórbico em kiwi na faixa de temperatura de 40 a 70 °C e encontraram uma energia de ativação para o teor de ácido ascórbico de 38,6 kJ.mol⁻¹.

Tabela 4.68 – Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q_{10}) para a degradação do ácido ascórbico do pó de manga (Tratamento 2 – 60 °C/0,5 cm)

Temperatura (°C)	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de temperatura (Q_{10})	
	lnA	E_a (kJmol ⁻¹)	R^2	(20-30 °C)	(30-40 °C)
20-40	9,74	31,34	0,9862	1,52	1,49

5 - CONCLUSÕES

Caracterização da polpa integral e da polpa formulada

- A polpa de manga Keitt integral apresentou pH ácido e baixo teor de ácido ascórbico.
- A polpa da manga Keitt integral e a polpa formulada (Tratamento 2) se comportaram como fluidos não-newtonianos de caráter pseudoplástico. Dentre os modelos reológicos testados o modelo reológico de Mizrahi-Berk apresentou o melhor ajuste sendo recomendado para estimar a reologia da polpa integral e da espuma (Tratamento 2).
- A espuma selecionada com as melhores características para o processo de secagem em camada de espuma, foi a polpa da manga Keitt formulada com 1% de Emustab e 1% de Super Liga Neutra (Tratamento 2), para um tempo de batimento de 20 min, com densidade de $0,5170 \text{ g/cm}^3$.
- Os aditivos incorporados à polpa integral para formação da espuma influenciaram nas características químicas, físicas e físico-químicas das espumas.

Secagem em camada de espuma (Tratamento 2)

- As secagens da amostra do Tratamento 2 sofreram influência da temperatura de secagem e da espessura da camada de espuma sendo a secagem mais rápida nas temperaturas mais elevadas e com as menores espessuras.
- De modo geral, o modelo de Page foi o que resultou nos melhores ajustes aos dados experimentais das cinéticas de secagem podendo ser usado na predição da cinética de secagem da amostra do Tratamento 2 para todas as condições de temperatura e espessura da camada de espuma.

Caracterização dos produtos em pó (Tratamento 2)

- A temperatura de secagem influenciou no teor de água, ácido ascórbico, açúcares redutores, luminosidade, atividade de água, solubilidade, rendimento e densidade das amostras em pó do Tratamento 2 apresentando tendência de redução nos valores desses parâmetros com o aumento da temperatura de secagem, em todas as espessuras da camada de espuma;

- A espessura da camada de espuma teve influência na maioria dos parâmetros de forma diferente nos produtos em pó do Tratamento 2 nas diversas temperaturas; para o teor de água e a intensidade de amarelo observou-se tendência de aumento com o aumento da espessura da camada de espuma, em todas as temperaturas e para a luminosidade e densidade, tendência de decréscimo com o aumento da espessura, em todas as temperaturas de secagem;

- O modelo de Peleg apresentou os melhores ajustes às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos produtos em pó (Tratamento 2) desidratadas em diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, sendo classificados como Tipo III.

- O modelo de GAB proporcionou o melhor ajuste aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C do produto em pó (Tratamento 2 – desidratada a 60 °C, 0,5 cm), sendo classificados como Tipo III.

Armazenamento do produto em pó (Tratamento 2 - desidratada a 60 °C, 0,5 cm)

- Em todas as temperaturas e umidades relativas de armazenamento avaliadas verificou-se aumento do teor de água, atividade de água, intensidade de vermelho e solubilidade com o tempo de armazenamento; e redução do pH, ácido ascórbico, luminosidade e intensidade de amarelo;

- Em relação ao aumento da temperatura de armazenamento verificou-se, nas duas umidades relativas, nos tempos de 10 a 40 dias tendência de aumento do teor de água e da atividade de água; e redução do ácido ascórbico e da luminosidade.

Cinética de degradação do ácido ascórbico

- As maiores degradações ocorreram nas maiores temperaturas;
- A reação de primeira ordem foi a que melhor representou a cinética de degradação do ácido ascórbico;
- O tempo de meia vida diminuiu com o aumento da temperatura.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, B.; DI FALCO, S.; LOVETT, J. C. Household characteristics and forest dependency: evidence from community-based forest management in Nepal. **Ecological Economics**, v. 48, n. 2, p. 245-257, 2004.

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Influência do método de preparo e condições de secagem sobre a qualidade do café durante o período de armazenagem**. 2001. 351 f. Tese. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa; 2001.

AGRA, N. G. **Secagem e liofilização de manga: características físico-químicas, nutricionais e sensoriais**. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

AHMED, J.; RANASWAMY, H. S.; KHAN, A. R. Effect of water activity on glass transitions of date pastes. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 2, p. 253-258, 2005.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de teor de água da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P. D.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 640-646, 2013.

ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; BARROS NETO, A. L.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv. pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.

ALMEIDA, P.; MEIRA, T.; ALENCAR, L. C.; FREITAS, A.; HERCULANO, L. Avaliação físico-química de pós-alimentícios de manga (*Mangifera indica* L.) de diferentes variedades obtidas pelo processo de liofilização. In: ENCONTRO NACIONAL DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. CD-ROM.

ALVES, D.G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. 2003. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ALVES, J. A.; NASSUR, R. C.; RESENDE, M.; PIRES, C. R. F.; ALCÂNTARA, E. M. GIANNONI, J. A.; LIMA, L. C. O. Cinética de degradação de vitamina c em mangas 'palmer' minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 714-721, 2010.

ALVES, V. F. **Cinética da degradação do ácido ascórbico em suco de laranja concentrado**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2004.

ALVES, D.G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. 2003. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

AL-ZUBAIDY, M. M. I.; KHALIL, R. A. Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 254-259, 2007.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. Williams, S. (Ed) 14. Ed. Arlington, 1997. 1141p.

APPIAH F.; KUMAH, P., IDUN, I. Effect of ripening stage on composition, sensory qualities and acceptability of Keitt mango (*Mangifera indica* L.) chips. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 11, n. 5, p. 5096-5109, 2011.

ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN, A. I. **Food dehydration**. 2. ed. Westport: The Avi Publishing, 1964. v. 2, 721 p.

ARLINDO, D. M.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Armazenamento de pimentão em pó em embalagem de polietileno. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 2, p.111-118, 2007.

ASSIS, J. I. S. **Cultivo da mangueira: colheita e pós-colheita**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira/colheita.htm>> Acesso em: 21 ago. 2013.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; BRITO, E. S. Fundamentos de cinética de degradação e estimativa de vida de prateleira. In: AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Editora Técnica, 2004. p. 77-95.

AZEVEDO, A. C. S. **Estudo das enzimas oxidativas e presença de compostos bioativos em mangas (*Mangifera indica* L.) produzidas no Brasil**. 2006. 168 f. Tese. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNADI, M. R. Desidratação da polpa de manga "Tommy Atkins" utilizando a técnica de foam mat drying: avaliações químicas físico-químicas e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 4, p. 283-290, 2005.

BATES, R.P. Factores affecting foam production and estabilization of tropical fruit products. **Food Technology**, v. 8, n. 1, p. 93-96, 1964.

BELLAGHA, S.; SAHLI, A.; BENZID, M.; FARHAT, A. Desorption isotherms of fresh and osmotically dehydrated apples (*Golden delicious*). **Revue des Energies Renouvelables**, n. 2, p. 45-52, 2008.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extrattractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-573, 1998.

BENEVIDES, S. D.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; CASTRO, V. C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 571-578, 2008.

BERNARDI, S.; BODINI, R. B.; MARCATTI, B.; PETRUS, R. R.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Quality and sensorial characteristics of osmotically dehydrated mango with syrups of inverted sugar and sucrose. **Scientia Agrícola**, v. 66, n.1, p. 40-42, 2009.

BERNARDES-SILVA, A. P. F.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Evolução dos Teores de amido e açúcares solúveis durante o desenvolvimento e amadurecimento de diferentes cultivares de manga. **Ciência Tecnologia Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 116-120, 2003.

BEZERRA, J. R. M. V. **Estudo reológico do suco de manga: efeito dos sólidos insolúveis**. 1997. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

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

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; CLEMENTE, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 278-283, 2011.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; ROCHA, E. M. F. F. Comportamento higroscópico de pós de manga das variedades coité e espada e avaliação das características físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 3, p. 2186-2192, 2010.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2003. 223 p.

BRASIL. **Instrução normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000**. Estabelece o Regulamento Técnico para a Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para a polpa de fruta. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 jan. 2000. Seção 1, n. 6, p. 54-58.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Alice web**: dados das Exportações brasileiras por período. Brasília, DF, [2012]. Disponível em: <<http://aliceweb2.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 17 ago. 2013.

BRUNAUER, S. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

CALEGUER, V. F.; BENASSI, M. T. Efeito da adição de polpa, carboximetilcelulose e goma arábica nas características sensoriais e aceitação de preparados em pó para refresco sabor laranja. **Revista Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 270-277, 2007.

CAMPELO, I. K. M. **Secagem em camada de espuma da polpa do figo-da-índia**. 2009, 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 8, p. 1501-1507, 1982.

CARDELLO, H. M. A. B, CARDELLO, L. Teor de vitamin C, atividade de ascorbato oxidase e perfil sensorial de manga (*Mangifera indica L*) Var. Haden, durante o amadurecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, p 211-217, 1998.

CASTRO, A. L., **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. 2007. 334 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CATELAM, K. T., TRINDADE, C. S. F., ROMERO, J. T. Isotermas de adsorção e calor isostérico de sorção de polpa de maracujá desidratada por spray dryer e liofilizador com aditivos e leite desnatado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2003. 207 p.

CHAVES, M. A.; SOARES, E. C.; PINTO, E.G.; SOARES, R.D. Efeito da concentração do emustab nas características da espuma de araca-boi (*Eugenia stipitata* Mc Yaugh). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 21., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2008. CD-ROM.

CHITARRA, M. I. F., CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005, 785 p.

CHIUMARELLI, M. **Avaliação da vida-de-prateleira de manga (*Mangifera indica* cv 'Tommy Atkins') minimamente processada pré-tratada com ácido cítrico e coberturas comestíveis**. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p. 158-192.

COMUNIAN, T. A.; MONTERREY-QUINTERO, E.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P., FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based

carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 1259–1265, 2011.

CONCEIÇÃO, R. S. **Comportamento reológico da polpa de goiaba (*Psidium guajava*, L.)**. 2000. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

CORDENUNSI, B. R.; NASCIMENTO, J. R. O.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 9, p. 2581-2586, 2002.

CORREA, P. C.; AFONSO JUNIOR, P. C.; RIBEIRO, D. M.; SILVA, F. S. Equilíbrio higroscópico de milho, alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501 - 510, 2007.

CORREIA, R. C.; ARAUJO, J. L. P. **Mercado. Cultivo da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Sistema de Produção, 2. 2. ed. 2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira_2ed/mercado.htm> Acesso em: 10 jan. 2014.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista**

Ciência Agronômica, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

COSTELL, E.; DURÁN, L. Reología físico química de los zumos y purés de frutas. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 81-94, 1982.

COULTATE, T. P. **Alimentos: a química de seus componentes**. 3ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam mat drying**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DIÓGENES, A. M. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ A. J. M.; SANTOS, D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DJAENI, M.; PRASETYANINGRUM, A.; SASONGKO, S. B.; WIDAYAT, W., HIL, C. L. Application of foam-mat drying with egg white for carrageenan: drying rate and product quality aspects. **Journal of Food Science Technology**, v. 8, n. 3, p. 1-6, 2013.

DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air drying of pumpkin slices. **Journal of food engineering**, v.79, n. 1, p. 243-248, 2007.

DUFFIE, J. A; MARSHALL JR., W. R. Factors influencing the properties of spray dried materials. **Chemical Engineering Progress**, v. 49, n. 8, p. 417-423, 1953.

DURAN, L. Controle de qualidade de alimentos. In: FERREIRA, V. L. P.; CAMPOS, S. D. S. **Controle de qualidade na indústria de alimentos**. Campinas: ITAL, 1991. p. 1-13.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Banco de dados (2007). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_73_24112005115223.html. Acesso em: 10 fev. 2014.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2001. 690 p.

FAO - Food and Agriculture Organization. **FAOSTAT**, 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C. Caracterização da manga orgânica cultivar ubá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 9-14, 2009.

FAVERO, L. A. **A Cultura da Manga no São Francisco: posicionamento, limites, oportunidades e ações estratégicas**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2008. 230p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, 602 p.

FEMENIA, A.; SASTRE-SERRANO, G.; SIMAL, S.; GARAU, M. C.; EIM, V. S.; ROSSELLO, C. Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 106-112, 2009.

FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MELO, K. S.; BEZERRA, M. C. T. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 2, p. 171-180, 2008.

FERNANDES, T. K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá**. 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; LIMA, C. F.; SOUZA, V. R. Foam mat drying of tomato pulp. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 816-825, 2013.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 2, p. 157-165, 2012.

FONTAN, R. C. I.; ALCÂNTARA, L. A. P.; LAJE NETO, S. C. A.; FONTAN, G. C. R. Cinética de inativação da peroxidase em água de coco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 249-258, 2012.

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; LIMA, C. F.; SOUZA, V. R. Foam mat drying of tomato pulp. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 816-825, 2013.

FERREIRA, L.F.D.; PIROZI, M. R., RAMOS, A. M., PEREIRA, J. A. M. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. **Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 855-862, 2012.

FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MEDEIROS, J. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de mangaba. In: CONGRESSO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA Y CIENCIAS HORTÍCOLAS, 7., Madrid. **Anais...** Madrid: Seaging, 2013. CD-Rom.

FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MARTUCCI, E. T. Alterações da cor da acerola em pó sob condições controladas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 1, p. 49-57, 2005.

FISCHER, I. H.; ARRUDA, M. C.; ALMEIDA, A. M.; MONTES, S. M. N. M.; JERÔNIMO, E. M.; SIMIONATO, E. M. R. S.; BERTAN, R. M. A. Doenças e características físicas e químicas pós-colheita em manga. **Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 107-116, 2009.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de Seriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010.

GABAS, A. L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. 1998. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 2, p. 246-252, 2007.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 23, n. supl., p. 66-70, 2003.

GALDINO, P. O. **Secagem por aspersão da polpa do figo-da-índia**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1998. 289 p.

GONÇALVES, N. B. Caracterização física e química dos frutos de cultivares de manga (Mangifera indica L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, n. 1, p. 72-78, 1998.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II - The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n.1, p. 35-42, 2005.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73-83, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, n. 2, p. 342-351, 2010.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M., DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.

GURJÃO, K. C. O.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E., 2008. Cinética de secagem da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma (foam-mat drying). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais...** Vitória: Incaper. CD-ROM.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; IZIDORO, D. R.; MASSON, M. L. Caracterização reológica da polpa de amora-preta. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 291-296, 2006.

HAMINIUK, C. W. I.; OLIVEIRA, G. A., BONAN., E., DEMCZUK JUNIOR, B., IZIDRO, D. R. , SCHEER, A. P. Rheological properties of ternary mixtures of yellow fruits. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 3, p. 433-438, 2013.

IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. Disponível em: <<http://www.rionegronews.net>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados agregados**: Sistema IBGE de recuperação automática: SIDRA. Rio de Janeiro, [2012]. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

IGUEDJATAL, T.; LOUKA, N.; ALLAF, K. Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 2, p. 180-190, 2008.

JITTANIT, W. Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. **Kasetsart Journal (Natural Science)**, v. 45, n. 1, p.147-158, 2011.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 4, p. 488-495, 2011.

KADAM, D. M.; RAI, D. R.; PATIL, R. T.; WILSON, R. A.; KAUR, S.; KUMAR, R. Quality of fresh and stored foam mat dried mandarin powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 4, p. 793–799, 2011.

KADAM, D. M.; RA, W.; KAUR, S. Determination of biochemical properties of foam mat dried mango powder. **International Journal Food Science and Technology**, v. 45, n. 8, p. 626–1632, 2010.

KAIMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes apricots, apples and potatoes. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 37, n. 4, p. 429- 438, 2004.

KANDASAMI, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MALADHI. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 5, n. 28, p. 1-9, 2012.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averhoa carambola* L.) purée: stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying kinetics of red delicious apple. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 4, p. 517–524, 2007.

KRAUSE, M. V.; MAHAN, L. K. **Alimentos, nutrição e dietoterápica**. 7. ed. São Paulo: ROCA, 1991. 981 p.

KUROZAWA, L.; E.; EL-AOUAR; ÂNOAR, A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isotermas de dessorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia em Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 828-834, 2005.

LABUZA, T. P. Enthalpy/entropy compensation in foods reactions. **Food Technology**, v. 34, n. 2, p. 67-77, 1980.

LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, 1982. 500 p.

LABUZA, T. P.; SCHMIDL, M. K. Accelerated shelf-life testing of foods. **Food Technology**, v. 39, n. 9, p. 57-65, 1985.

LEWIS, M. J. **Physical properties of foods and food processing systems**. England: Ellis Horwood Limited, 1990. 480 p.

LIMA, A. B. **Qualidade de manga Tommy Atkins orgânica colhida sob boas práticas agrícolas, tratada com extrato de erva-doce e fécula de mandioca**. 2007. 144 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2007.

LIMA, E. E. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

LIMA, E. E.; SILVA, A. S. A.; FIGUEIREDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M. Estudo das isotermas e calor isostérico de adsorção da farinha da coroa de frade. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 2, p. 163-170, 2008.

LIMA, J. R. F. **Exportações de manga produzida no Submédio do Vale do São Francisco no período de 2003-2012**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013. 4 p. (Embrapa Semiárido. Comunicado Técnico, 154).

LISBÔA, C. G. C. **Armazenamento de figo-da-índia em pó sob condições de atmosfera controlada**. 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216–221, 2012.

LOPES, A. S. **Pitanga e acerola: estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto**. 2005. 193 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LOUREIRO, N. L. **Desidratação da polpa de buriti e armazenamento do produto seco**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

LOUREIRO, M. N., FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M., OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1092-1100, 2013.

LUCENA, E. M. P. Atividade das enzimas α - e β -galactosidases de mangas ‘tommy atkins’ durante o desenvolvimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 1, p. 65-74, 2011.

LUCENA, E. M. P. **Desenvolvimento e maturidade fisiológica de manga ‘Tommy Atkins’ no Vale do São Francisco**. 2006. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

LUND, D. B. Effect of commercial processing on nutrients. **Food Technology**, v. 33, n. 2, p. 28-35, 1979.

M. E. M.; SILVA, Y. C. Isotermas de equilíbrio higroscópico do cajá em pó obtido por meio da secagem por atomização. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2., 2005, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2005. CD-ROM.

MADUREIRA, I. A. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M., SILVA FILHO, E. D. Cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. Especial, p. 345-354, 2011.

MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; LIMA, A. S.; CARVALHO, J. M.; FIGUEIRÊDO, R. W. **Processamento de frutas tropicais: nutrição, produtos e controle de qualidade**. Fortaleza: UFC, 2009. 277 p.

MALHEIROS, G. C. **Estudo da alteração da cor e degradação da clorofila durante armazenagem de erva-mate tipo chimarrão**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MARQUES, G. M. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

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

MASKAN, M. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 2, p. 337-341, 2002.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; ZANINI, H.L.H.T. Calor específico e densidade da polpa de cajá (*Spondias lutea* L.) com diferentes concentrações de sólidos solúveis sob baixas temperaturas. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 488-498, 2005.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1555, 1992.

MEDEIROS, J. **Secagem e armazenamento de polpa de mangaba**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

MEDEIROS, M. F. D.; ROCHA, S. C. S.; PEDRINI, M. R. S.; ANDRADE JR., W. M.; PASSOS, R. H. D.; SOUZA, J. S. Propriedades físicas y termodinámicas de las pulpas de cajá, umbu y acerola: efectos de la temperatura, concentración de sólidos totales y de sólidos solubles. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA QUIMICA, 22., 2006, Buenos Aires. **Anais...** Argentina, 2006. CD-ROM.

MELÉNDEZ–MARTÍNEZ, A. J.; VICARIO, I. M.; HEREDIA, F. J. Application of tristimulus colorimetry to estimate the carotenoids content in ultrafrozen orange juices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 25, p. 7266-7270, 2003.

MELO, K. L. **Secagem de polpa do fruto do mandacaru**. 2008. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MISHRA, V. K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulce Palmaria palmata powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, n. 1, p. 25-39, 1996.

MOURA, S. C. S. R.; BERBARI, S. A.; GERMER, S. P. M.; ALMEIDA, M. E. M.; FEFIM, D. A. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes 53 aceleradores. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 141-148, 2007.

MOURA, S. C. S. R.; VITALI, A. A.; ALMEIDA, M. E. M.; BERBARI, S. A. G.; SIGRIST, J. M. M. Cinética de degradação de polpas de morango. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 4, n.1, p. 115-121, 2001.

NEVES, L. C. Qualidade pós-colheita de mangas, não-refrigeradas, e submetidas ao controle da ação do etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 1, p. 94-100, 2008.

NOGUEIRA, R. I. **Processo de obtenção de inulina de chicória (*Cichorium intybus*) em pó.** 2002. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

OLIVEIRA, A. N.; RAMOS, A. M.; CHAVES, J. B. P.; VALENTE, M. E. R. Cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 172-177, 2013.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUÊIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 31-37, 2011.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos.** Porto Alegre: Artmed, 2005.

ORIKASA, T.; WU, L.; SHIINA, T., TAGAWA, A. Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 2, p. 303-308, 2008.

OZKAN, M.; KIRCA, A.; CEMEROGLU, B. Effects of hydrogen peroxide on the stability of ascorbic acid during storage in various fruit juices. **Food Chemistry**, v. 88, n.4, p. 591-597, 2004.

PALAZÓN, M. A.; PÉREZ-CONESA, D.; ABELLÁN, P.; ROS, G.; ROMERO, F.; VIDAL, M. L. Determination of shelf-life of homogenized apple-based beikost storage at different temperatures using Weibull hazard model. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 319-326, 2009.

PAPADAKIS, S. E.; GARDELI, S. E.; GARDELI, C.; TZIA, C. R. extract powder: production, physical and sensory properties. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (ID's), 11., 1998. **Proceedings...** Haldiki: Ziti Editions, 1998.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Seleção de processos e equipamentos de secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. CD-ROM.

PELEGRINE, D. H.; SILVA, F. C.; GASPARETTO, C. A. Rheological behaviour of pineapple and mango pulps. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 35, n. 8, p. 645-648, 2002.

PEÑA, J. E. Insectos polinizadores de frutales tropicales: no solo la abejas llevan la miel al panal. **Manejo Integrado de Plagas e Agroecologia**, n. 69, p. 6-20, 2003.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2006.

PINTO, A. C. Q.; COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Principais variedades. In: GENÚ, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 100-101.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leito de espuma**. 2009. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

RAHARITSIFA, N.; GENOVES, D. B.; RATTI, C. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 3, p. 142-151, 2006.

RAHMAN, M. M.; MIARUDDIN, M.; CHOWDHURY, M. G. F.; M. H. H.; RAHMAN, M. M. Preservation of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) by osmotic dehydration. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 37, n. 1, p. 67-75, 2012.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristic of foamed Alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1452-1459, 2007.

RAMOS, A. M.; QUINTERO, A. C. F.; FARAONI, A. S.; SOARES, N. F. F.; PEREIRA, J. A. M. Efeito do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento nas qualidades físico-químicas e microbiológica de abacaxi desidratado. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 259-269, 2008.

RAMOS, A. M.; SOUSA, P. H. M.; BENEVIDES, S. D. Tecnologia da industrialização da manga. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H.; ZAMBOLIM, L. **Manga produção integrada, industrialização e comercialização**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004, p. 571-604.

RANGANA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetable products**. New Delhi: Mc Graw-Hill, 1979. 634 p.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. L.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 347-357, 2011.

REMACHA, J. E.; IBRARZ, A.; GINER, J. E. Evolución del color, por efecto de la temperatura, em pulpas de frutas. **Revista Alimentaria**, v. 2, n. 4, p. 59-68, 1992.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2007. 184 p.

RIBEIRO, S. M. R.; QUEIROZ, J. H.; QUEIROZ, M. E. L. R.; CAMPOS, F. M.; SANT'ANA, H. M. P. Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 62, n. 1, p. 13-17, 2007.

RIBEIRO, S.; BARBOSA, L.; QUEIROZ, J.; KNODLER, M.; SCHIEBER, A. Phenolic compounds and antioxidant capacity of brazilian mango (*Mangifera indica* L) varieties. **Food Chemistry**, v. 110, n. 3, p. 620-626, 2008.

RIGO, M.; BEZERRA, J. R. M. V.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de butiá (*Butia eriopatha*). **Ambiência**, v. 6, n. 1, p. 25-36, 2010.

ROCHA, R. H. C.; MENEZES, J. B.; MORAIS, E. A.; SILVA, G. G.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; ALVEZ, M. Z. Uso do índice de degradação de amido na determinação da maturidade da manga “*Tommy Atkins*”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 302-305, 2001.

RODRIGUES, E. Isotermas de equilíbrio higroscópico do cajá em pó obtido por meio de secagem. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2005. CD-ROM.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 37, n. 1, p. 517-525, 2004.

SANTOS, A. B.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GROSSO, C. R. F. Preparo e caracterização de microcápsulas de oleoresina de páprica obtidas por atomização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 322-326, 2005.

SANTOS, A. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; SOUZA, J. C. C. ;BONOMO, R. C. F.; SILVA, L. M. Characterization and evaluation of quality of soups dehydrated produced with flour of potatoes during time of storage. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 57-68, 2010.

SANTOS, D. C. S.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F., OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 223–231, 2013.

SEGURA, E.; MONROY, L. A.; MANRIQUE, G. Aplicación de la tecnología de deshidratación por el método de secado de espumas (foam mat) em jugos de frutas tropicales: II (naranja, piña, mora y macuyá). **Revista Colombiana de Ciências Químico-Farmacéuticas**, v. 1, n. 18, p. 47-52, 1990.

SILVA FILHO, E. D. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa de manga cv. Haden em pó, pelo método de secagem em camada de espuma.** 2012. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

SILVA, A. S. A.; MELO, K. S.; ALVES, N. M.; FERNANDES, T. K. S.; FARIAS, P. A. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 129-136, 2009.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Dehydration of tamarind pulp through the foam–mat drying method. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SILVA, A. C. B. P. **Suco de abacaxi desidratado: aplicação do processo *foam mat drying*.** 1971. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1971.

SILVA, D. F. P.; SIQUEIRA, D. L.; PEREIRA, C. S.; SALOMÃO, C. C.; STHUIVING, T. B. Caracterização de frutos de 15 cultivares de manga na zona da mata mineira. **Ceres**, v. 56, n. 6, p. 783-789, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A new version of the Assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 2006, Orlando. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 393-396.

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.

SILVA, M. M.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C. Dessorção e calor isostérico em polpa de manga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 123-127, 2002.

SILVA, N. M. C. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*genipa americana* L.)**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbú-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1179-1184, 2005.

SILVA, G. J. F.; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. W.; MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria* sap.). **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 3, p. 429-436, 2010.

SINGH, R. K.; LUND, D. B. Kinetics of ascorbic acid degradation in stored intermediate moisture apples. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND FOODS, ENGINEERING SCIENCES IN THE FOOD INDUSTRY, 3., 1984. **Proceedings...** Amsterdam: Mackenna, 1984. v. 1.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA JÚNIOR, A., FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo “Foam-mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; SILVA, L. M. M.; MARTINS, J. J. A.; GOMES, J. P.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior– ABEAS**, v. 26, n. 2, p. 108-112, 2011.

SOUSA, E. M. B. D., LIMA, M. F. M., SOUZA, J. S., TOLEDO, M. T. Efeitos da temperatura e dos teores de umidade e de sólidos nas propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., Campinas. **Anais...** Campinas, UNICAMP, 2000. CD-ROM.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1021-1028, 2005.

SOUZA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V., CEREDA, M. P., DAIUTO, E. R. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. **Ciência e Tecnologia em Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 291-294, 2009.

SOUZA, M. A. **Determinação das propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais: jaca (*Artocarpus Heterophilus Lamk*) e umbu (*Spondias Tuberosa Arr. Cam.*)**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

STAFFORD, A. E. Mango. In: CHAN Jr., H. T. **Handbook of tropical foods**. New York: Marcel Dekker, 1983. p. 399- 432.

STAUDT, P. B.; KECHINSKI, C. P. TESSARO, C.; MARCZAK, L .D. F.; SOARES, R. P.; CARDOZO, N. S. M. A new method for predicting sorption isotherms at different temperatures using the BET model. **Journal of Food Engineering**, v. 114, n. 1, p. 139–145, 2013.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. USA: Freeman Press, 1996. 412 p.

SUGAI, A. Y.; TADINI, C. C.; TRIBESS, T. B. Influência da temperatura do tratamento térmico sobre os parâmetros reológicos do purê de manga (*Mangifera indica* L.) variedade Haden. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...** CD-ROM.

TANSAKUL, A.; CHAISAWANG, P. Thermophysical properties of coconut milk. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 1, p. 276-280, 2006.

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P. Time-temperature indicators. **Food Technology**, v. 45, n. 10, p. 70-82, 1996.

TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A. A.; MOURA, S. C. S. R. Introdução à cinética de reação em alimentos. In: MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M. **Reações de transformação e vida de prateleira de alimentos processados**. 3. ed. Campinas: ITAL. p. 63-83, 2004. (Manual Técnico n. 6).

TEIXEIRA, J.; PETRARCA, M. H.; TADIOTTI, A. C.; SYLOS, C. M. Degradação do ácido ascórbico em goiabada industrializada submetida a diferentes condições de estocagem. **Alimentos e Nutrição**, v. 17, n. 3, p. 281-286, 2006.

TELIS-ROMERO, J.; GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação de ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, supl., p. 66-70, 2003.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 2, p. 573-583, 2008.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 548-357, 2012.

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T.; DEL PINO, F. A. B.; ANTUNES, P. L. Determinação das constantes cinéticas de degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 18-23, 2008.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SIQUEIRA, E. T. F. **Desidratação de frutas**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 40 p.

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental/BRASILFOODS (1998). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos-USP**. Versão 5.0. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tabela>.> Acesso em: 10 jan. 2014.

VÁSQUEZ-CAICEDO, A. L.; SCHILLING, S.; CARLE, R.; NEIDHART, S. Impact of packaging and storage conditions on colour and β -carotene retention 56 of pasteurised mango purée. **European Food Research and Technology**, v. 224, n. 5, p. 581-590, 2007.

VIANA JÚNIOR, N. M. **Farinha de banana madura: processo de produção e aplicações**. 2010. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2010.

VIANA, A. D. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em diferentes concentrações e temperaturas**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2010.

VIDAL, J. R. M. B.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I; MASSON, M. L. Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 955-960, 2006.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 1, n. 2, p. 69-76, 2000.

VIKRAM, V. B.; RAMESH, M. N.; PRAPULLA, S. G. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 1, p. 31-40, 2005.

WILSON, R. A.; KADAM, D. M.; CHADHA, S.; SHARMA, M. Foam mat drying characteristics of mango pulp. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 2, n. 4, p. 63-69, 2012.

YADLA, A. K.; SACHDEV, P. A. Effect of Packaging and Storage on Antioxidant Activity of Tomato Salsa with Herbs. **International Journal of Engineering Research and Technology**, v. 2, n. 9, p. 3206-3219, 2013.

YAMASHITA, F.; TONZAR, A. C.; FERNANDES, J. G.; MORIYA, S.; BENASSI, M. T. Embalagem individual de mangas cv. Tommy Atkins em filme plástico: efeito sobre a vida de prateleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 288-292, 2001.

ZAMANTHA, E.; PÉREZ-PÉREZ, C.; MARÍA, E. B.; JOSÉ, Á. G.; WELTI-CHANES, J. Analysis of the drying process of mexican hot salsa using the characteristic curve model. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, n. 5, p. 441–448, 2013.

APÊNDICE A

Tabela A.1 - Valores médios da viscosidade aparente, tensão de cisalhamento (mPa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a polpa de manga Keitt integral na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (mPa.s)	Tensão de cisalhamento (mPa)	Taxa de deformação (s^{-1})
10	5900,00	16566,67	2,8
20	3575,00	20100,00	5,6
30	2544,33	21733,33	8,4
40	2116,33	23700,00	11,2
50	1733,33	24833,33	14,0
60	1491,67	25100,00	16,8
70	1333,33	26166,67	19,6
80	1223,00	27466,67	22,4
90	1111,00	27966,67	25,2
100	1008,33	28000,00	28,0
120	900,00	30300,00	33,6
140	833,33	32800,00	39,2
160	731,23	32733,33	44,8
180	670,40	33733,33	50,4
200	633,33	35600,00	56,0

Tabela A.2 - Valores médios da viscosidade aparente, tensão de cisalhamento (mPa) e taxa de deformação (s^{-1}) para a polpa de manga Keitt formulada (Tratamento 2) na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (mPa.s)	Tensão de cisalhamento (mPa)	Taxa de deformação (s^{-1})
10	11400,00	31,87	2,8
20	7258,33	40,47	5,6
30	5583,33	46,80	8,4
40	4566,67	51,10	11,2
50	3930,00	54,83	14,0
60	3130,67	58,17	16,8
70	3128,67	61,20	19,6
80	2873,00	64,43	22,4
90	2637,00	66,67	25,2
100	2475,00	69,30	28,0
120	2184,67	73,33	33,6
140	1989,00	77,83	39,2
160	1809,33	80,63	44,8
180	1631,33	82,63	50,4
200	1530,33	85,70	56,0

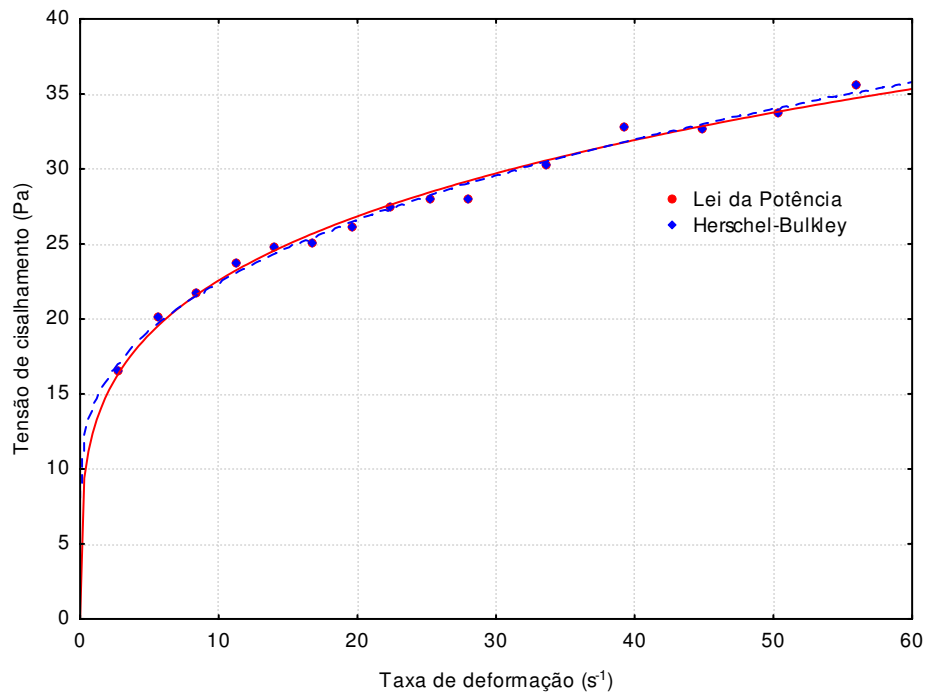


Figura A.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de manga Keitt integral com ajuste pelos modelos da Lei da Potência e Herschel-Bulkley

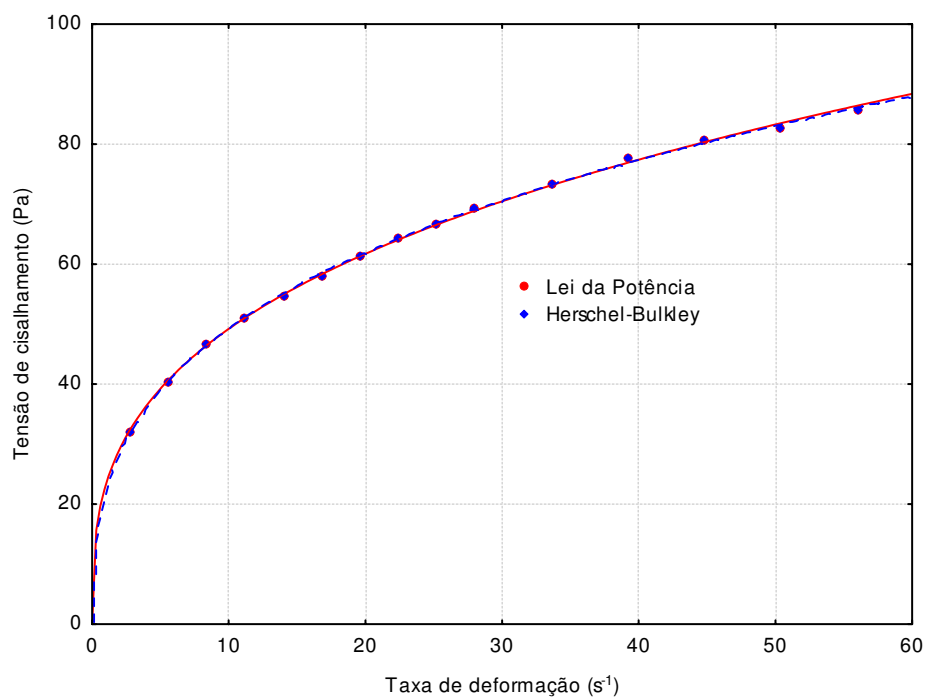


Figura A.2 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de manga Keitt formulada (Tratamento 2) com ajuste pelos modelos da Lei da Potência e Herschel-Bulkley

APÊNDICE B

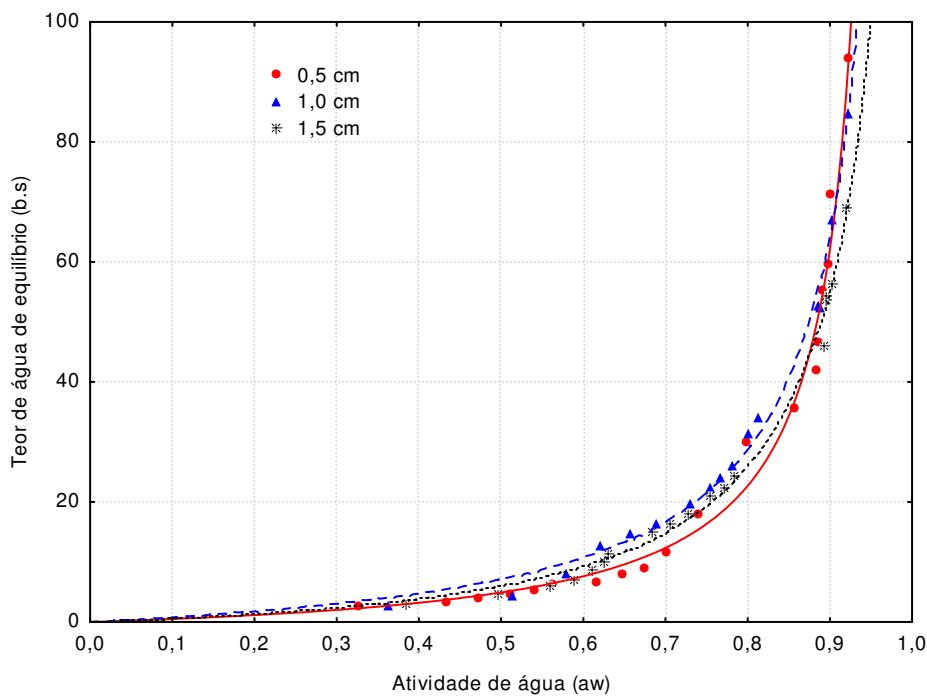


Figura B.1 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de GAB

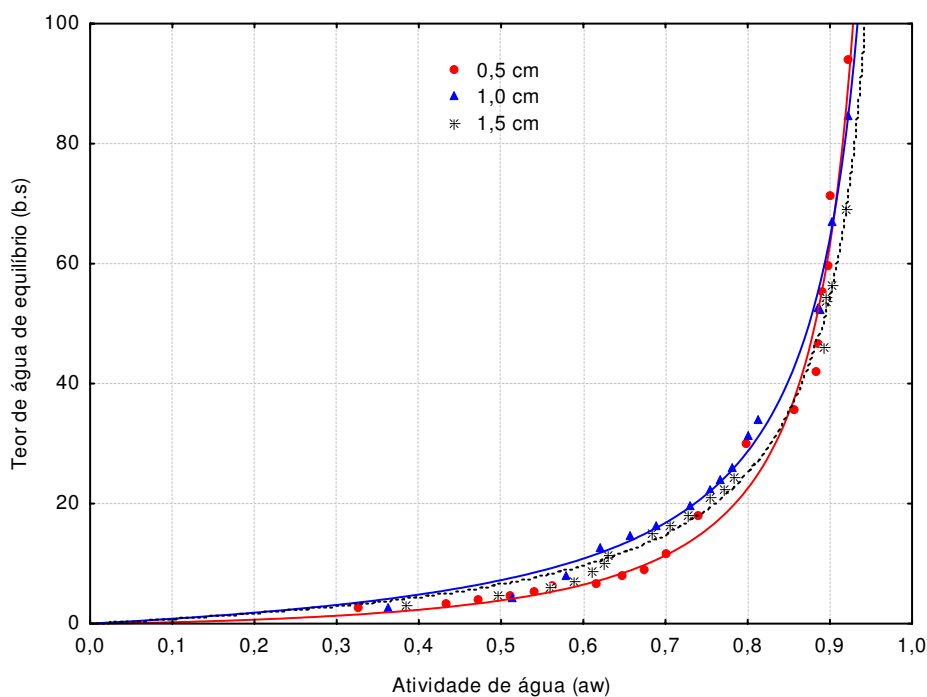


Figura B.2 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Oswin

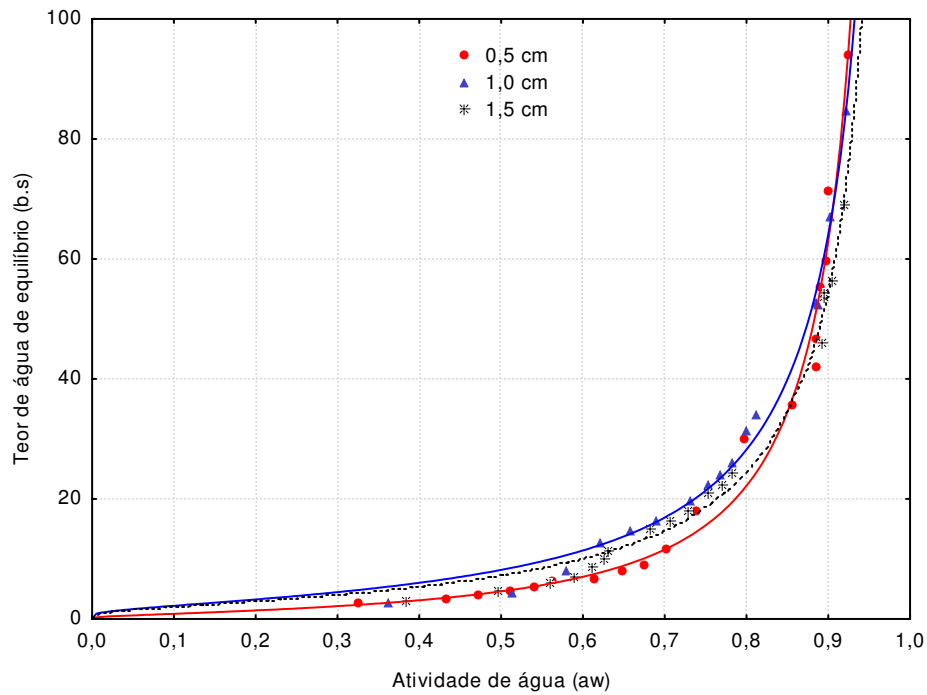


Figura B.3 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 50 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Halsey

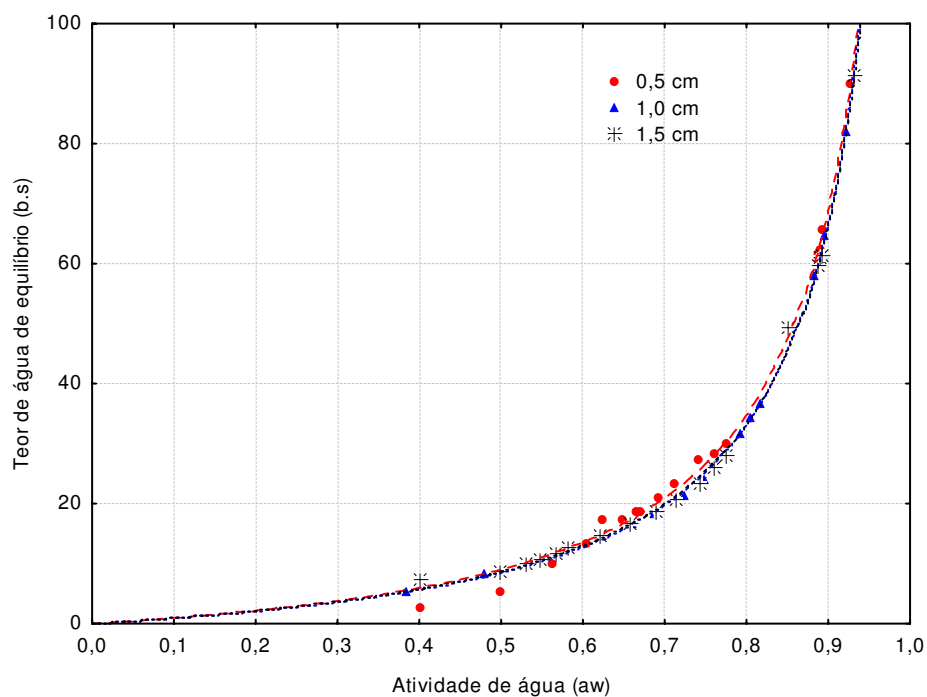


Figura B.4 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de GAB

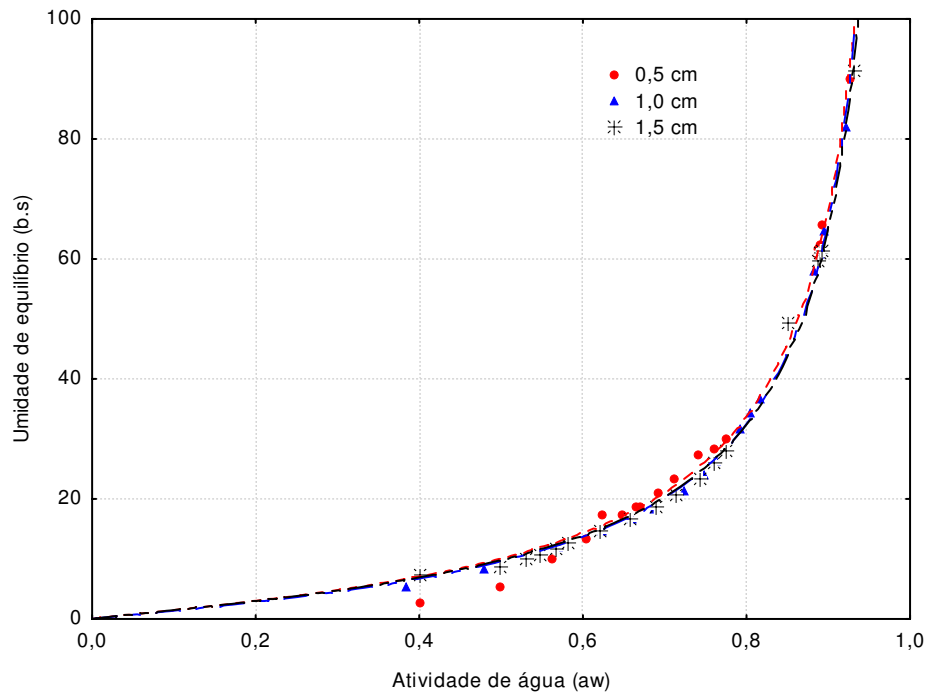


Figura B.5 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Oswin

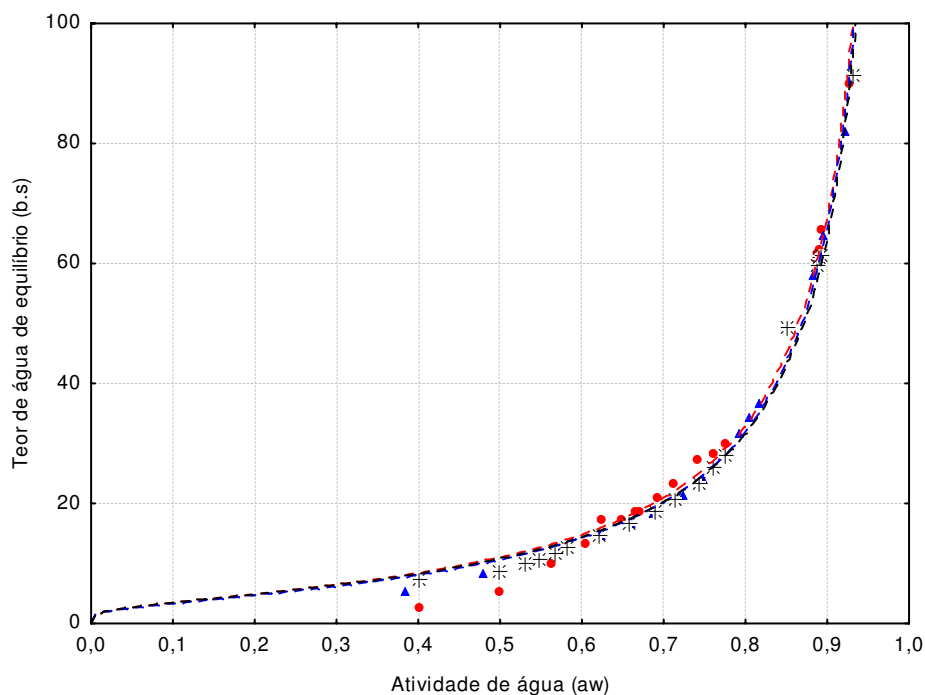


Figura B.6 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 60 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Halsey

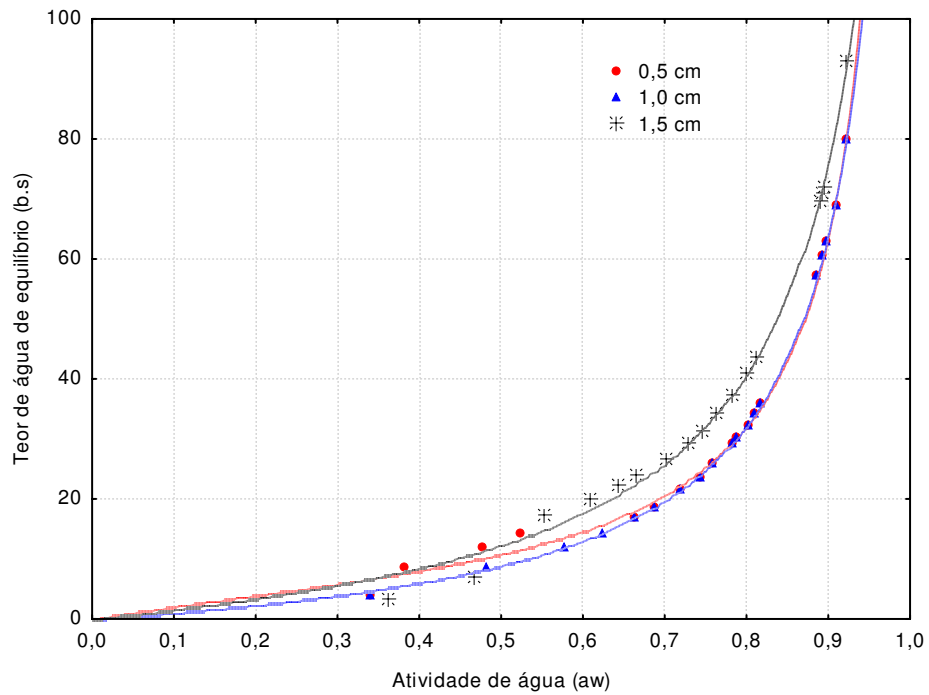


Figura B.7 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de GAB

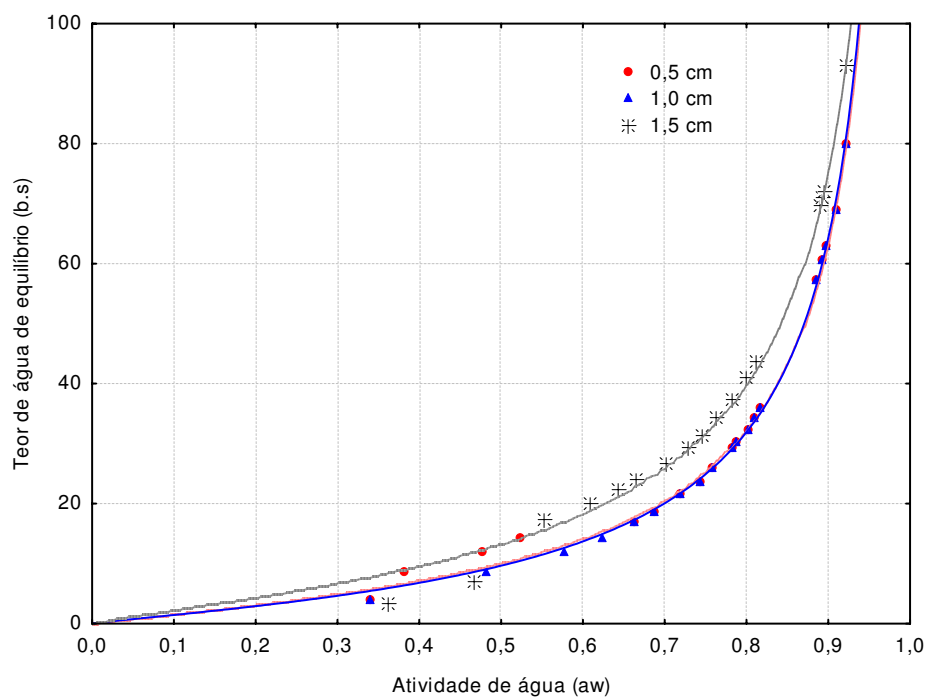


Figura B.8 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Oswin

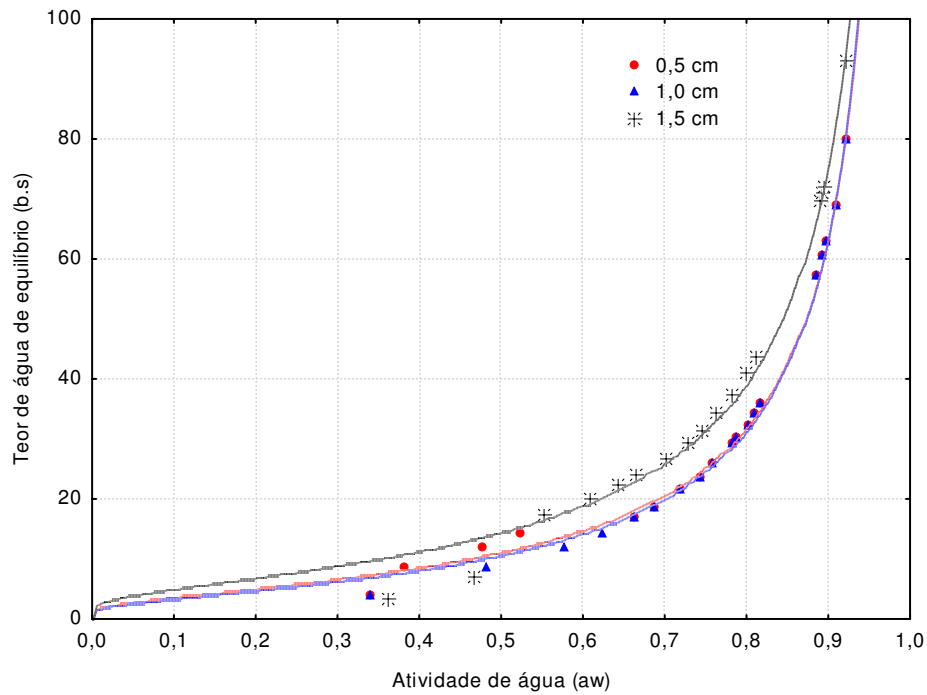


Figura B.9 – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da polpa da manga Keitt em pó, desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajuste pelo modelo de Halsey

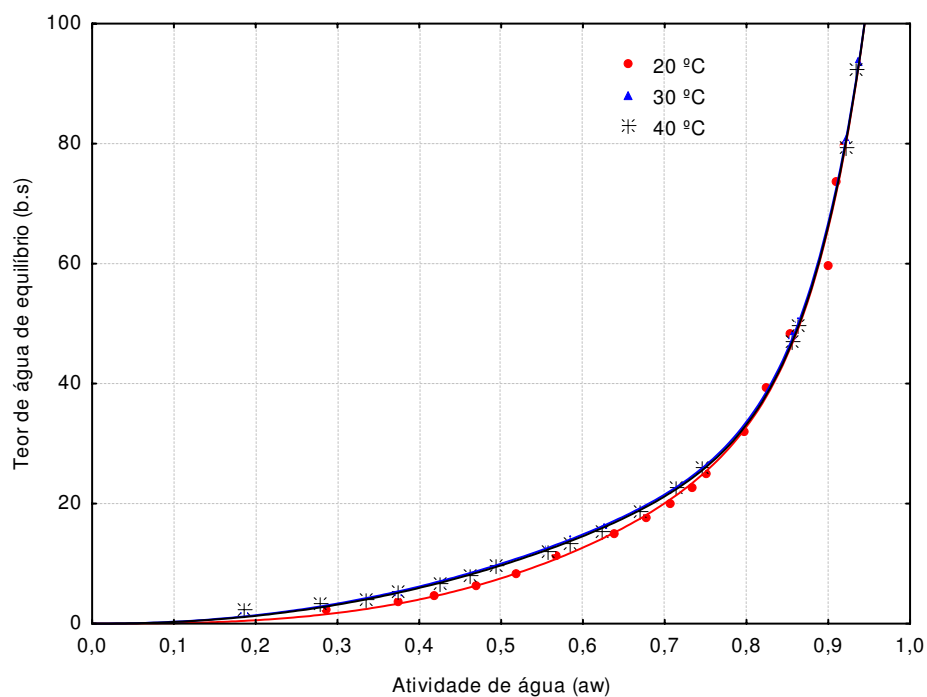


Figura B.10 – Isotermas de adsorção de água da melhor amostra em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Peleg

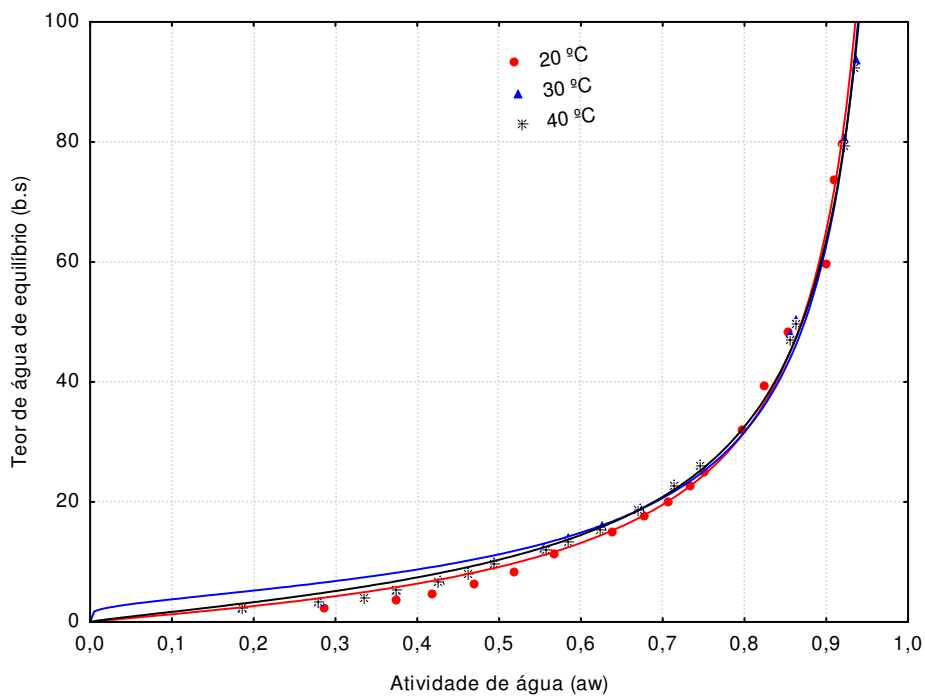


Figura B.11 – Isotermas de adsorção de água da melhor amostra em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Oswin

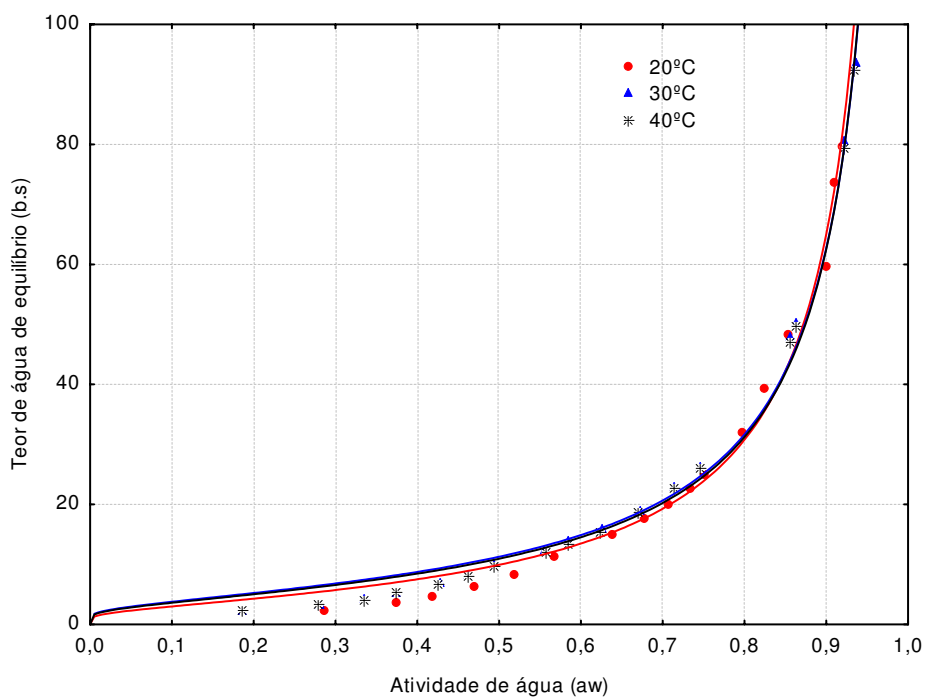


Figura B.12 – Isotermas de adsorção de água da melhor amostra em pó (Tratamento 2), em diferentes temperaturas, com ajuste pelo modelo de Halsey