



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

Adeval Alexandre Cavalcante Neto

**Desidratação de Cuxá em Leito de Espuma – Avaliação da Cinética de
Secagem e da Qualidade do Produto em Pó**

São José do Rio Preto
2017

Adeval Alexandre Cavalcante Neto

**Desidratação de Cuxá em Leito de Espuma – Avaliação da Cinética de
Secagem e da Qualidade do Produto em Pó**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus São José do Rio Preto.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro

Co-orientador:

Prof. Dr. Mariano Oscar Aníbal Ibañez Rojas

São José do Rio Preto
2017

Cavalcante Neto, Adeval Alexandre.

Desidratação de cuxá em leito de espuma : avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto em pó / Adeval Alexandre Cavalcante Neto. -- São José do Rio Preto, 2017

116 f. : il., tabs.

Orientador: Maria Aparecida Mauro

Coorientador: Mariano Oscar Aníbal Ibañez Rojas

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

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos - Desidratação. 3. Vinagreira. 4. Alimento – Aeração. 5. Fenóis. 6. Clorofila. 7. Albumina. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 664.028.4

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

Adeval Alexandre Cavalcante Neto

**Desidratação de Cuxá em Leito de Espuma – Avaliação da Cinética de
Secagem e da Qualidade do Produto em Pó**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus São José do Rio Preto.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. João da Paixão Soares
IFMA- Caxias

Prof. Dr. Lucídio Molina Filho
UEM- Umuarama

Prof. Dr. Javier Telis Romero
UNESP- São José do Rio Preto

Prof. Dr. José Antonio Gomes Vieira
UNESP- São José do Rio Preto

São José do Rio Preto
2017

À Deus, Supremo Criador!

Aos meus pais Jozias e Ana Célia.

À minha amada esposa Rosana.

E minhas filhinhas Ágatha e Paola, meus tesouros!

AGRADECIMENTOS

A Deus, único que é digno de receber glória, honra e louvor por todas as bênçãos a mim concedidas, que são incalculáveis!

Aos meus pais Jozias e Ana Célia pelo apoio incondicional, amor, carinho, atenção, dedicação, durante toda a minha vida. Essa vitória também é de vocês! Às minhas irmãs Neyara e Nayara e a meus sobrinhos que sempre me apoiaram e torceram por mim.

À minha esposa Rosana que sempre esteve ao meu lado, tanto nos momentos de tristeza quando de alegria e que soube entender os momentos em que estive distante da família para poder realizar este sonho. Aos meus tesouros Ágatha Camila e Paola Vitória, obrigado por tornarem minha vida muito mais feliz. Amo vocês minhas princesas!

À minha Orientadora, prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro, pela paciência, dedicação, pelos ensinamentos, atenção e amizade. Professora Cida, aprendi muito com você, vou levar isso por toda a vida!

Aos professores Javier Romero, José Antonio, Lucídio Molina e João da Paixão, pela participação na banca examinadora e pelas contribuições na melhoria desta pesquisa.

Aos todos os colegas de doutorado, em especial aos “Brothers” Manoel, Marcelo, Maron e Pedro pela parceria e por ajudarem a superar a saudade da família nos períodos que estivemos em Rio Preto. Gostaria de agradecer ainda mais em particular aos amigos José Manoel e Pedro Pessoa pela ajuda nas análises laboratoriais e/ou nos estudos, sem vocês seria mais difícil, serei eternamente grato!

As colegas de laboratório que tanto me ajudaram Letícia, Ana Filippin, Liliane, Laís e Katieli. Não tenho como deixar de externar minha gratidão aos meus amigos “Cafeteros” Ezequiel e Ana Maria. A ajuda e amizade de vocês foram fundamentais para a realização deste sonho. A Colômbia agora é minha segunda Nação!

Aos técnicos de laboratório Luiz, Ginaldo e Jesuíno pelo auxílio.

Ao Instituto Federal do Maranhão por me conceder esta oportunidade e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus São José do Rio Preto pela oferta do doutorado e a todos os professores pelos conhecimentos repassados.

Aos colegas de trabalho Daniel Dantas e Mariano Rojas pela ajuda e a todos que, de alguma maneira, contribuíram para cumprimento de mais uma importante etapa da minha vida.

*“Suba o primeiro degrau com fé.
Não é necessário que você veja toda a escada.
Apenas dê o primeiro passo”.*
(Martin Luther King Jr.)

RESUMO

A vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L) é uma hortaliça não convencional de uso expressivo em todo o mundo, apesar disso, suas folhas geralmente são ignoradas e descartadas. No Brasil, a importância da planta é decorrente da utilização das folhas na alimentação humana e seu maior consumo é verificado no Maranhão, sendo o principal ingrediente do “cuxá”, comida típica desse Estado. No entanto, a alta perecibilidade do alimento não permite a sua comercialização e/ou consumo para outras regiões do país. Assim, o desenvolvimento de técnicas de conservação, como a secagem, tornam-se fundamentais para o aumento da vida útil do produto. Neste sentido, objetivou-se avaliar o processo de secagem em leito de espuma (*foam mat drying*) do cuxá e caracterizar os pós de cuxá formados, com o intuito de obter um novo produto com qualidade nutricional, contribuindo com indústrias regionais de pequeno porte e com diminuição de perdas pós-colheita da vinagreira. A secagem foi conduzida em três temperaturas (60 °C, 70 °C e 80 °C) e duas concentrações de agentes espumantes (5 g de Emustab/100 g de cuxá e 10 g de Albumina/100 g de cuxá), selecionadas a partir de testes com todas as combinações entre as proporções de 0 (controle), 5, 7,5 e 10 g de Albumina /100 g de cuxá e 0 (controle), 5, 7,5 e 10 g de Emustab /100 g de cuxá. Os critérios de seleção para a escolha das concentrações de agentes espumantes foram baseados na densidade (kg/m^3), *overrun*, estabilidade e cor das espumas. A vida útil dos pós de cuxá com 10 g de Albumina/100 g de cuxá nos tempos 0, 10, 20, 40 e 60 dias foi avaliada em três temperaturas de armazenamento (5 °C, 25 °C e 35 °C). Verificou-se que as espumas apresentaram elevados coeficientes de difusão (D_{ef}), o que proporcionou tempos curtos de secagem e pós de cuxá com baixas umidades e atividade de água. A aplicação de modelos de cinética de secagem demonstrou que o modelo de Page foi o que melhor representou a desidratação das espumas de cuxá em ambas concentrações testadas. Os pós com 5 g de Emustab/100 g de cuxá apresentaram coloração mais próxima à do cuxá *in natura* e não houve efeito da temperatura de secagem sobre este parâmetro. A retenção de compostos fenólicos foi maior na secagem em temperatura de 60 °C e concentração de 10 g de Albumina/100 g de cuxá (74,2%) e menor na concentração de 5 g de Emustab/100 g de cuxá e temperatura de 80 °C (69,8%). O cuxá em pó se manteve microbiologicamente seguro durante o tempo de armazenamento, com a_w máxima de 0,292. Durante o armazenamento, o modelo cinético de ordem zero apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais para a degradação da clorofila. Os parâmetros cinéticos $E_a = 4,9 \text{ kcal.mol}^{-1}$ e Q_{10} de 1,1, estabelecidos no teste acelerado de vida de

prateleira, permitiram estimar em 64 dias a vida de prateleira para o produto armazenado à temperatura ambiente (25 °C) e 57 dias na temperatura acelerada (35 °C).

Palavras-chave: Vinagreira. Compostos fenólicos. Clorofila total. Emustab. Albumina. Vida útil.

ABSTRACT

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is an unconventional vegetable of expressive use throughout the world, yet its leaves are usually ignored and discarded. In Brazil, the importance of the plant is due to the use of leaves in human consumption and its greatest consumption is verified in Maranhão, being the main ingredient of cuxá, typical food of this State. However, the high perishability of the food does not allow its commercialization and/or consumption to other regions of the country, so the conservation techniques development such as drying, become essential to increase the shelf life of the product. In this sense, the objective was to evaluate the foam mat drying process of cuxá and to characterize their powders in order to obtain a new product with nutritional quality, contributing to the small food industries development and reduction of postharvest losses of Roselle. Drying was conducted at three temperatures (60 ° C, 70 ° C and 80 ° C) and two concentrations of foaming agents (5 g Emustab /100 g cuxá and 10 g Albumin /100 g cuxá), selected from tests with all combinations Between the proportions of 0 (control), 5, 7.5 and 10 g of Albumin /100 g of cuxá and 0 (control), 5, 7,5 and 10 g of Emustab /100 g of cuxá. The selection criteria for the choice of foaming concentrations were based on the density (kg / m³), overrun, stability and color of the foams. The shelf life of powders with 10 g of albumin / 100 g of cuxá after 0, 10, 20, 40 and 60 days were evaluated at three storage temperatures (5 °C, 25 °C and 35 °C). It was verified that the foams presented high diffusion coefficients (Def), which provided short drying times and cuxá powders with low humidity and water activity. The application of drying kinetic models showed that the Page model was the one that best represented the dehydration of cuxá foams at both concentrations tested. The powders with 5 g of Emustab / 100 g of cuxá presented staining closer to the cuxá in natura and there was no effect of the drying temperature on this parameter. The retention of phenolic compounds was higher in drying at 60 °C and 10 g of Albumin / 100 g of cuxá (74.2%) and lower in the concentration of 5 g of Emustab /100 g of cuxá and temperature of 80 °C (69.8%). The cuxá powder remained microbiologically safe during the storage time, with maximum a_w of 0.292. The zero order kinetic model presented good fit to the experimental data for chlorophyll degradation during the storage period. The kinetic parameters $E_a = 4.9$ kcal.mol⁻¹ and Q_{10} of 1.1, established in the accelerated test, allowed to estimate the shelf life, which was 64 days at room temperature (25 ° C) and 57 days at temperature (35 ° C).

Keywords: Roselle. Phenolic compounds. Total chlorophyll. Emustab. Albumin. Shelf life.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caule, folha e flor da vinagreira	20
Figura 2 - Curva típica de secagem	24
Figura 3 - Representação da estrutura de uma espuma	26
Figura 4 - Maço de vinagreira comercializado na feira-livre em Dom Pedro-MA	31
Figura 5 - Folhas (a) e talos (b) da vinagreira	31
Figura 6 - Fluxograma para elaboração do cuxá	33
Figura 7 - Fluxograma de produção da espuma de cuxá	35
Figura 8 - Esquema do secador piloto utilizado no experimento	36
Figura 9 - Espumas distribuídas nas bandejas durante secagem	37
Figura 10 - Gênero dos consumidores	52
Figura 11 - Frequência de consumo de cuxá pelos participantes da pesquisa	52
Figura 12 - Estabilidade das espumas produzidas com Emustab	63
Figura 13 - Estabilidade das espumas produzidas com Albumina	64
Figura 14 - Curvas de secagem das espumas produzidas com Emustab	68
Figura 15 - Curvas de secagem das espumas produzidas com Albumina	68
Figura 16 - Taxas de secagem das espumas produzidas com Emustab	71
Figura 17 - Taxas de secagem das espumas produzidas com Albumina	72
Figura 18 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para espuma com Emustab nas temperaturas de secagem de 60 °C, 70 °C e 80 °C	74
Figura 19 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para espuma com Albumina nas temperaturas de secagem de 60 °C, 70 °C e 80 °C	74
Figura 20 - Curvas de secagem das espumas de cuxá com Emustab nas diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelos modelos de Newton (a), Page (b) e Henderson - Pabis (c)	76
Figura 21 - Curvas de secagem das espumas de cuxá com Albumina nas diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelos modelos de Newton (a), Page (b) e Henderson - Pabis (c)	77
Figura 22 - Cuxá (a) e pós de cuxá produzidos na temperatura de desidratação de 60 °C pela adição de 5g de Emustab/100g de cuxá (b) e 10g de Albumina/100g de cuxá (c)	79

Figura 23 - Morfologia dos pós de cuxá com Emustab a 60 °C (1), 70 °C (2), 80 °C (3), 50x (a), 1000x (b), 2000x (c).....	83
Figura 24 - Morfologia do pó de cuxá com Albumina a 60 °C (1), 70 °C (2), 80 °C (3), 50x (a), 100x (b), 300x (c).....	83
Figura 25 - Retenções de compostos fenólicos dos pós de cuxá nas diferentes temperaturas de secagem	84
Figura 26 – Teste de molhabilidade dos pós de cuxá desidratados na temperatura de 60 °C com de 10g de Albumina/100g de cuxá (a) e 5g de Emustab/100g de cuxá (b)	87
Figura 27 – Teor de compostos fenólicos totais nas amostras de cuxá em pó com 10 g de Albumina/100 g de cuxá na temperatura de 60 °C, armazenadas nas temperaturas de 5 °C (controle), 25 °C (ambiente) e 35 °C (acelerada).....	91
Figura 28 - Parâmetro L* em função do tempo de armazenamento nas diferentes temperaturas.....	93
Figura 29 - Parâmetro a* em função do tempo de armazenamento nas diferentes temperaturas	93
Figura 30 - Parâmetro b* em função do tempo de armazenamento nas diferentes temperaturas	94
Figura 31 – Modelo cinético de ordem zero para degradação de clorofila do cuxá em pó, armazenado a 5°C (controle), 25°C (ambiente) e 35°C (acelerada) durante 60 dias.	95
Figura 32 – Efeito da temperatura de armazenamento sobre a constante de degradação da clorofila do cuxá em pó.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação taxonômica da vinagreira	19
Tabela 2 - Formulações utilizadas nos ensaios preliminares (sensorial).....	34
Tabela 3 - Planejamento adotado para o tempo de aeração das espumas com Emustab	47
Tabela 4 - Planejamento adotado para o tempo de aeração das espumas com Albumina.....	47
Tabela 5 - Planejamento experimental utilizado para seleção das espumas.....	48
Tabela 6 - Planejamento experimental utilizado na secagem das espumas	48
Tabela 7 - Médias \pm desvio padrão para cada formulação e atributo de cuxá.....	53
Tabela 8 - Características físico-químicas do cuxá	54
Tabela 9 - Valores de densidade obtidos no teste de tempo de aeração	56
Tabela 10 - Resultados dos testes de overrun, densidade, e parâmetros de cor das espumas, com adição ou não dos agentes espumantes ao cuxá, em diferentes proporções	58
Tabela 11 - Valores de umidade de equilíbrio e atividade de água dos pós nas diferentes temperaturas de secagem	70
Tabela 12 - Coeficientes efetivos de difusão de água nas espumas com Emustab e Albumina, calculados a partir da Lei de Fick	73
Tabela 13 - Parâmetros, valores de coeficiente de determinação (R^2) e do qui-quadrado (χ^2) para cada modelo adotado em função da razão de umidade ao longo do tempo para as espumas de Emustab e Albumina.....	78
Tabela 14 - Cor do cuxá fresco e dos pós obtidos pelo método foam mat nas temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C e variação da cor (ΔE) entre os pós e o cuxá fresco.....	81
Tabela 15 – Valores médios de fenólicos totais nos pós de cuxá obtidos por secagem nas temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C	85
Tabela 16 – Percentual de solubilidade e tempo de molhabilidade dos pós de cuxá obtidos pelo método foam mat na temperatura de 60 °C.....	86
Tabela 17 - Valores médios de umidade (%) e a_w nas amostras de cuxá em pó, armazenadas nas temperaturas de 5 °C (controle), 25 °C (ambiente) e 35 °C (acelerada).	88
Tabela 18 - Valores médios de pH e acidez nas amostras de cuxá em pó, armazenadas nas temperaturas de 5 °C (controle), 25 °C (ambiente) e 35 °C (acelerada).	89

APÊNDICE

Apêndice A - Curva de calibração de ácido gálico.....	114
Apêndice B - Ficha II utilizada no teste de aceitação do cuxá	115
Apêndice C - Ficha I utilizada no teste de aceitação do cuxá	116

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
APÊNDICE	xiii
1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Vinagreira (<i>Hibiscus Sabdariffa</i> L.)	19
3.1.1 Condições de cultivo	21
3.1.2 Formas de aproveitamento	21
3.2 Secagem	22
3.2.1 Etapas da Secagem	23
3.2.2 Secagem em leito de espuma (<i>Foam mat drying</i>)	25
3.2.2.1 Espumas alimentícias e agentes espumantes	25
3.3 Compostos fenólicos	28
3.4 Clorofila	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 Obtenção das matérias primas	31
4.2 Elaboração e caracterização do cuxá	32
4.3 Avaliação sensorial para estabelecimento de formulação padrão	34
4.4 Obtenção, caracterização e seleção das espumas	36
4.5 Secagem em leito de espuma, obtenção e caracterização dos pós de cuxá	36
4.6 Análises físico-químicas	38
4.6.1 Umidade (b.u)	38
4.6.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)	38
4.6.3 Acidez total titulável	38
4.6.4 Sólidos Solúveis Totais – SST	39
	xiv

4.6.5	Proteínas	39
4.6.6	Atividade de Água	39
4.6.7	Cor	39
4.6.8	Compostos fenólicos totais	40
4.6.8.1	Preparo dos extratos	40
4.6.8.2	Determinação dos compostos fenólicos totais	41
4.6.9	Clorofila Total	41
4.6.10	Densidade ou massa específica	42
4.6.11	<i>Overrun</i>	42
4.6.12	Estabilidade	43
4.7	Propriedades físicas dos pós de cuxá	43
4.7.1	Solubilidade	43
4.7.2	Molhabilidade	44
4.8	Morfologia das partículas	44
4.9	Determinação dos parâmetros cinéticos	44
4.9	Teste Sensorial	46
4.10	Planejamento Experimental	46
4.11	Cinética de secagem	49
4.12	Análises estatísticas	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1	Testes Preliminares	51
5.1.1	Seleção da formulação de cuxá (Análise Sensorial)	51
5.1.1.1	Perfil dos consumidores	51
5.1.1.2	Teste de aceitação (afetivo)	53
5.2	Características físico-químicas do cuxá	54
5.3	Características físicas e estabilidade de espumas de cuxá com adição de Albumina e Emustab	56
5.3.1	Seleção do tempo de aeração	56
5.3.2	Seleção das concentrações de agentes espumantes para secagem	57
5.3.2.1	Incorporação de ar (<i>overrun</i>)	59
5.3.2.2	Densidade ou massa específica	60
5.3.2.3	Estabilidade	61
5.3.2.4	Cor	65

5.3.3	Concentrações de agentes espumantes selecionadas	67
5.4.	Avaliação da secagem por método de leito de espuma e caracterização dos pós	67
5.4.1	Cinética de secagem	67
5.4.2	Modelo de difusão	72
5.4.3	Modelos empíricos	75
5.5.4	Cor dos pós de cuxá	79
5.4.5	Morfologia das partículas	82
5.4.6	Retenção de compostos fenólicos	84
5.4.7	Solubilidade e Molhabilidade	85
5.5	Vida de prateleira do pó de cuxá com Albumina desidratado a 60°C	87
5.5.1	Umidade e atividade de água (a_w)	87
5.5.2	pH e acidez	89
5.5.3	Fenólicos Totais	90
5.5.4	Cor	92
5.5.5	Clorofila total	94
5.5.5.1	Parâmetros cinéticos	95
5.5.5.2	Estimativa de vida de prateleira (TAVP)	97
6	CONCLUSÕES	98
7	PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	APÊNDICES	113

1 INTRODUÇÃO

Tem-se consciência de que a quantidade de alimentos existente no mundo é capaz de suprir as necessidades básicas de todos os seres humanos. No entanto, a fome afeta milhares de pessoas no planeta e parte desse problema deve-se ao desperdício de alimentos, sendo mais evidente quando se trata de cadeias produtivas em que os produtos são altamente perecíveis (MARTINS; FARIAS, 2002).

A vinagreira (*Hibiscus sabdariffa L*) é uma hortaliça não convencional de uso expressivo em todo o mundo, sendo uma importante fonte de renda para os agricultores rurais, principalmente nos países em desenvolvimento (CISSE et al., 2009; CID-ORTEGA; GUERRERO-BELTRÁN, 2015). A planta também é conhecida no Brasil como rosella, quiabo-roxo, quiabo-róseo, quiabo-azedo, quiabo da angola, hibisco, carurú-de-guiné e caruru-azedo (LIM, 2014).

Embora a parte mais utilizada da planta seja o cálice, as folhas da vinagreira, apesar de geralmente serem ignoradas e descartadas, são consumidas na África como hortaliça e entram no preparo de sopas e molhos (ZHEN et al., 2016; CHEN et al., 2013). As folhas da vinagreira são ricas em vitaminas A e B1, sais minerais e aminoácidos. Seu extrato é fonte de compostos fenólicos e pode ser usado como agente anticancerígeno, podendo ainda proteger o organismo contra a oxidação das lipoproteínas de baixa densidade (LDL) (VIZZOTTO; PEREIRA, 2010; HUI-SUAN et al., 2012; HIRUNPANICH et al., 2006).

No Brasil, a importância da vinagreira é decorrente da utilização de suas folhas na alimentação humana e seu maior consumo é verificado no Maranhão, onde, tradicionalmente, faz parte da culinária em todas as regiões do Estado, sendo uma das principais hortaliças em volume comercializado. As folhas são o principal ingrediente de comidas típicas maranhenses, como o “cuxá” e o “arroz de cuxá” (LUZ; SOBRINHO, 1997).

O cuxá é um alimento que contempla tanto a ideia de uma comida saudável como expressa um traço da identidade cultural do Estado do Maranhão (RODRIGUES, 2008). No entanto, a alta perecibilidade do alimento não permite a sua comercialização e/ou consumo em outras regiões do país. Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que promovam uma maior vida útil do produto, bem como possibilitem sua comercialização em locais onde o mesmo não é conhecido e, conseqüentemente, consumido.

A secagem é um dos mais antigos métodos de preservação de alimentos (LEWICKI, 2006) e tem como princípio a redução do teor de umidade do alimento, o que previne grande

parte das reações bioquímicas, assegurando a estabilidade microbiana e garantindo maior vida de prateleira (LEWICKI, 2006; PARK; BIN; BROD, 2003; CANIZARES; MAURO, 2015).

Dentre os métodos de secagem, a desidratação em leito de espuma (foam mat drying) é um processo em que alimentos líquidos ou semilíquidos, através do batimento da matéria prima com agentes espumantes, formam espumas estáveis para desidratação (KANDASAMY; VARADHARAJU; KALEMULLAH, 2012; HARDY; JIDEANI, 2015). Entre as principais vantagens do método foam mat quando comparado a outros métodos de desidratação, destacam-se temperaturas de secagem mais baixas e tempos de secagem mais curtos (KARIM; WAI, 1999), o que assegura boa retenção das propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos e exige pouco investimento (ALEXANDRE et al., 2014; FALADE; OKOCHA, 2012).

Embora existam alguns estudos sobre a produção de alimentos em pó pelo método de leito de espuma, não há relatos na literatura sobre o emprego dessa técnica para a elaboração produtos à base de folhas da vinagreira como o cuxá. Desta forma, o presente estudo visa investigar o processo de secagem em leito de espuma (*foam mat drying*) do cuxá e caracterizar os pós obtidos, de forma a contribuir com produtores de alimentos através do desenvolvimento da tecnologia de fabricação desse novo produto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Investigar a secagem em leito de espuma do cuxá com o intuito de obter um produto com boas características nutricionais e sensoriais, estender sua vida útil e contribuir para diminuição das perdas pós-colheita da vinagreira (*Hibiscus sabdariffa L.*).

2.2 Objetivos Específicos

- Testar formulações à base de folhas de vinagreira juntamente com outras hortaliças e selecionar uma composição de cuxá com base em avaliação sensorial;
- Selecionar agentes espumantes (Emustab e Albumina) com base na avaliação dos efeitos da concentração e da mistura dos agentes espumantes sobre os parâmetros de cor, densidade, *overrun* e estabilidade das espumas de cuxá;
- Avaliar o efeito dos agentes espumantes e das temperaturas sobre a cinética de secagem de cuxá em leito de espuma;
- Avaliar o efeito dos agentes espumantes e temperaturas de secagem sobre a retenção de compostos fenólicos totais durante o processo;
- Avaliar o efeito dos agentes espumantes e temperaturas de secagem sobre características físico-químicas dos pós de cuxá, a saber: pH, sólidos totais, solubilidade, cor, morfologia do pó, molhabilidade e compostos fenólicos totais;
- Avaliar a cinética de degradação da clorofila no pó de cuxá durante armazenamento;
- Determinar a estabilidade dos pós de cuxá e estimar a vida de prateleira através do uso de teste acelerado de vida de prateleira (TAVP).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Vinagreira (*Hibiscus Sabdariffa* L.)

Dentre as mais de quinhentas espécies do gênero *Hibiscus* existentes em todo o mundo, a vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L) evidencia-se como uma das hortaliças de uso expressivo, tanto do ponto de vista alimentar como medicinal, servindo como uma importante fonte de renda para os agricultores rurais, principalmente nos países em desenvolvimento (MEDWECKA-KORNAŚ, 2013; CISSE et al., 2009; CID-ORTEGA; GUERRERO-BELTRÁN, 2015).

A hortalica é um arbusto anual semilenhoso, da família Malvaceae, originária do Sudão na África, particularmente nas áreas de Darfur e Kordofan, sendo cultivada em todo o mundo, com predominância em regiões tropicais e subtropicais chegando a alcançar entre um e três metros de altura. (TABE et al., 2015; MOHAMED; SULAIMAN; DAHAB, 2012; KESHAVARZI; MOUSSAVINIK, 2011; MÁRQUEZ, 2008). A classificação taxonômica da espécie (Tabela 1) é apresentada por Falusi et al. (2014).

Tabela 1 - Classificação taxonômica da vinagreira

CATEGORIAS HIERÁRQUICAS	GRUPOS TAXONÔMICOS
Reino	Plantae
Divisão	Spermatophyta,
Subdivisão	Angiospermae
Classe	Dicotyledonae
Ordem	Malvales
Família	Malvaceae
Gênero	<i>Hibiscus</i>
Espécie	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.

Fonte: Falusi et al. (2014)

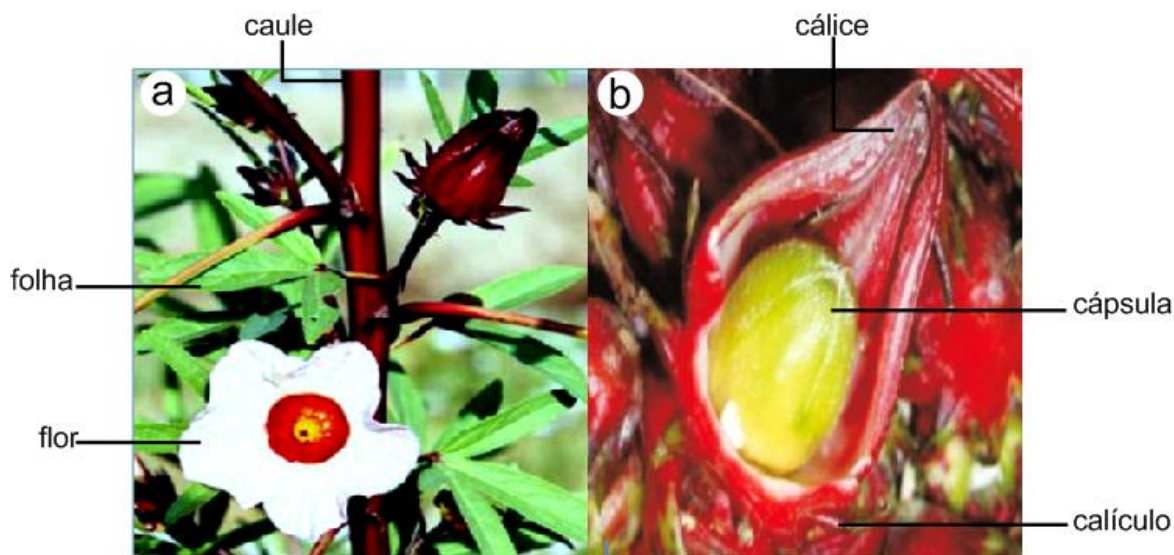
A planta é conhecida no Brasil como vinagreira, rosella, quiabo-roxo, quiabo-róseo, quiabo-azedo, quiabo da angola, hibisco, caruru-de-guiné e caruru-azedo (LIM, 2014). De acordo com o país é conhecida com outras denominações: Karkade no Sudão e Arábia, Flor-

da-Jamaica ou Jamaica no México, Roselle nos Estados Unidos e Inglaterra, Bissap em Gana, Satui em Serra Leoa (MORTON, 1987; ROSS, 2003).

O caule da planta é cilíndrico, normalmente de coloração vermelha, as folhas são verde-escuras, são alternas, longo-pecioladas, compostas por 3 a 7 lóbulos, com margens dentadas, podendo medir entre 7 cm e 12 cm de comprimento. (GARG; KUMAR; GARG, 2012; QI et al., 2005; DA-COSTA-ROCHA et al., 2014), conforme se verifica na Figura 1a.

A flor é simples, séssil e axilar. Sua corola é composta de cinco sépalas de coloração vermelho brilhante em formato cônico originando o cálice. Na base deste, encontra-se o cálculo ou pequeno cálice, disposto em círculo (CASTRO et al., 2004). Ainda, de acordo com os autores o fruto da vinagreira é dividido em três partes: cálice, cálculo e cápsula (Figura 1b).

Figura 1 - Caule, folha e flor da vinagreira (a) e (b) fruto



Fonte: Rosa (2013) adaptado; Cissé et al. (2008) adaptado

Apesar da *Hibiscus sabdariffa* L. destacar-se por sua beleza e ser cultivada com fim ornamental, ela vem sendo utilizada por muitos anos, em diferentes países, como um recurso culinário e terapêutico, em virtude de suas propriedades medicinais. De acordo com diferentes estudos etnobotânicos, alguns medicamentos tradicionais usam o extrato aquoso da planta como diurético, para o tratamento de distúrbios gastrointestinais e hipercolesterolemia e anti-hipertensivo (MUNGOLE; CHATURVEDI, 2011; HERRERA-ARELLANO et al., 2004). Suas folhas também contêm grande quantidade de ferro e ácido fólico, além de serem ricas

em proteína (DA-COSTA-ROCHA et al., 2014). Muitas de suas propriedades medicinais se devem a substâncias antioxidantes como compostos fenólicos, ácido ascórbico e beta caroteno (SINGH et al., 2016, KUMAR et al. 2015, DA-COSTA-ROCHA et al., 2014).

3.1.1 Condições de cultivo

A vinagreira é uma hortaliça não convencional e de fácil propagação, cultivada em várias partes do mundo, mostrando-se uma cultura ideal para os países em desenvolvimento, pela facilidade em crescer e poder ser cultivada por meio de vários sistemas de cultivo (TABE et al., 2015; DA-COSTA-ROCHA et al., 2014).

A planta adapta-se com facilidade em regiões com precipitação pluviométrica entre 1.500 e 2.000 mm anuais, bem distribuídos, e em altitudes próximas a 600 metros, necessitando de apenas 3 a 4 meses para iniciar seu processo de colheita (ISMAIL; IKRAM; NAZRI, 2008).

3.1.2 Formas de aproveitamento

As diferentes partes da planta, folhas, flores, caule, raízes, frutos, sementes e cálices, são utilizadas de diversas formas e finalidades em todo o mundo. Da-Costa-Rocha et al. (2014) citam que a vinagreira é utilizada tradicionalmente como alimento, na elaboração de bebidas frias e quentes, como agente aromatizante na indústria alimentar e como uma erva medicinal.

No Brasil, a Resolução de Diretoria Colegiada - RDC N°. 267, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) que aprova o Regulamento Técnico de Espécies Vegetais para o Preparo de Chás, estabelece que as flores da vinagreira podem ser utilizadas para a elaboração de chás (BRASIL, 2005).

As sementes são amargas, entretanto, na África são torradas e utilizadas em substituição ao café e, quando moídas, originam uma farinha de alto valor proteico para uso na alimentação humana. Na Malásia, aplicam-se essas sementes na fabricação de esfoliantes e sabonetes. No entanto, a maioria das sementes são simplesmente descartadas quanto da utilização dos cálices pela indústria (MORTON, 1987; ISMAIL; IKRAM; NAZRI, 2008).

Os cálices constituem a parte comercialmente valiosa da planta, que são utilizados para elaboração de chá, no preparo de doces, geleias, compotas, licores, farinha para biscoitos, entre outros produtos (MOHAMED; SULAIMAN; DAHAB, 2012; HERRERA-ARELLANO et al., 2004; MAHADEVAN; SHIVALI; KAMBOJ, 2009; CID-ORTEGA; GUERRERO-BELTRÁN, 2015), sendo reconhecidos como fonte de antioxidantes (MOHD-ESA et al., 2010).

Embora a parte mais utilizada seja o cálice, em detrimento das folhas da vinagreira, geralmente ignoradas e descartadas, elas são consumidas na África como hortaliça, em preparações de sopas e molhos (ZHEN et al., 2016; CHEN et al., 2013). No Brasil, a importância da vinagreira é decorrente da utilização de suas folhas na alimentação humana, cujo maior consumo é verificado no Maranhão. Tradicionalmente, ela faz parte da culinária em todas as regiões do Estado, sendo uma das principais hortaliças em volume comercializado. As folhas são o principal ingrediente de comidas típicas maranhenses, como o “cuxá” e o “arroz de cuxá”, e são usadas, ainda em cozidos de carnes, feijão e sopas (LUZ; SOBRINHO, 1997).

O cuxá é um prato emblemático do Maranhão, cuja origem pode resumir a influência dos povos que tiveram grande importância na formação do Estado: o negro, o índio, o árabe e o português. Pode ser consumido como um prato isolado, mas geralmente é servido juntamente com arroz e acompanhado com peixe frito ou outra iguaria (FERNANDES, 2007). É um alimento que contempla tanto a ideia de uma comida saudável como expressa um traço da identidade cultural do Estado (RODRIGUES, 2008).

3.2 Secagem

A secagem é um dos mais antigos métodos de preservação de alimentos, sendo ainda uma técnica amplamente utilizada. Consiste em um processo complexo que envolve a transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser desidratado (GONELI et al., 2014).

A redução da umidade ocorrida na secagem previne grande parte das reações bioquímicas, assegurando a estabilidade microbiana, o que garante maior vida de prateleira dos produtos submetidos a esse processo (LEWICKI, 2006; PARK; BIN; BROD, 2003; CANIZARES; MAURO, 2015).

A secagem de alimentos utilizando o ar aquecido baseia-se na elevação da temperatura do produto para evaporação da água e, caso não seja controlada adequadamente, pode provocar alterações indesejáveis na aparência, cor, textura, bem como no conteúdo de nutrientes do produto final (SHIGEMATSU et al., 2005).

Diversas são as vantagens atribuídas à secagem:

- a) Diminuição das perdas pós-colheita dos produtos agrícolas (WIDYASTUTI; SRIANTA, 2011);
- b) Melhora a estabilidade dos alimentos, reduzindo a atividade microbiológica e minimizando as alterações físicas e químicas durante o armazenamento, com consequente aumento da vida de prateleira (MICHAILIDIS; KROKIDA, 2015; CANO-CHAUCA et al., 2004; INSEGARD; KLING; REH, 2006);
- c) Redução do volume e tamanho dos alimentos, facilitando manuseio, transporte e distribuição (FALADE; OKOCHA, 2012; SAGAR; KUMAR, 2010);
- d) Maior economia energética no armazenamento, uma vez que alimentos desidratados não precisam de refrigeração (PARK; YADO; BROD, 2001);

Vários métodos são utilizados para desidratação de alimentos, cuja escolha depende da análise de alguns fatores como matéria prima, disponibilidade do tipo de secador adequado, custo de secagem, consumo de energia e qualidade do produto pretendida (SAGAR; KUMAR, 2010). Esses critérios devem ser cuidadosamente analisados, pois características como estabilidade nutricional, sabor, aparência, entre outros parâmetros devem ser preservados ao máximo.

Para alimentos líquidos e semi-sólidos um método que vem se destacando no meio científico é a secagem em leito de espuma (*foam mat drying*). Para Sangamithra et al. (2015), na produção de alimentos em pó, o método de secagem por leito de espuma é uma alternativa para substituir a secagem em tambor, já que esta tem como desvantagem a perda da qualidade do desidratado devido à elevada temperatura, como também a liofilização e a secagem por atomização, que apresentam elevados custos de produção.

3.2.1 Etapas da Secagem

De acordo com Park et al. (2014) o processo de secagem, baseado na transferência de calor e de massa (Figura 2), pode ser dividido em três períodos:

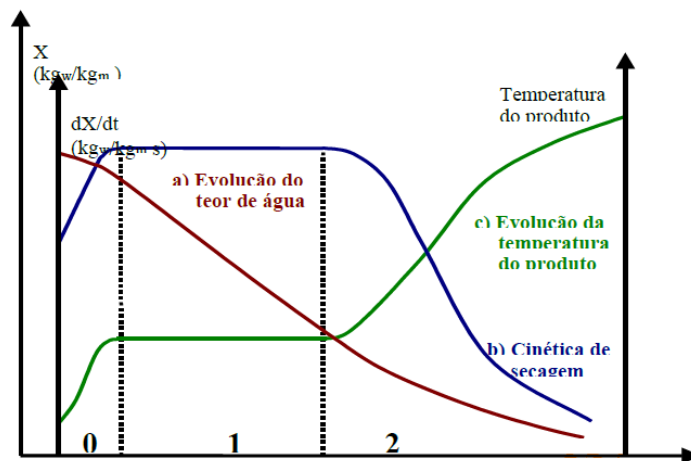
O primeiro período representa o início da secagem, onde ocorre um aumento gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Esse aumento tem continuidade até o ponto em que a transferência de calor equivalha à transferência de massa.

O segundo período, observado em produtos biológicos com umidade inicial de acima de 70% b.u. (PALACIN, et al., 2005), caracteriza-se pela taxa constante de secagem, onde a transferência de massa e calor são iguais e, enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem continuará constante.

No terceiro estágio, a taxa de secagem é decrescente e a quantidade de água presente na superfície do produto é menor, o que reduz, conseqüentemente, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa, assim, a temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado.

Ainda segundo Park et al. (2014), nestes períodos acima descritos encontram-se três curvas: curva (a) que representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, em relação à evolução do tempo de secagem, a curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do conteúdo de umidade do produto por tempo, em relação à evolução do tempo e por fim, a curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto (T) em relação à evolução do tempo (t)).

Figura 2 - Curva típica de secagem



Fonte: Park et al. (2014)

3.2.2 Secagem em leito de espuma (*Foam mat drying*)

Desenvolvido por Morgan (1959) e colaboradores, a secagem em leito de espuma (*foam mat drying*), é um método utilizado para a obtenção de produtos alimentícios em pó. Neste processo, alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, através de vigorosa agitação e incorporação de agentes espumantes para posterior desidratação (KANDASAMY; VARADHARAJU; KALEMULLAH, 2012; SILVA et al., 2008; HARDY; JIDEANI, 2015).

A secagem em leito de espuma é um método muito utilizada para a secagem de alimentos sensíveis ao calor, pois, além de assegurar boa retenção das propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos, exige pouco investimento em equipamentos quando comparada a outros métodos adequados a produtos termossensíveis, como a liofilização e a secagem por atomização (ALEXANDRE et al., 2014; FALADE; OKOCHA, 2012, KARIM; WAI, 1999).

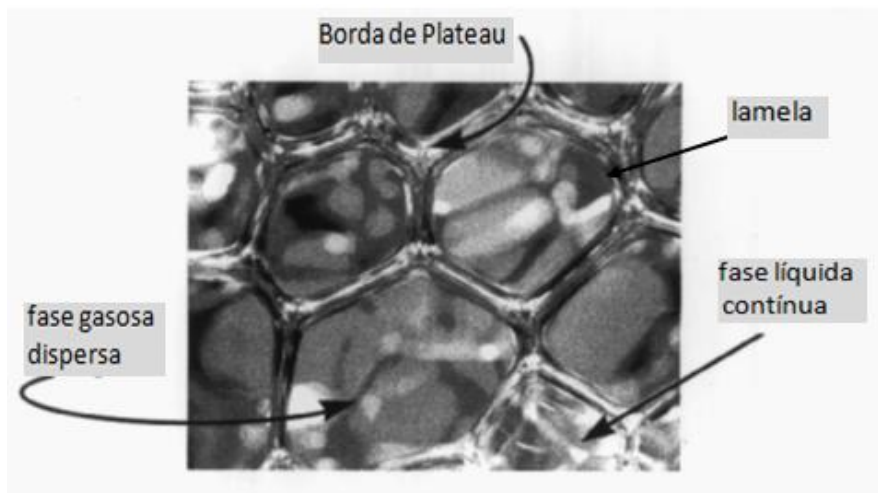
Este tipo de secagem permite o processamento de biomateriais pastosos de difícil desidratação, produzindo materiais que serão facilmente reidratados, além de propiciar bons índices de retenção de cor, aroma e nutrientes (FERNANDES et al., 2014).

O método de secagem em leito de espuma é simples e relativamente barato que consiste em três etapas: transformação do alimento líquido ou semilíquido em uma espuma estável por meio da adição de agentes espumantes e batimento, seguido do espalhamento do material em uma fina camada para secagem com ar quente, e, por fim, trituração para conversão das placas em pó (KARIM; WAI, 1999; RAJKUMAR et al., 2007).

3.2.2.1 Espumas alimentícias e agentes espumantes

A espuma é uma dispersão coloidal no qual o gás é disperso numa fase líquida contínua. A fase dispersa, rodeada por uma borda achatada é a fase interna, enquanto a fase externa é a fase contínua. Estas, encontram-se separadas por uma fina película líquida conhecida como lamela (SANGAMITHRA et al., 2015; HARDI; JARDINI, 2015), conforme pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Representação da estrutura de uma espuma



Fonte: Figueredo et al. (1999) adaptado.

Apesar das inúmeras vantagens da secagem em leito de espuma, tem-se observado uma dificuldade neste processo, que é a instabilidade da espuma durante o ciclo de aquecimento. Espumas estáveis termicamente conservam a sua estrutura porosa, o que ajuda na melhoria das propriedades de reconstituição do produto desidratado (BAG; SRIVASTAV; MISHRA, 2011).

Muitos alimentos naturalmente contêm proteínas solúveis e monoglicerídeos que detêm a capacidade de produzir espumas após serem batidos, no entanto, as espumas formadas podem ser insatisfatórias para o processo de desidratação (SANKAT; CASTAIGNE, 2004). Desta forma, torna-se necessário adicionar agentes espumantes, que são substâncias capazes de formar e estabilizar espumas.

Ao escolher um agente espumante deve-se dar preferência àquele que promova a maior redução da densidade, sendo a propriedade mais importante, pois a redução desta, causada pela incorporação de ar durante a agitação da polpa com o aditivo é que caracteriza a formação da espuma (SOUZA, 2011).

Desta forma, vários agentes espumantes têm sido utilizados em inúmeras pesquisas com a finalidade de caracterizar as melhores concentrações de aditivos bem como as melhores condições de secagem empregando o método de secagem em leito de espuma.

Karim e Wai (1999) utilizando o método de secagem em leito de espuma, preparam espumas a partir de purê de carambola (*Averrhoa carambola* L.) fazendo uso de concentrações que variaram de 0,1% a 0,5% de methocel. Os autores concluíram que o aditivo

pode ser utilizado com sucesso como agente espumante em baixas concentrações, produzindo pó com características desejáveis do ponto de vista tecnológico.

Em pesquisa com feijão caupi (*Vigna unguiculata*) na secagem em leito de espuma, Falade et al. (2003) fizeram uso dos agentes espumantes monoestearato de glicerol e albumina nas concentrações de 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% e 15%. Os resultados mostraram que a densidade das espumas diminuiu com o aumento da concentração dos aditivos.

Raharitsifa, Genovese e Ratti (2006) secaram em leito de espuma o suco de maçã clarificado com concentrações de 0,5 %, 1 %, 2 % e 3 % de albumina e 0,1 %, 0,2 % , 0,5 %, 1 % e 2 % de metilcelulose e perceberam que ocorreu uma melhor estabilidade das espumas à medida que houve aumento da concentração dos agentes espumantes.

Kadam e Balasubramanian (2011) produziram pó a partir de suco de tomate mediante desidratação pelo método de secagem em leito de espuma utilizando as temperaturas de 60 °C, 65 °C e 70 °C e albumina como agente espumante nas concentrações de 5%, 10%, 15% e 20%. Os autores consideraram que o tempo de aeração de 5 minutos e a concentração de 10% de albumina são ideais para formação de espumas estáveis.

Desidratação de polpa de manga da variedade Dussehri pelo método de leito de espuma foi realizada por Wilson et al. (2012) usando 0%, 3%, 5%, 7%, e 9% de albumina como agente de formação de espuma e realizando a secagem nas temperaturas de 65 °C, 75 °C e 85 °C. Como resultado constatou-se que a concentração de 3% de albumina e temperatura de secagem de 65 °C proporcionou a obtenção de pó com maior manutenção da qualidade nutricional.

Estudando o efeito da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó Fernandes et al. (2014) verificaram a ocorrência de maiores valores de acidez e menores valores de pH quando albumina foi utilizada como agente espumante nas temperaturas de secagem de 60 °C e 80 °C. Também observaram que o aditivo favoreceu a produção de pós com menor densidade quando comparados a tratamentos controle sem adição de albumina.

Franco et al. (2015) em pesquisa com espumas de suco de yacon preparadas com Emustab e albumina nas concentrações de 5%, 7,5%, 10%, 15% e 20% e tempos de aeração de 5, 12,5 e 20 minutos, constataram que ambos agentes espumantes reduziram a densidade das espumas em todas as concentrações e tempos de aeração testados.

3.3 Compostos fenólicos

Nos últimos anos, há no meio científico um grande interesse no estudo de antioxidantes, o que se deve, principalmente, às descobertas sobre o efeito dos radicais livres e outros agentes oxidantes no organismo. Desta forma, está comprovado que a ação dos radicais livres pode ser bloqueada ou retardada por substâncias antioxidantes, as quais podem ser naturais e sintéticas (RAMOS et al., 2011).

Os compostos fenólicos encontrados nas plantas estão relacionados, principalmente, com a proteção, conferindo alta resistência a microrganismos e pragas. Nos alimentos, estes compostos podem influenciar o valor nutricional e a qualidade sensorial, conferindo atributos como cor, textura, amargor e adstringência. Ao lado dos carotenoides e das Vitaminas C e E, os compostos fenólicos destacam-se como um dos principais antioxidantes presentes nos vegetais (ROCHA et al., 2011; SILVA et al., 2010).

Os compostos fenólicos são estruturas químicas que apresentam hidroxilas e anéis aromáticos, nas formas simples ou de polímeros. Quando presentes em vegetais podem estar em formas livres ou complexadas a açúcares e proteínas. Os flavonoides, os ácidos fenólicos, os taninos e os tocoferóis destacam-se como os antioxidantes fenólicos mais comuns de fonte natural (ANGELO; JORGE, 2007). De acordo com Sousa et al. (2007) a atividade antioxidante dos compostos fenólicos deve-se principalmente às suas propriedades redutoras e estrutura química, uma vez que estas características desempenham um papel fundamental na neutralização ou sequestro de radicais livres e quelação de metais de transição, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo.

Estudos têm demonstrado que polifenóis naturais possuem efeitos significativos na redução do câncer, Mal de Alzheimer e Parkinson. Evidências epidemiológicas demonstram correlação inversa entre doenças cardiovasculares e o consumo de alimentos fonte de substâncias fenólicas, possivelmente por suas propriedades antioxidantes. (BERNARDES et al., 2010; BENEVIDES et al., 2011).

A planta de vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.) possui propriedades antioxidantes e antimicrobianas (MACIEL et al., 2012). Em estudo com extratos de diferentes partes da planta Modh-Esa et al. (2010) observaram maior conteúdo de compostos fenólicos nas sementes e nos cálices, seguido das folhas e caule. Os autores também constataram uma maior extração destes compostos com o uso do metanol como solvente do que com a água.

O extrato das folhas da vinagreira é uma fonte acessível de compostos fenólicos e pode ser utilizado na preparação de suplementos alimentares, além da possibilidade de sua utilização como agente anticancerígeno, especialmente no tratamento do câncer de próstata (HUI-HSUAN et al., 2012).

3.4 Clorofila

As clorofilas são os pigmentos naturais verdes mais abundantes encontrados nas plantas, ocorrem nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais. São responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese, sendo essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química. Desta forma estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente com seu crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes (VOLP et al., 2009; JESUS; MARENCO, 2008).

O nome clorofila foi proposto por Pelletier e Caventou no ano de 1818, para denominar a substância verde extraída das folhas com o auxílio do álcool. Com o tempo, os pigmentos clorofilianos passaram a ter grande valia comercial, podendo ser utilizados tanto como pigmentos quanto como antioxidantes (STREIT et al., 2005).

Quimicamente, a clorofila não é uma molécula isolada, mas compreende uma família de substâncias semelhantes entre si, designadas de clorofila *a*, *b*, *c* e *d*. Estruturalmente são moléculas complexas, pertencentes à classe das porfirinas, formadas por 4 anéis pirrólicos e um quinto anel isocíclico, localizado ao lado do terceiro anel pirrólico (LANFER-MARQUEZ, 2003).

As clorofilas *a* e *b* são abundantes nas plantas verdes, e as *c* e *d* são encontradas em alguns protistas e cianobactérias. Esses pigmentos fotossintetizantes absorvem luz e impulsionam a fotossíntese (EMRICH et al., 2011).

Além de captar luz na fotossíntese, as clorofilas exercem importantes funções, por exemplo, em alguns vegetais a cor compõe um dos parâmetros mais importante na avaliação da qualidade pós-colheita, fornecendo informações como grau de amadurecimento, estado de conservação e nutrição mineral (SILVA et al., 2007).

A clorofila é um pigmento que pode ser facilmente alterado ou destruído, modificando a percepção e a qualidade dos produtos. Quando esta é degradada a cor do alimento processado passa de verde-brilhante para verde-oliva. Nos vegetais consumidos *in natura* o

alimento assume uma ampla variedade de cores (SCHOEFS, 2002; HEATON; MARANGON, 1996).

Entre os fatores que promovem a perda da clorofila pode-se destacar a luz, o oxigênio e a temperatura, sendo esta última considerada um dos principais (LAJOLO et al., 1971; SILVA et al., 2007; SHOEFS, 2002).

A desidratação de vegetais, usados com frequência como ingredientes em sopas instantâneas, condimentos e outros alimentos desidratados, geralmente provocam uma drástica perda da clorofila e concomitante aumento na concentração de feofitinas. Esta mudança de coloração aumenta com a temperatura empregada, sendo acompanhada por um decréscimo do pH natural do vegetal pela liberação de ácidos orgânicos celulares, criando as condições favoráveis para a feofitinização (LANFER-MARQUEZ, 2003). Ao lado da feofitinização, a oxidação também é uma das reações mais prováveis de degradação da clorofila em vegetais desidratados, provocando alteração na sua coloração (CABRAL-MALHEIROS et al., 2010).

A extração de pigmentos naturais como a clorofila é realizada, em sua maioria, por métodos que se baseiam na absorbância e refletância do pigmento, podendo ser de caráter destrutivo ou não (SANTOS et al., 2008). Utilizando método destrutivo, os solventes polares como a acetona, o metanol, o etanol, o acetato de etila, a piridina e a dimetilformamida são os mais eficazes para a extração completa das clorofilas. Por outro lado, solventes apolares como o hexano e o éter de petróleo são pouco eficazes para extração do pigmento (STREIT et al., 2005). Na determinação do teor de clorofila por métodos não-destrutivos são utilizados equipamentos como clorofilômetros portáteis (ZOTARELLI et al., 2003; BARBIERI JUNIOR et al., 2012; RIGON et al., 2012) e colorímetro (AMARANTE et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção das matérias primas

As folhas de vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.) e as pimentas-de-cheiro (*Capsicum chinense*) foram provenientes da feira-livre do município de Dom Pedro-MA. A vinagreira foi adquirida na forma de maços (Figura 4).

Figura 4 - Maço de vinagreira comercializado na feira-livre em Dom Pedro-MA



Os maços de vinagreira utilizados em testes preliminares permaneceram aproximadamente 24 horas à temperatura ambiente, em seguida foram armazenados em geladeira (~8 °C) por aproximadamente 10 dias, quando então as folhas (Figura 5a) foram separadas dos talos (Figura 5b) e encaminhadas para o processamento. Por sua vez, os maços de vinagreira utilizados no teste sensorial e na etapa de secagem permaneceram aproximadamente 24 horas à temperatura ambiente, seguindo imediatamente o processamento.

Figura 5 - Folhas (a) e talos (b) da vinagreira



As demais hortaliças, tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), cebola (*Allium cepa* L.), alho (*Allium sativum*) e quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.) foram adquiridas no mercado local da cidade de Dom Pedro-MA ou de São José do Rio Preto-SP.

Os agentes espumantes, Albumina em pó comercial (Natuovos, Salvador do Sul, RS, Brasil) e mistura à base de monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60 (Emustab®, Duas Rodas Industrial, Jaraguá do Sul, SC) foram adquiridos no mercado local da cidade de São José do Rio Preto-SP.

4.2 Elaboração e caracterização do cuxá

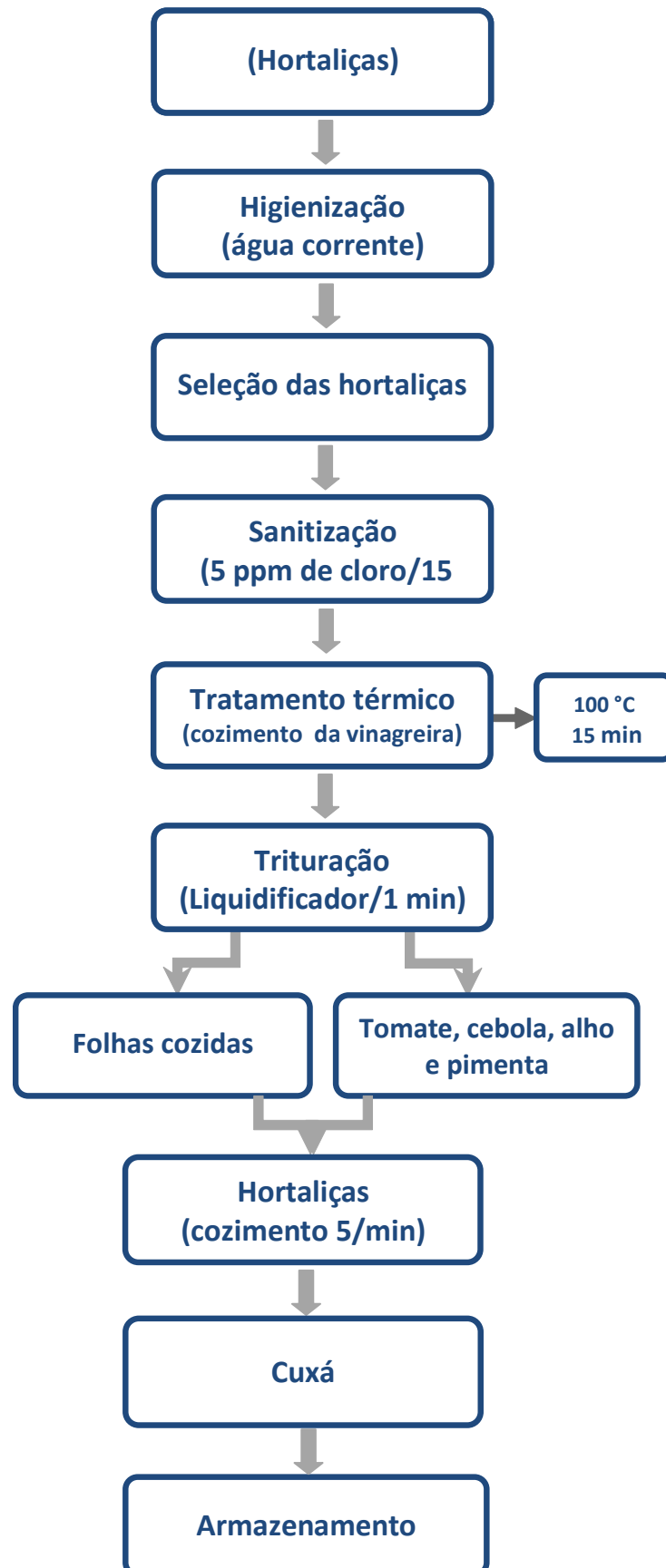
O cuxá foi elaborado no Laboratório de Alimentos do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão/IFMA Câmpus Codó e no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Câmpus São José do Rio Preto-SP.

Antes do processamento, as hortaliças passaram por uma prévia seleção para descarte das que apresentavam injúrias e imperfeições, foram lavadas em água corrente, sanitizadas em hipoclorito de sódio (5 ppm) e secas em papel toalha.

Para elaboração da formulação ideal do cuxá, foram realizados testes preliminares com diferentes proporções de vinagreira, principal ingrediente, tomate, cebola, quiabo e pimentinha. A elaboração do cuxá, descrita no fluxograma da Figura 6, constitui-se no cozimento das folhas de vinagreira por 10 minutos em água à temperatura de ebulição, numa relação aproximada de 1 kg de folhas para 2 litros de água. Em seguida as folhas foram dispostas em peneiras para separação da água em excesso. Os ingredientes foram triturados em liquidificador durante 1 minuto, assim como as folhas cozidas de vinagreira. Tempos de cozimento e trituração foram estabelecidos após testes preliminares.

A seguir, ingredientes e folhas foram misturados em panela, segundo as formulações apresentadas na Tabela 2, e cozidos durante 5 minutos, resultando no cuxá.

Figura 6 - Fluxograma para elaboração do cuxá



Foram testadas diferentes formulações durante ensaios preliminares (Tabela 2), para definição da composição de cuxá que apresentasse a melhor aceitação por parte de consumidores, através de análise sensorial, isto se deveu ao fato do cuxá ser preparado com diferentes ingredientes a depender da região do Maranhão, assim estabeleceu-se uma formulação padrão.

Tabela 2 - Formulações utilizadas nos ensaios preliminares (sensorial)

Hortaliças	Formulação A	Formulação B	Formulação C
	Quant. (g)	Quant. (g)	Quant. (g)
Vinagreira	1000	1000	1000
Tomate	100	100	100
Cebola	78	78	78
Alho	7	7	7
Pimenta	-	17	17
Quiabo	-	-	90

Análise de umidade foi realizada nas matérias primas vinagreira, pimenta de cheiro, tomate, cebola e alho, separadamente, assim como no cuxá. Este, também foi analisado quanto a sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), pH, acidez total titulável (g ácido cítrico/100 g), proteína (g/100 g), densidade (kg/m^3), atividade de água (a_w), fenólicos totais (mg/g) e cor.

4.3 Avaliação sensorial para estabelecimento de formulação padrão

A aceitabilidade das formulações de cuxá elaboradas nos ensaios preliminares foi realizada com 70 (setenta) consumidores, dentre servidores e estudantes do IFMA Câmpus Codó-MA, que avaliaram os produtos através de uma escala hedônica verbal de 9 pontos, cujos extremos foram: 1- Desgostei Extremamente e 9 – Gostei Extremamente (Ficha II, Apêndice B). As amostras de cuxá com 30 g cada foram servidas de forma monádica, codificadas com números de três dígitos, tomados ao acaso, acompanhadas de um copo de água mineral à temperatura ambiente para ser utilizado pelo provador entre as degustações das amostras.

Convém relatar que os julgadores foram selecionados em razão de serem consumidores de cuxá, possuem disponibilidade e interesse em participar do teste.

4.4 Obtenção, caracterização e seleção das espumas

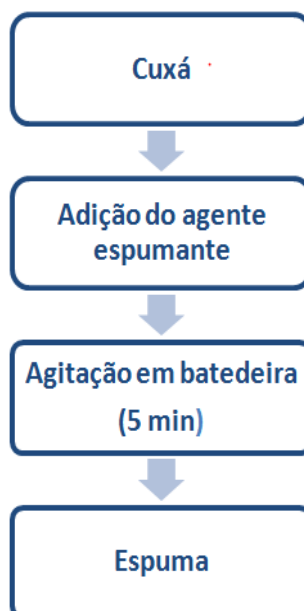
Para a formação das espumas, foram utilizados dois agentes espumantes como aditivos, a Albumina, produto à base da proteína do ovo e um produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60, de marca comercial Emustab®. Esses aditivos foram testados em diferentes proporções para selecionar tempo de batimento e concentração de agente espumante.

O tempo de aeração foi estabelecido a partir de testes preliminares, utilizando as concentrações mínima e máxima dos agentes espumantes (5 e 10 g de cada agente espumante/100 g de cuxá), com batimento por tempos de 3, 5, 7 e 10 minutos em batedeira doméstica (R17200, Philips Walita, Varginha, MG, Brasil). O tempo de batimento foi selecionado com base no menor valor de densidade medido nas espumas.

A seguir, as concentrações de agentes espumantes foram avaliadas com o objetivo de selecionar espumas para serem utilizadas na etapa de secagem. Para tanto, foram testadas todas as combinações entre as proporções de 0 (controle), 5, 7,5 e 10 g de Albumina /100g de cuxá e 0 (controle), 5, 7,5 e 10g de Emustab /100g de cuxá. Os critérios de seleção para a escolha das concentrações de agentes espumantes foram baseados nas análises físico-químicas (densidade (kg/m^3), *overrun*, estabilidade e cor das espumas). Para tanto, o tempo de batimento utilizado foi o estabelecido em ensaios preliminares.

Por fim, com as concentrações selecionadas, as espumas foram formuladas para as secagens. As análises de umidade e cor foram realizadas antes de cada secagem. A Figura 7 apresenta o fluxograma para a elaboração das espumas.

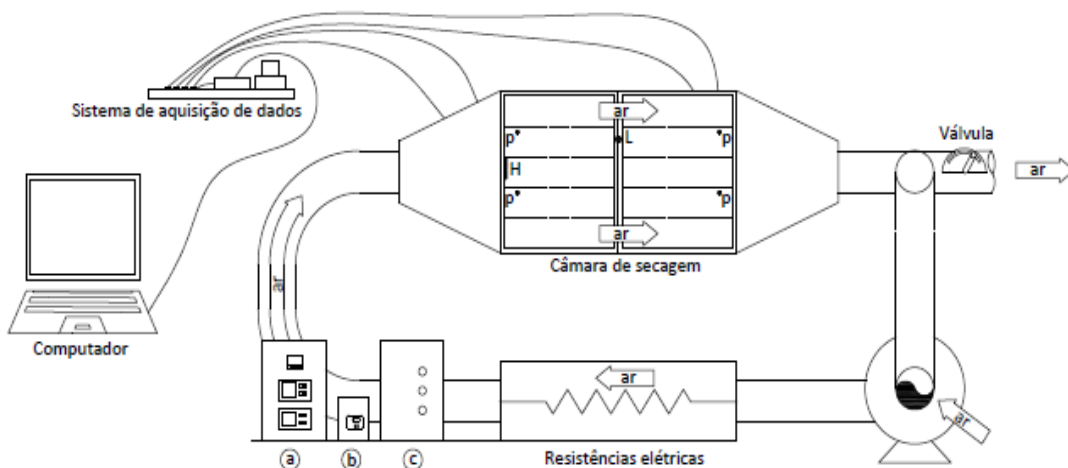
Figura 7 - Fluxograma de produção da espuma de cuxá



4.5 Secagem em leito de espuma, obtenção e caracterização dos pós de cuxá

A etapa de secagem foi conduzida na Planta Piloto de Secagem do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Câmpus São José do Rio Preto-SP. Utilizou-se um secador de leito fixo com convecção forçada de ar aquecido (Figura 8) equipado com um ventilador centrífugo (2,0 CV, Siroco, VSI 195, IBRAN, São Paulo, SP, Brasil). A velocidade do ar foi controlada por um inversor de frequência (CWF10, WEG, Jaraguá do Sul, SC, Brasil). O controle da temperatura do ar foi realizado por um controlador digital microprocessador (N440, Novus, Porto Alegre, RS, Brasil), utilizando-se de um termopar tipo J. A câmara de secagem possui uma área seccional de $13,9 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, onde o ar em escoamento incide paralelamente às amostras, dispostas sobre as bandejas que ocupam três posições equidistantes na direção vertical da câmara. Utilizou-se um anemômetro de fio quente (HD403TS 1, Delta Ohm, Caselle di Selvazzano, Itália) para medir a velocidade média do ar no interior da câmara de secagem. A umidade relativa foi determinada por um sensor de umidade (DO9861T-R1m Delta Ohm, Caselle di Selvazzano, Itália) e a temperatura por quatro sensores tipo PT100. Estes instrumentos foram conectados a um sistema de aquisição de dados (IMPAC, São Paulo, SP, Brasil) de modo que os mesmos foram gravados ao longo do tempo usando o software ImpacLog (IMPAC, São Paulo, SP, Brasil).

Figura 8 - Esquema do secador piloto utilizado no experimento: a) Painel de controle da temperatura ligado aos termopares e às chaves das resistências; b) Inversor de frequência; c) Chave das resistências e chave geral; H) higrômetro; L) termopar; p) PT100



Fonte: FILIPPIN et al.(2015) modificado

As espumas de cuxá produzidas pela adição de 5g de Emustab/100 g de cuxá e 10 g de Albumina/100 g de cuxá foram secadas com ar aquecido nas temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C, utilizando a velocidade de ar de 1,1 m/s e camada com espessura de 3 mm. Esta faixa de temperatura foi adotada por mostrar-se eficiente quanto às taxas de secagem em alimentos, sendo que acima de 80 °C costuma haver perda significativa na cor e conteúdo nutricional dos mesmos. Após o batimento (5 min), as espumas foram imediatamente espalhadas em bandejas de alumínio com dimensões de 30 × 30 cm, na altura da borda de 3 mm que é dobrada em dois lados opostos da bandeja. Para tal, foram colocadas 100 gramas de espuma em cada uma das três bandejas utilizadas em cada ensaio (Figura 9), que foram niveladas com o auxílio de uma régua de alumínio.

Figura 9 - Espumas distribuídas nas bandejas durante secagem



As bandejas contendo as espumas foram pesadas a cada 10 minutos durante a primeira hora de secagem e após isso, a cada 15 minutos, até obtenção de massa constante. A cada nova pesagem, a bandeja era girada em 180°, sempre com um lado sem borda recebendo o fluxo do ar secagem, e sua posição vertical era mudada com as demais no interior da câmara de secagem. Após atingir o equilíbrio, as espumas secas eram retiradas das bandejas com o auxílio de espátula para imediatamente serem moídas em um miniprocessador (HC31, Black&Decker, Uberaba, MG, Brasil). Para o teste acelerado de vida de prateleira (TAVP), o pó de cuxá com 10 g de Albumina/100 g de cuxá foi acondicionado em embalagem metalizada com zíper, nas dimensões de 8 cm x 12,5 cm (80MZ, Tradbor, Iperó, SP, Brasil),

cuja gramatura é $100 \pm 10 \text{ g/m}^2$ e a permeabilidade é $5,38 \text{ g/m}^2 \text{ dia}$ ($38 \text{ }^\circ\text{C}$, 90% UR), para correspondentes análises durante o período de armazenamento.

Construíram-se as curvas de secagem com os dados de umidade, em base seca, em função do tempo de secagem. Análises de umidade e cor foram realizadas antes e depois das secagens e atividade de água (a_w) imediatamente após a moagem.

4.6 Análises físico-químicas

Convém relatar que todas as análises físico-químicas foram feitas em triplicata.

4.6.1 Umidade (b.u)

O teor de água foi determinado em triplicata, em 3 g de cuxá ou de espuma e 1 g de amostras em pó, por método gravimétrico, no qual as amostras foram dispostas em frascos pesa-filtro de vidro com tampa esmerilhada, secadas em estufa a vácuo (TE-395, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) a 60°C até atingir peso constante (AOAC, 2002).

4.6.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado por potenciometria utilizando-se medidor de pHmetro (MPA-210, Tecnopon, Piracicaba, SP, Brasil), devidamente calibrado com solução tampão de pH 4,0 e 7,0. O pH foi determinado em 10 mL de amostra que foram homogeneizadas em 90 mL de água destilada, conforme AOAC (2002).

4.6.3 Acidez total titulável

Para esta determinação, 5 g de amostra foram diluídas em 50 mL de água destilada, procedendo-se de imediato a titulação com solução de NaOH 0,1mol/litro usando fenolftaleína como indicador. A acidez foi expressa em g de ácido cítrico/100 g de amostra.

4.6.4 Sólidos Solúveis Totais – SST

Os teores de sólidos solúveis totais, foram determinados pela leitura direta em refratômetro Abbe de bancada (Q767B, Quimis, Diadema, SP, Brasil) devidamente aferido com água destilada. Uma alíquota da amostra foi posta sobre o prisma do aparelho e procedeu-se a leitura direta do índice refratométrico indicado. Os resultados foram expressos em °Brix de acordo com metodologia proposta pela AOAC (2002). Os graus Brix referem-se à porcentagem em peso de sacarose em solução a 20°C (IAL, 2008).

4.6.5 Proteínas

A fração proteica foi determinada pelo método Kjeldahl da AOAC (2002). Utilizou-se o fator de conversão de 6,25 para o cálculo do teor de proteína bruta ou total. O teor de proteína foi expresso em g/ 100 g de amostra.

4.6.6 Atividade de Água

A atividade de água foi determinada por meio do aparelho medidor de atividade de água (Aw Sprinth, Novasina Axair Ltd/ Switzeland) na temperatura de 25 °C.

4.6.7 Cor

As medições da intensidade de cor do cuxá e da caracterização das espumas e dos pós foram realizadas em espectrofotômetro de bancada (ColorFlex, HunterLab, Estados Unidos) previamente calibrado com padrões de cor branco e preto. Os parâmetros foram medidos fisicamente através da técnica estabelecida pela CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) que consiste na percepção tricromática do espectro visível. O ângulo de observação foi de 10° e a fonte de iluminação, D65. A leitura foi realizada através do sistema CIELab, que consiste da claridade (L^*), variando de 0 (preto) a 100 (branco), e cromaticidade a^* e b^* , com a^* representando a transição da cor verde ($-a^*$) para a cor vermelha ($+a^*$) e

b^* representando a transição da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$). Através destes parâmetros calculou-se C^* (Chroma ou índice de saturação) e H^* (ângulo Hue ou tonalidade) por meio das Equações 1 e 2. O valor de ΔE , que expressa a diferença total de cor (FALADE; ONYEOZIRI, 2012) levou em consideração na sua fórmula as diferenças entre os valores das coordenadas L^* , a^* e b^* da amostra de espuma analisada em relação à amostra padrão (cuxá). O ΔE indica se houve efeito do processamento na cor de uma amostra (QADRI; SRIVASTAVA, 2014) e foi determinado pela Equação 3 a seguir:

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

$$H^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3)$$

4.6.8 Compostos fenólicos totais

4.6.8.1 Preparo dos extratos

As etapas de extração e determinação dos compostos fenólicos totais foram realizadas de acordo com metodologia descrita por Mohd-Esa et al. (2010) com modificações. Para a extração, 13 gramas de cuxá ou 5 gramas dos pós foram transferidos para erlenmeyers, contendo 50 ml da solução aquosa de metanol (Synth, Diadema, SP, Brasil) 80% (v/v). Em seguida, os erlenmeyers foram colocados em mesa agitadora orbital (modelo TE-141, marca Tecnal, Piracicaba-SP), durante duas horas, sob agitação constante de 200 rpm e temperatura ambiente. A seguir, os extratos foram filtrados e transferidos para frascos de vidro âmbar de 50 mL, devidamente identificados.

4.6.8.2 Determinação dos compostos fenólicos totais

Imediatamente após a filtração, os extratos foram utilizados para a determinação dos compostos fenólicos totais. Alíquotas de 0,2 mL do extrato (1mg/mL) devidamente diluídos em metanol 80% foram transferidas para frascos de vidro âmbar e adicionado 1 mL de solução aquosa de Folin-Ciocalteu (Sigma, São Paulo, SP, Brasil) (1:10 v/v) e 0,8 mL da solução de bicarbonato de sódio (Synth, Diadema, SP, Brasil) 7,5% (p/v) que foram homogeneizados e deixados em repouso por trinta minutos, em temperatura ambiente e ao abrigo de luz. A absorbância foi mensurada no espectrofotômetro UV/Vis (Genesys 10S, Thermo Scientific, Alemanha) no comprimento de onda 765 nm. Para o branco, utilizou-se solução de metanol 80%. Os resultados foram expressos em equivalente de ácido gálico (AG) (mg AG/100 g da amostra) calculados por meio do ajuste da curva de calibração do ácido. A curva de calibração foi determinada com ácido gálico (Sigma, São Paulo, SP, Brasil) descrita no Apêndice A.

A retenção de compostos fenólicos totais dos pós de cuxá foi calculada de acordo com Murphy, Criner e Gray (1975).

4.6.9 Clorofila Total

Para a determinação do teor de clorofila total, 10 gramas do cuxá e 1 grama dos pós foram colocados em tubos de centrífuga de 50 mL, acrescentando-se 10 mL da solução aquosa de acetona 80%, que foram centrifugados a 4000 rpm durante 10 minutos. 5 ml do sobrenadante foram transferidos para um balão de 25 ml e acrescentou-se acetona 80% até completar o volume do balão. O extrato foi diluído para que a absorbância fosse situada entre 0,2 e 0,8 (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004). A absorbância foi mensurada no espectrofotômetro UV/Vis Gold Spectrumlab 53 no comprimento de onda 652 nm, conforme metodologia descrita por Linder (1974) e Engel e Poggiani (1991), verificada na Equação 4.

$$\text{Clorofila total} = \frac{(A_{652} \times 1000 \times V/1000W)}{34,5} \quad (4)$$

onde

A = absorbância no comprimento de onda indicado

V = volume final do extrato clorofila-acetona

W= matéria fresca em gramas da amostra utilizada

4.6.10 Densidade ou massa específica

A massa específica ou densidade foi determinada pela razão entre a massa de um volume fixo de cuxá ou de cuxá batido e de espuma. Utilizou-se uma proveta de plástico adaptada, cuja borda foi cortada para uma capacidade de 100 ml. A densidade foi calculada de acordo com a Equação 5.

$$\rho_{\text{amostra}} = \left(\frac{m}{V} \right)$$

(5)

onde

ρ_{amostra} = densidade (kg/m³)

V = volume (m³)

m = massa da espuma (kg)

4.6.11 *Overrun*

A expansão das espumas é um dos aspectos fundamentais a serem estudados quando se pretende avaliar a efetividade do método formador de espuma. O termo *overrun* é utilizado para descrever o volume de aeração ou o nível de incorporação de ar dos produtos alimentícios, sendo determinado pela porcentagem de expansão da espuma (FRANCO et al., 2015).

A determinação da incorporação de ar foi realizada com base nas medições dos volumes ocupados pelo cuxá misturado ao agente espumante antes e depois do batimento. O *overrun* foi calculado de acordo com a Equação 6:

$$\text{Overrun} = \left(\frac{V_1 - V_0}{V_0} \right) \times 100 \quad (6)$$

onde

V_0 = volume inicial de cuxá com o agente espumante antes do batimento, em m^3

V_1 = volume da espuma, após o batimento, em m^3

4.6.12 Estabilidade

A estabilidade das espumas foi determinada de acordo com Kato et al. (1983). Foram utilizadas provetas adaptadas (borda cortadas) com capacidade para 100 ml, onde as espumas foram deixadas à temperatura ambiente, por um período de 5 horas. A separação de fases foi medida a cada hora, durante 5 horas. Um índice de estabilidade da espuma, I_e , representando a fração de espuma remanescente em função do tempo, é descrito segundo a Equação 7:

$$I_e = \frac{V}{V_0} \quad (7)$$

Onde

I_e = índice de estabilidade

V = volume de espuma após um tempo t

V_0 = volume de espuma no instante inicial

4.7 Propriedades físicas dos pós de cuxá

4.7.1 Solubilidade

A solubilidade dos pós foi determinada segundo metodologia proposta por Caparino et al. (2012). Uma amostra de 0,5 g de pó foi dispersa em 50 mL de água destilada e homogeneizada a alta velocidade (~ 13.000 rpm) durante 5 minutos. A dispersão foi

centrifugada durante 5 minutos a 3.500 x g. Uma alíquota de 12 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada e levada a uma estufa a 105°C até massa constante. A solubilidade foi determinada pela diferença entre a massa úmida e a massa seca do sobrenadante. O conteúdo de sólidos solúveis no sobrenadante, dividido pelo conteúdo de sólidos totais da amostra inicial diluída em 50 mL, resultou na solubilidade do pó. Para o cálculo do conteúdo de sólidos totais, considerou-se a umidade da amostra inicial.

4.7.2 Molhabilidade

Esta propriedade foi determinada pela metodologia de Lannes e Medeiros (2003). O teste foi efetuado utilizando-se Becker de 250 mL, contendo 200 mL de água destilada. 1 g do pó foi adicionado à água cuidadosamente, a uma altura de 4 cm da superfície do líquido, sem agitação. Foi medido o tempo necessário para que todas as partículas fossem molhadas, sendo determinado visualmente.

4.8 Morfologia das partículas

Para o estudo da morfologia das partículas, os pós de cuxá foram recobertos com ouro em metalizador em condições a vácuo por 3 minutos. As imagens foram realizadas usando microscópio eletrônico de varredura (FEG-MEV JEOL – JSM7500F, Alemanha).

4.9 Determinação dos parâmetros cinéticos

A cinética de degradação da clorofila foi avaliada como fator de determinação da vida útil do pó de cuxá. Para determinação do modelo cinético que melhor se ajusta aos dados experimentais, bem como a ordem da reação e suas correspondentes constantes de reação, os dados do teor de clorofila total para cada temperatura foram graficados em função do tempo de armazenamento. Os modelos testados foram de ordem zero (Equação 8), primeira ordem (Equação 9) e segunda ordem (Equação 10).

$$\frac{-dC}{dt} = k[C]^0 = k \quad (8)$$

$$\frac{-dC}{dt} = k[C]^1 = kC \quad (9)$$

$$\frac{-dC}{dt} = k[C]^2 = kC^2 \quad (10)$$

onde,

C = Concentração de clorofila (μg de clorofila/g de amostra)

t = tempo (dias)

k = constante de velocidade

A integração de cada uma das equações permite determinar as constantes de reação de acordo com as seguintes funções:

$$C = -kt + C_0 \quad (11)$$

$$\ln C = -kt + \ln C_0 \quad (12)$$

$$\frac{1}{C} = -kt + \frac{1}{C_0} \quad (13)$$

onde o subscrito 0 significa concentração inicial.

Para a cinética de degradação, a determinação da energia de ativação (E_a) foi baseada no modelo de Arrhenius, de acordo com a equação (14). A equação (15) permite encontrar a energia de ativação através do coeficiente angular obtido pela regressão linear de $\ln k$ versus $(1/T)(\text{K}^{-1})$.

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (14)$$

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln k_0 \quad (15)$$

onde,

R = constante dos gases ideiais ($1,987 \text{ cal}\cdot\text{gmol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

T = temperatura (K^{-1})

k = constante da velocidade da reação (s^{-1}), k_0 = constante

O fator de aceleração em estudo de vida de prateleira é representado pelo quociente entre a constante de velocidade de reação a uma determinada temperatura e a constante determinada numa temperatura 10 °C inferior (Q_{10}), conforme descrito por Breda et al. (2012) através da Equação 16. Seu valor significa o quanto a vida de prateleira aumenta pelo decréscimo de 10 °C durante seu armazenamento.

$$Q_{10} = \frac{k(T + 10^{\circ}\text{C})}{k(T)} \quad (16)$$

onde, Q_{10} é o quociente entre as velocidades de reação a uma determinada temperatura e a uma temperatura 10 °C mais baixa; k é a velocidade de reação, T (°C) é a temperatura em Celsius.

A estimativa da vida de prateleira, em cada temperatura, é calculada com base num valor limitante estabelecido para o produto, conforme as Equações para ordem zero (17), ordem um (18) e ordem dois (19):

$$t_{VP} = \frac{C_0 - C_{VP}}{k} \quad (17)$$

$$t_{VP} = \frac{\ln(C_0/C_{VP})}{k} \quad (18)$$

$$t_{VP} = \frac{1/C_0 - 1/C_{VP}}{k} \quad (19)$$

onde o subíndice VP significa vida de prateleira.

Estimou-se a vida de prateleira do cuxá em pó utilizando-se a concentração de 50% do valor inicial de clorofila (meia vida) como limitante da qualidade, ou seja, $C_0/C_{VP} = 2$.

4.10 Planejamento Experimental

Para estabelecer o tempo de aeração das espumas foram realizados ensaios com as concentrações de 5 e 10 g de Emustab/100 g de cuxá (Tabela 3) e 5 e 10 g de Albumina/100 g de cuxá (Tabela 4) nos tempos de 3, 5, 7 e 10 minutos.

Tabela 3 - Planejamento adotado para o tempo de aeração das espumas com Emustab

Ensaio	Tratamento Aleatorizado	Emustab (g/100 g de cuxá)	Tempo (min)
1	2	5	5
2	1	5	3
3	6	10	5
4	7	10	7
5	8	10	10
6	4	5	10
7	3	5	7
8	5	10	3

Tabela 4 - Planejamento adotado para o tempo de aeração das espumas com Albumina

Ensaio	Tratamento Aleatorizado	Albumina (g/100 g de cuxá)	Tempo (min)
1	7	10	7
2	4	5	10
3	6	10	5
4	1	10	3
5	2	5	5
6	8	5	10
7	5	10	3
8	3	5	7

Para a seleção das espumas utilizou-se um planejamento fatorial 4^2 , considerando quatro níveis de concentração e como fatores os agentes espumantes (Emustab e Albumina), de forma a avaliar os efeitos da concentração e da mistura dos agentes espumantes (Tabela 5) sobre os parâmetros de cor, densidade, *overrun* e estabilidade.

Tabela 5 - Planejamento experimental utilizado elaboração de diferentes espumas

Ensaio	Tratamento Aleatorizado	Concentrações	
		Emustab (g/100 g de cuxá)	Albumina (g/100 g de cuxá)
1	16	10	10
2	14	10	5
3	7	5	7,5
4	9	7,5	0
5	13	10	0
6	12	7,5	10
7	5	5	0
8	3	0	7,5
9	15	10	7,5
10	10	7,5	5
11	4	0	10
12	1	0	0
13	8	5	10
14	11	7,5	7,5
15	6	5	5
16	2	0	5

. Os ensaios de secagem foram conduzidos para duas formulações selecionadas, em três temperaturas (60 °C, 70 °C e 80 °C), com repetição, como descrito na Tabela 6.

Tabela 6 - Planejamento experimental utilizado na secagem das espumas

Ensaio	Tratamento Aleatorizado	Temperatura de secagem	Concentrações	
			Emustab (g/100 g de cuxá)	Albumina (g/100 g de cuxá)
1	9	70 °C	0	10
2	11	80 °C	0	10
3	2	60 °C	5	0
4	5	80 °C	5	0
5	7	60 °C	0	10
6	12	80 °C	0	10
7	4	70 °C	5	0
8	3	70 °C	5	0
9	6	80 °C	5	0
10	10	70 °C	0	10
11	8	60 °C	0	10
12	1	60 °C	5	0

4.11 Cinética de secagem

Os coeficientes de difusão foram calculados segundo solução analítica da equação de difusão para placa (Equação 20), integrada, considerando a espessura inicial das fatias. A solução analítica da equação de Fick para placas planas infinitas, integrada ao longo da espessura é dada por Crank (1975):

$$\frac{\bar{X}_{w,t} - X_{w,eq}}{X_{w,0} - X_{w,eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{(2h)^2}\right] \quad (20)$$

onde h é a espessura inicial da camada de espuma, $X_{w,0}$ é a fração mássica da água no instante zero; $X_{w,eq}$ é a fração mássica da água na superfície; e $\bar{X}_{w,t}$ a fração mássica de água média no tempo após início da secagem. A relação $MR = \left(\frac{\bar{X}_{w,t} - X_{w,eq}}{X_{w,0} - X_{w,eq}}\right)$ representa a umidade média residual.

Os modelos matemáticos de Page (Eq. 21), Henderson-Pabis (Eq. 22) e Newton (Eq. 23) foram ajustados aos dados experimentais e avaliados quanto à capacidade de descrever as curvas de secagem das espumas de cuxá (ETERKIN; YALDIZ, 2004).

$$\mathbf{X} = \frac{\bar{X}(t) - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-k t^n) \quad (21)$$

$$\mathbf{X} = \frac{\bar{X}(t) - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = a \times \exp(-k t) \quad (22)$$

$$\mathbf{X} = \frac{\bar{X}(t) - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-k t) \quad (23)$$

onde k representa a constante de secagem, (s^{-1}) ou (s^{-n}), t é o tempo, a e n são constantes do modelo (adimensional).

4.12 Análises estatísticas

Os resultados do planejamento experimental e das características físico-químicas do cuxá e dos pós foram expressos na forma de médias e desvio padrão, cujas médias foram avaliadas estatisticamente pelo método de análise de variância (ANOVA) com comparação das médias pelo teste de Tukey com 95% de confiança, utilizando o software XLSTAT 7.5®.

Os ensaios experimentais foram aleatorizados pelo programa Minitab 16 ®.

Os ajustes dos modelos matemáticos e da Lei de Fick às curvas experimentais de secagem foram realizados utilizando-se o software Origin® 8.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão organizados segundo testes preliminares que foram realizados com o objetivo selecionar, com base em avaliações sensoriais, a formulação com maior aceitação do cuxá a ser desidratado em leito de espuma. Segue-se a este um segundo tópico onde é feita a caracterização do cuxá na formulação selecionada. Na terceira parte são apresentados ensaios para estabelecer tempo de aeração, a composição e a concentração de agentes espumantes que proporcionam baixa densidade de espumas e características desejáveis como estabilidade e cor. No quarto tópico são abordadas as secagens em leito de espuma e as análises dos pós de cuxá obtidos. No quinto tópico é apresentada a vida de prateleira acelerada dos pós de cuxá.

5.1 Testes Preliminares

5.1.1 Seleção da formulação de cuxá (Análise Sensorial)

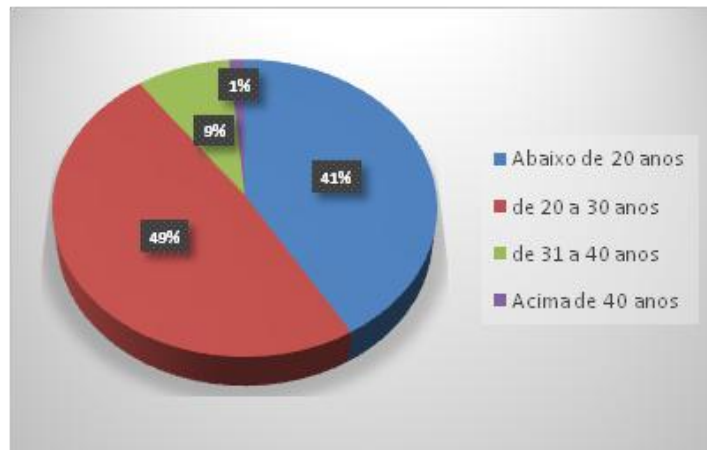
O cuxá, dependendo da região do Maranhão, é preparado com diferentes ingredientes. Desta forma, realizou-se um teste sensorial para a escolha de uma formulação padrão para ser desidratada pelo método de leito de espuma. Os resultados do teste encontram-se descritos a seguir.

5.1.1.1 Perfil dos consumidores

Constatou-se que a grande maioria dos consumidores (63%) foi do gênero feminino, enquanto que o menor percentual (37%) foi do gênero masculino.

Com relação à faixa etária dos consumidores (Figura 10), 41% possuem idades abaixo de 20 anos, 49% têm entre 20 e 30 anos de idade e somente 1% tem idade acima de 40 anos. Estes dados podem ser justificados devido à maior parte dos consumidores serem estudantes de Ensino Médio e de Graduação. Vale ressaltar que apenas 1 participante da pesquisa era fumante.

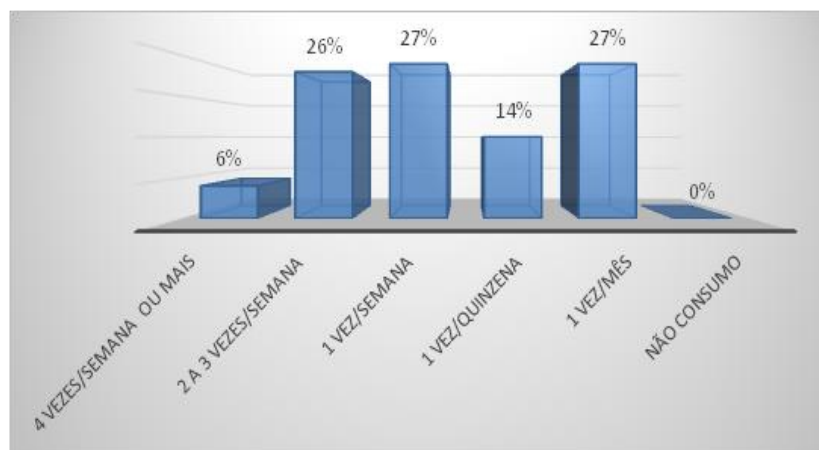
Figura 10 - Gênero dos consumidores



Os resultados da pesquisa mostraram que 100% dos julgadores gostam de cuxá, sendo que 71% assinalaram na escala hedônica notas entre 8 (gosto muito) e 9 (gosto muitíssimo), o que corrobora a proposta desta pesquisa pelo fato de ser um produto atraente à população do Estado do Maranhão.

Analisando a Figura 11 verifica-se que os entrevistados consomem cuxá pelo menos 1 vez por mês. A grande maioria (59%) consome o cuxá em suas refeições no mínimo 1 vez por semana, evidenciando o grande consumo deste alimento na mesa dos maranhenses e mostrando a necessidade de alternativas de processamento que promovam maior vida de prateleira para esse produto.

Figura 11- Frequência de consumo de cuxá pelos participantes da pesquisa



5.1.1.2 Teste de aceitação (afetivo)

Na Tabela 7, estão apresentadas as médias das notas atribuídas pelos consumidores para cada formulação e atributo analisado.

Tabela 7 - Médias \pm desvio padrão para cada formulação e atributo de cuxá

Formulações	Aparência	Aroma	Cor	Textura	Sabor	Aceitação Global
Formulação A	6,7 \pm 1,5 ^b	6,8 \pm 1,6 ^a	6,6 \pm 1,6 ^b	6,3 \pm 1,5 ^b	6,0 \pm 2,2 ^a	6,3 \pm 1,7 ^a
Formulação B	7,4 \pm 1,3 ^a	6,9 \pm 1,3 ^a	7,3 \pm 1,3 ^a	6,9 \pm 1,5 ^{ab}	6,3 \pm 2,1 ^a	6,7 \pm 1,6 ^a
Formulação C	7,4 \pm 1,2 ^a	6,9 \pm 1,4 ^a	7,2 \pm 1,5 ^{ab}	7,1 \pm 1,7 ^a	6,6 \pm 2,1 ^a	6,7 \pm 1,8 ^a

* Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Observa-se que a formulação A apresentou as menores notas médias para todos os atributos. Entretanto, as diferenças da formulação A em relação à B e C foram significativas apenas no quesito Aparência. Neste quesito, as amostras B e C receberam as maiores notas dentre todas as avaliações (7,4). A Cor da formulação A recebeu média inferior às demais, porém diferiu significativamente apenas da formulação B, acompanhando a avaliação da Aparência. Tanto a pimenta de cheiro quanto o quiabo são verdes, os quais provavelmente realçaram a cor característica do cuxá, que é o verde. Quanto à Textura, as médias das formulações B e C foram bem superiores à de A, porém, encontrou-se diferença significativa somente entre formulação A e C. O Aroma, por sua vez, foi julgado muito semelhante entre todas as amostras. Esperava-se que os provadores detectassem a presença da pimenta de cheiro nas amostras B e C, o que não ocorreu provavelmente pela quantidade utilizada (~1,7%), sendo mascarada pelo forte aroma das folhas da vinagreira.

O sabor apresentou as menores notas, sem diferença significativa entre as amostras, porém, iguais ou maiores a 6. Na Ficha II (Apêndice B), os provadores fizeram algumas observações quanto à ausência de sal nas amostras, pois, sendo este um realçador de sabor, deixou as amostras com um sabor diferente do esperado. Outro comentário frequente dos provadores foi quanto à apresentação do cuxá sem o arroz como acompanhante.

Dessa forma, as Formulações B e C, para todos os atributos foram classificadas pelos consumidores entre os termos hedônicos “gostei levemente” e “gostei muitíssimo” enquanto

que a formulação A foi classificada entre os termos hedônicos “gostei levemente” e “gostei moderadamente”.

Verificou-se que as formulações B e C foram mais aceitas pelos consumidores, cuja aceitação global apresentou média igual a 6,7, porém, não houve diferença significativa entre as três amostras (Tabela 7). Além disso, 15% dos consumidores atribuíram notas entre 2 (desgostei muitíssimo) e 4 (desgostei levemente) para a aceitação global da Formulação A. Quanto à formulação C, esse percentual foi de 13% e a menor rejeição foi atribuída à formulação B (8,5%). Os comentários dos provadores em relação à amostra C demonstraram rejeição à presença do quiabo como ingrediente. Portanto, optou-se pela escolha da formulação B para prosseguimento da pesquisa devido à menor rejeição dos consumidores somada a alguns comentários negativos no teste sensorial sobre o uso de quiabo na formulação C, o que não foi observado para a formulação B.

5.2 Características físico-químicas do cuxá

Os resultados das análises físico-químicas do cuxá elaborado neste experimento encontram-se apresentados na Tabela 8. Nesta constam as médias e os desvios-padrão.

Tabela 8 - Características físico-químicas do cuxá

Parâmetro		Média ± desvio padrão
Umidade (% b.u)		92,72 ± 0,2
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)		2,13 ± 0,1
pH		2,96 ± 0,0
Acidez Total Titulável (% ácido cítrico)		5,67 ± 0,1
Proteína (g/100g)		0,53±0,0
Densidade (kg/m ³)		1002,02 ± 0,1
Atividade de água (a _w)		0,970 ± 0,00
Fenólicos Totais (mg/g)		0,53 ± 0,0
Cor	L*	23,90 ± 0,1
	a*	3,23 ± 0,0
	b*	28,61 ± 0,3
	C*	28,79 ± 0,2
	h*	83,55 ± 0,1

O cuxá apresentou elevado teor de umidade (92,7%), conforme já esperado, uma vez que as matérias primas utilizadas possuem alta umidade e ainda foi acrescentada água no preparo do produto. Esta característica é importante para o cuxá, haja vista ser um produto pastoso que é servido como acompanhante do arroz nas refeições.

Para a preparação da espuma, embora não tenham sido encontradas na literatura referências a respeito das características físico-químicas do cuxá, o teor de umidade da formulação proposta é próximo ao de outras matérias primas utilizadas para secagem pelo método *foam mat drying*. Soares et al. (2001) prepararam espumas de acerola para secagem em leito de espuma, cujas polpas apresentavam 93,6% de umidade, Dantas (2010) utilizou polpas de abacaxi e manga com umidades de 88,8% e 86,4%, respectivamente, e Ronchetti (2014) utilizou suco de cenoura com 91,5% de umidade na elaboração de espumas para desidratação pelo mesmo método.

O baixo teor de sólidos solúveis totais (2,13 °Brix) e a elevada acidez titulável encontrada (5,67%), juntamente com um baixo valor de pH (2,96) indicam que o cuxá é um alimento de sabor perceptivelmente ácido. Esta característica no sabor se deve à vinagreira, que é conhecida também no Brasil como quiabo-azedo e caruru-azedo (LIM, 2014). A densidade encontrada foi de 1002,02 kg/m³. Este valor de densidade se assemelha com o de outras matérias primas utilizadas para secagem em leito de espuma. Souza (2011) utilizou polpa de cupuaçu com densidade de 1023 kg/m³ e Carvalho (2014) fez uso de polpa de abóbora com densidade de 1058 kg/m³. Para a autora, estes valores de densidade mostram que as matérias primas são mais densas que a água, sendo uma tendência das polpas e hortaliças em geral.

O alto valor da atividade de água do cuxá (0,97) demonstra uma elevada disponibilidade de água do alimento e indica que há a necessidade da aplicação de técnicas que minimizem a ação de microrganismos deteriorantes e promovam maior vida de prateleira do produto.

O teor de 0,53 mg de fenólicos totais/g de cuxá é satisfatório quando comparado ao teor de 2,20 mg/g de matéria seca encontrado por Mohd-Esa et al. (2010) para folhas de vinagreira liofilizadas. Em base seca, o cuxá apresentaria um conteúdo em torno de 7 mg de fenólicos totais/g de matéria seca. Provavelmente as diferenças devem-se principalmente às plantas de vinagreira, submetidas a diferentes condições edafoclimáticas. Além disso, foram adicionados tomate, pimenta de cheiro, cebola e alho, os quais apresentam algum conteúdo de compostos fenólicos.

Avaliando-se os valores do ângulo Hue (83,55), infere-se que o cuxá apresenta uma tonalidade que tende ao amarelo. Os maiores valores de parâmetro b*, com relação ao a*, evidencia que houve predominância da intensidade da cor amarela sobre a intensidade de cor vermelha. Já o valor parâmetro L* (23,90) demonstra que o produto possui uma coloração escura.

5.3 Características físicas e estabilidade de espumas de cuxá com adição de Albumina e Emustab

5.3.1 Seleção do tempo de aeração

Na escolha do tempo de aeração realizaram-se ensaios preliminares com diferentes tempos de batimento e concentrações de aditivos, cujos resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores de densidade obtidos no teste de tempo de aeração

Formulação	Densidade (kg/m ³)			
	3 minutos	5 minutos	7 minutos	10 minutos
Emustab (5%)	430,9±0,8 ^a	417,5±0,5 ^b	413,3±1,2 ^c	408,9±0,4 ^d
Emustab (10%)	348,3±0,7 ^a	319,7±0,8 ^b	303,9±0,3 ^c	301,4±0,9 ^d
Albumina (5%)	940,8±1,2 ^a	926,5±1,1 ^b	920,5±0,7 ^c	916,3±0,9 ^d
Albumina (10%)	698,8±0,4 ^a	674,3±0,6 ^b	657,4±0,7 ^c	654,0±0,5 ^d

* Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

% = g Agente Espumante/100 g cuxá

Constata-se que ao aumento do tempo de batimento diminui a densidade apresentada pelas espumas. Apesar de existir diferença estatística significativa entre os tempos para todas as formulações, as variações de densidade em função do tempo foram relativamente baixas em relação aos seus valores tomados em 3 minutos. Entretanto, constatou-se que o tempo de aeração de 3 minutos não foi suficiente para promover a homogeneização completa dos agentes espumantes com o cuxá na formação das espumas. Portanto, selecionou-se o tempo de 5 minutos, uma vez que proporciona uma boa expansão das espumas e também minimiza a

degradação oxidativa dos compostos bioativos contidos na vinagreira, por ser um tempo curto.

5.3.2 Seleção das concentrações de agentes espumantes para secagem

Os critérios adotados para esta seleção se basearam na densidade, *overrun*, estabilidade e cor das espumas. O preparo das espumas ocorreu de acordo com metodologia descrita no Capítulo 4. As formulações previamente determinadas (Tabela 5) e os resultados relativos aos testes de densidade, *overrun* e cor são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados dos testes de overrun, densidade, e parâmetros de cor das espumas, com adição ou não dos agentes espumantes ao cuxá, em diferentes proporções

Emustab(%)/Albumina(%)*	Overrun(%)	Densidade (kg/m ³)	Cor					ΔE
			L*	a*	b*	C*	h*	
0/0	5,0±0,0 ^j	1002,8±1,5 ^a	23,8±0,1 ^h	3,0±0,1 ^a	28,8±0,0 ^a	29,0±0,1 ^a	84,1±0,1 ⁱ	0,4±0,2 ^g
0/5	21,8±2,9 ⁱ	911,3±1,0 ^b	26,5±0,1 ^{fg}	2,9±0,0 ^a	28,8±0,1 ^a	29,0±0,1 ^a	84,2±0,2 ^{hi}	2,6±0,0 ^f
0/7,5	28,3±2,9 ⁱ	834,8±1,2 ^c	24,8±0,2 ^{gh}	2,7±0,0 ^b	26,4±0,0 ^b	26,6±0,0 ^b	84,3±0,0 ^{hi}	2,4±0,2 ^{fg}
0/10	43,0±2,6 ^h	683,2±1,2 ^d	27,6±0,6 ^f	2,6±0,1 ^b	26,6±0,7 ^b	26,7±0,7 ^b	84,4±0,1 ^h	4,3±0,4 ^f
5/0	143,3±2,8 ^g	394,9±1,7 ^e	48,7±0,6 ^e	2,4±0,1 ^{bc}	30,0±0,6 ^a	30,2±0,6 ^a	85,4±0,1 ^g	24,9±0,4 ^e
5/5	146,9±2,6 ^g	392,7±1,1 ^{ef}	62,9±0,7 ^b	1,1±0,0 ^{gh}	23,6±0,1 ^{def}	23,6±0,1 ^{efg}	87,3±0,1 ^{bc}	39,4±0,5 ^b
5/7,5	163,9±2,4 ^f	389,2±1,0 ^{fg}	54,5±2,0 ^d	2,0±0,1 ^{de}	24,6±0,4 ^{cd}	24,7±0,4 ^{de}	85,2±0,2 ^g	30,9±1,9 ^d
5/10	178,3±2,8 ^e	388,0±1,1 ^{fg}	63,4±1,2 ^{ab}	1,0±0,0 ^{hi}	23,0±0,3 ^{ef}	23,1±0,3 ^{fg}	87,6±0,0 ^{ab}	40,0±1,1 ^b
7,5/0	198,5±1,1 ^d	387,6±1,8 ^g	48,9±0,1 ^e	2,3±0,1 ^{cd}	28,9±0,3 ^a	29,0±0,3 ^a	85,5±0,2 ^g	25,0±0,4 ^e
7,5/5	201,6±2,8 ^d	378,6±1,4 ^h	59,2±0,3 ^c	1,3±0,1 ^g	24,6±0,5 ^{cd}	24,6±0,5 ^{de}	87,0±0,0 ^{cd}	35,5±0,3 ^c
7,5/7,5	203,0±2,5 ^d	372,7±2,7 ⁱ	65,6±0,2 ^a	0,8±0,0 ⁱ	22,3±0,5 ^f	22,3±0,5 ^g	88,0±0,1 ^a	42,3±0,2 ^a
7,5/10	225,7±2,6 ^c	357,0±1,5 ^j	59,9±0,6 ^c	1,2±0,1 ^{gh}	25,2±0,3 ^{bc}	25,2±0,3 ^{cd}	87,3±0,1 ^{bc}	36,2±0,5 ^c
10/0	228,3±2,8 ^{bc}	297,0±1,0 ^k	48,4±0,9 ^e	2,3±0,2 ^k	29,8,0±0,1 ^a	29,8±1,0 ^a	85,6±0,2 ^{fg}	24,6±0,8 ^e
10/5	236,1±4,8 ^{ab}	290,6±0,9 ^l	54,4±1,0 ^d	1,9±0,1 ^e	26,4±0,8 ^b	26,5±0,9 ^{bc}	85,8±0,2 ^f	30,6±1,1 ^d
10/7,5	237,1±2,2 ^{ab}	287,4±1,2 ^{lm}	59,5±0,4 ^c	1,3±0,0 ^g	24,4±0,8 ^{cde}	24,4±0,8 ^{def}	87,0±0,0 ^{cd}	35,9±0,4 ^c
10/10	243,5±4,4 ^a	283,8±1,0 ^m	64,4±0,1 ^{ab}	1,6±0,0 ^f	24,3±0,0 ^{cde}	24,3±0,1 ^{def}	86,3±0,1 ^e	40,8±0,1 ^{ab}

*Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey
% = g Agente Espumante/100 g cuxá

5.3.2.1 Incorporação de ar (*overrun*)

O *overrun* das espumas determinados de acordo com a Equação (5) estão apresentados na Tabela 10. Os percentuais variaram de 5% (somente cuxá) a 243% (cuxá com adição de 10g de Emustab e 10 g de Albumina/100 g cuxá).

Evidenciou-se que o aumento das concentrações tanto de Albumina como de Emustab afetaram diretamente o percentual de expansão das espumas. Por outro lado, o Emustab apresenta capacidade de incorporar ar às espumas bem superior que a Albumina, como se constata na Tabela. Quando se utilizou apenas um aditivo na formação da espuma, o batimento das formulações com 5 g de Albumina/100 g de cuxá, 7,5 g de Albumina/100 g de cuxá e 10g de Albumina/100 g de cuxá apresentam expansão, em relação ao volume inicial de 5%, 28% e 43%, respectivamente. Por outro lado, a formulação com 5 g de Emustab/100 g de cuxá, apresentou uma expansão de 143%, a de 7,5 g de Emustab/100 g de cuxá, 198% e a com 10 g de Albumina/100 g de cuxá obteve uma expansão de 228%. Essa superioridade de expansão das espumas promovida pelo Emustab em comparação com a Albumina foi observada em outros produtos como abóbora (CARVALHO, 2014), polpa de manga (CHAUX-GUTIÉRREZ, 2015) e suco de yacon (FRANCO et al., 2015).

A Albumina tem boa capacidade de formar espumas quando adicionada a diferentes produtos alimentícios. Por exemplo, em experimento realizado com adição de Albumina para fabricação de iogurte em pó (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012) o *overrun* das espumas foi influenciado diretamente pelo aumento da concentração de Albumina, fato também constatado por Balasubramanian et al. (2012) em pesquisa com suco de tomate e Widyastuti e Srianta (2011) com polpa de mamão. Conforme Sangamithra et al. (2015), durante a etapa de aeração as proteínas da clara de ovo adsorvem facilmente na interface ar-líquido, através de interações intermoleculares, formando um filme viscoelástico coeso.

A crescente expansão da espuma com o aumento da concentração do aditivo mostra o mesmo comportamento com o Emustab. Franco et al. (2015) encontraram percentuais de expansão maiores em espumas de suco de yacon à medida que foi aumentada a concentração do aditivo Emustab, o que também pôde ser constatado por Carvalho (2014) em experimento com polpa de abóbora.

Segundo a Tabela 10, a expansão do cuxá pela utilização dos agentes espumantes, quando comparada à sua expansão, sem nenhum aditivo (5%), aumentou, no mínimo, mais de

quatro vezes seu *overrun*, fato que pode ser constatado na formulação com 5 g de Albumina/100 g de cuxá, a qual apresentou a menor expansão (21,8%) dentre todas as formulações que fizeram uso de agente espumante.

Com relação às combinações dos dois agentes espumantes, verificou-se que todas as formulações propiciaram elevados valores de *overrun*, que variaram entre 146,9% (5g de Albumina e 5g de Emustab/100 g de cuxá) e 243,5% (10g de Albumina e 10g de Emustab/100 g de cuxá).

No que se refere à expansão de espumas pelo método de secagem em leito de espuma, não se verificaram na literatura recomendações ideais para produtos desidratados por esta técnica. Contudo, é possível constatar diferentes valores de *overrun* que foram eficientes na produção dos pós desidratados. Em experimento com espumas de manga, Rajkumar et al. (2007) trabalharam com percentuais de *overrun* entre 70,5% e 101,2%. Espumas da fruta *gak* (*Momordica cochinchinensis*) com *overrun* de 88,7% foram desidratadas com sucesso (AUISAKCHAIYOUNG; ROJANAKORN, 2015). Já Qadri e Srivastava (2014) secaram espumas de polpa de tomate com *overrun* de 135,9%. Portanto, nota-se que o tipo de material a ser desidratado e do agente espumante é que determinam o percentual necessário de expansão de cada espuma requerido para o processo.

5.3.2.2 Densidade ou massa específica

A densidade da espuma é uma importante propriedade, que influencia diretamente na migração de umidade durante o processo de secagem e, conseqüentemente, a qualidade do produto final (SALAH; MOHEBBI; TAGHIZADEH, 2014). De acordo com Souza (2011) ao escolher um agente espumante deve-se dar preferência àquele que promova a maior redução da densidade, sendo esta a propriedade mais importante, pois sua redução, causada pela incorporação de ar durante a agitação do produto com o aditivo, é que caracteriza a formação da espuma.

Segundo a Equação (5), os valores determinados de densidade de espumas de cuxá formadas pela incorporação dos aditivos Emustab e Albumina nas 16 (dezesesseis) diferentes concentrações (Tabela 5) podem ser verificados na Tabela 10. Observa-se que houve efeito significativo da concentração de aditivos sobre a massa específica das espumas, com as médias de densidade variando entre 283 kg/m³ para a formulação de cuxá com adição de 10 g

de Emustab e 10 g de Albumina/100 g do produto e 1002 kg/m^3 para a concentração com 100% de cuxá.

Os valores de densidade encontrados mostram que todas as formulações em que foram adicionados agentes espumantes, promoveram o efeito desejado, isto é, a redução da densidade da espuma. Resultados similares ao desta pesquisa foram observados sobre a densidade das espumas de purê de carambola utilizando methocel como agente espumante (KARIM; WAY, 1999), polpa de manga com adição de albumina e metilcelulose (RAJKUMAR et al., 2007) e banana com adição de monoestearato de glicerilo (FALADE; OKOCHA, 2012).

Azizpour et al. (2013) reportam que a diminuição da densidade das espumas é um indicativo do volume de ar retido na espuma durante a etapa de aeração.

De acordo com Hart et al. (1963) a espuma para secagem pelo método *foam mat drying* deve encontrar-se numa faixa de densidade de 200 a 600 kg/m^3 . Abbasi e Azizpour (2016) desidrataram espumas de suco de cereja ácida na mesma espessura desta pesquisa (3 mm) e densidades entre 430 e 650 kg/m^3 e formaram pós com características físico-químicas desejáveis a diversos seguimentos da indústria alimentícia. Desta forma, constata-se que as formulações utilizadas apresentaram densidades similares às reportadas pela literatura, exceto a formulação sem aditivo e as compostas por cuxá com adição de 5 g de albumina/100 g cuxá e 7,5 g albumina/100 g cuxá. Portanto, as demais formulações são adequadas para secagem pelo método de leito de espuma.

5.3.2.3 Estabilidade

Espumas estáveis termicamente conservam a sua estrutura porosa, o que ajuda no processo de secagem e na melhoria das propriedades de reconstituição do produto desidratado (BAG; SRIVASTAV; MISHRA, 2011). Segundo Ronchetti (2014) a importância do teste de estabilidade baseia-se na determinação de um nível mínimo de agente estabilizante necessário para a produção de espuma com estabilidade adequada para o processo de secagem.

As espumas de cuxá produzidas nesta pesquisa apresentaram, durante um período de 5 (cinco) horas em repouso à temperatura ambiente, uma estabilidade de 100% para todas as formulações testadas. Desta forma, não foi observada alteração na estrutura das espumas, não existindo separação de fases. Portanto, todas as espumas testadas apresentaram estabilidade

necessária para a secagem em leito de espuma. As Figuras 12 e 13 ilustram o estudo da estabilidade da espuma das concentrações de 5g de Emustab/100 g de cuxá e 10g de Albumina/100g de cuxá, respectivamente, realizado nesta pesquisa.

Widyastuti e Srianta (2011) em experimento com espuma de mamão encontram valores de estabilidade de 100% nas concentrações de 10%, 15% e 20% de Albumina. Roncheti (2014) em estudo com espuma de cenoura encontram valores de estabilidade de 100% na concentração de 7,5% e valores acima de 99% para as concentrações de 2,5%, 5% e 10%. Da mesma forma, bons índices de estabilidade foram obtidos por Rajkumar et al. (2007) em trabalho com espuma de polpa de manga.

Chaux-Gutiérrez (2015) pesquisou a estabilidade da espuma de polpa de manga nas concentrações de 2% e 5% de Emustab e 5% e 10% de Albumina, verificou uma estabilidade de 100% em todas as concentrações num período de 5 horas. Assim, observou-se que os agentes espumantes utilizados nesta pesquisa promoveram efeito similar aos trabalhos supracitados e demonstraram possuir estabilidade necessária para a secagem pelo método *foam mat*, uma vez que espumas que não entram em colapso num período de 1 hora são mecanicamente e termicamente estáveis para o processo de secagem (RATTI; KUDRA, 2006).

Figura 12 - Estabilidade das espumas produzidas com Emustab na concentração de 5g/100 gramas de cuxá com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas nas imagens a, b, c, d, e, f, respectivamente, em triplicata.

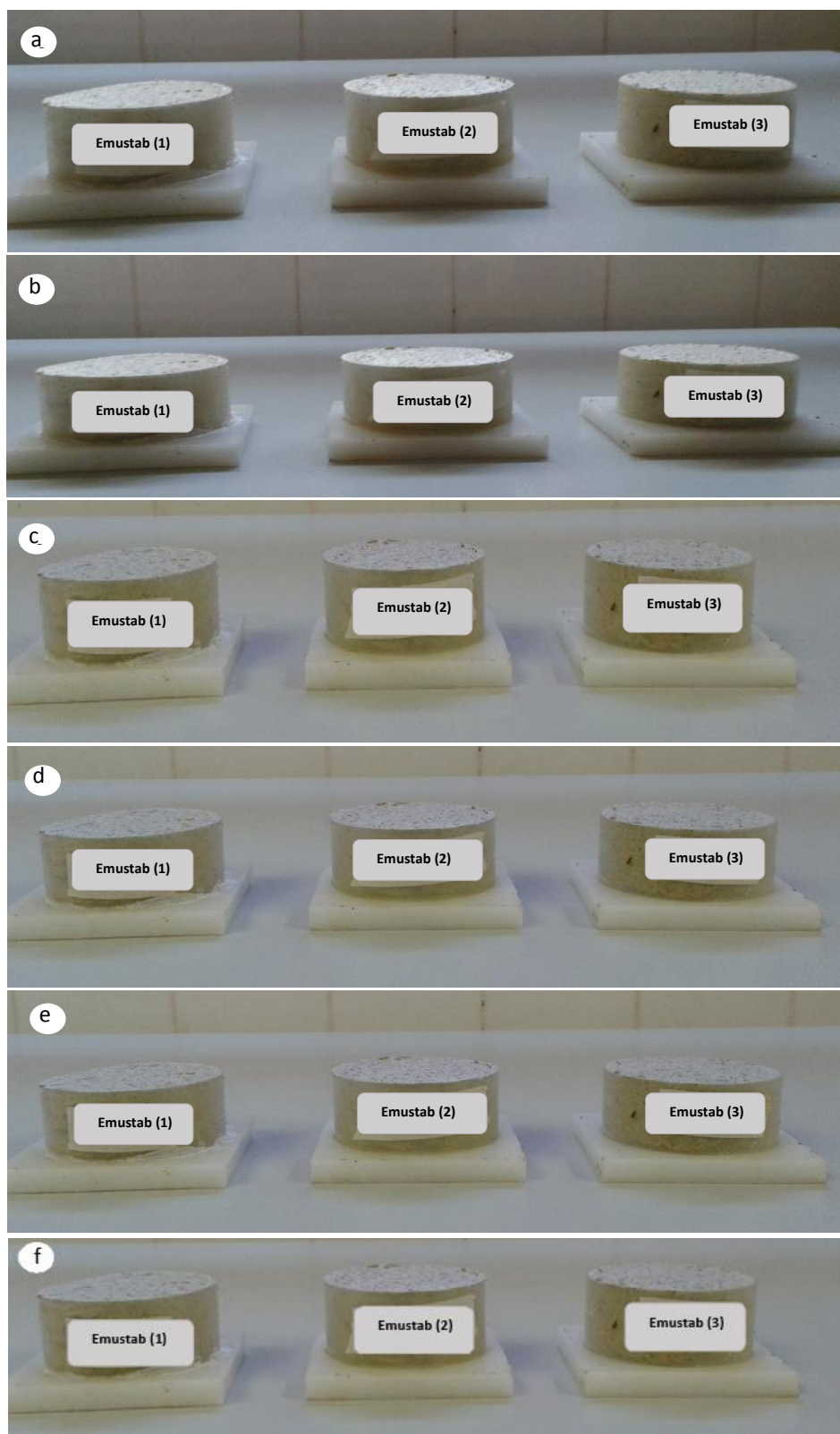


Figura 13 - Estabilidade das espumas produzidas com Albumina na concentração de 10g/100 gramas de cuxá com tempos de repouso (0, 1, 2, 3, 4 e 5) horas nas imagens a, b, c, d, e, f, respectivamente, em triplicata



5.3.2.4 Cor

5.3.2.4.1 Parâmetro L*(Claridade)

Na Tabela 10, observa-se o comportamento da Claridade (L*) das espumas de cuxá produzidas em relação às concentrações de Emustab e Albumina, bem como da mistura destes aditivos.

Quando se analisam as concentrações da espuma que contém apenas Albumina, nota-se que os valores de L* variaram de 24,8 a 27,6. Comparando-se as espumas com o cuxá, cujo valor médio é 23,90 (Tabela 10), constata-se que esse aditivo proporcionou pequena variação da claridade, elevando-a em aproximadamente 4% (formulação com 7,5g de Albumina/100 g cuxá) e em 15% (formulação com 10g de Albumina/100 g cuxá) em relação ao cuxá sem aditivos.

As concentrações que utilizaram somente Emustab como aditivo obtiveram valores de L* muito próximos (48,4 a 48,9), com aumento de claridade variando de 102% a 104% em referência ao cuxá. Desta forma o uso do agente espumante promoveu um acréscimo considerável na claridade do cuxá, o que não foi constatado com o uso da Albumina.

Aumento de 61% a 74% na claridade das espumas com o uso de concentrações entre 2,5% e 15% de monoesterato de glicerila também foi constatado por Falade (2003) e colaboradores em experimento com espumas de pasta de feijão quando comparadas à pasta fresca.

Estes fatos podem ser atribuídos ao aumento do volume na etapa de aeração do cuxá para obtenção das espumas e, conseqüentemente, à redução da densidade das mesmas através da incorporação de ar no interior do produto.

Valores de L* mais próximos ao do cuxá foram observados na espuma de cuxá batido sem o aditivo, seguidos das espumas formuladas com 5 g de Albumina/100 g de cuxá, 7,5 g de Albumina/100 g de cuxá e 10 g de Albumina/100 g de cuxá.

5.3.2.4.2 Parâmetro a^*

O Parâmetro a^* representa a transição da cor verde ($a^* < 0$) para vermelho ($a^* > 0$) (FALADE; ONYEOZIRI, 2012). Nota-se, na Tabela 10, que todas as concentrações testadas promoveram a diminuição do valor de a^* do cuxá, ou seja, os aditivos Emustab e Albumina, sejam isolados ou em conjunto, contribuíram para um tom mais próximo da neutralidade.

O cuxá, antes do batimento, apresentou o maior valor de a^* (3,2). Após batimento sem aditivo, apresentou o maior valor de a^* (3,0). Entre as concentrações que continham somente Albumina, à medida que se aumentou a concentração do aditivo, ocorreu uma ligeira diminuição do valor de a^* , sendo que o valor deste parâmetro na concentração com 5g de Albumina/100 g de cuxá (2,9) ficou próxima à observada no cuxá antes do batimento (3,23). Da mesma forma, o aumento da concentração de Emustab propiciou a diminuição do valor de a^* , sendo que concentração com 5g de Emustab/100 g de cuxá resultou num valor inferior ao de Albumina na mesma proporção (2,4).

5.3.2.4.3 Parâmetro b^*

O comportamento dos valores de b^* variaram bastante entre as espumas. A formulação sem aditivos e a composta por 5 g de Albumina/100 g de cuxá, apresentaram valores de b^* (28,8) mais próximos ao do cuxá (28,6). As espumas formadas com apenas Albumina como aditivo propiciaram a elevarem dos valores b^* em comparação ao cuxá (28,6), com maior diferença para a formulação composta por 5 g de Emustab/100 g de cuxá que apresentou valor de 30,0.

Menor valor de b^* foi apresentado pela espuma com 7,5 g de Emustab e 7,5 g de Albumina/100 g de cuxá.

5.3.2.4.4 h^* , C^* e ΔE

Os valores do ângulo hue (h^*) das espumas foram próximos ao encontrado para o cuxá (83,5), sendo que variaram de 84,1 a 88,0. Portanto as espumas sempre apresentaram coloração tendendo para o amarelo (KHA et al. 2015).

O Croma (C^*), que representa a intensidade da cor (AUISAKCHAIYOUNG; ROJANAKORN, 2015), tiveram comportamento semelhante ao h^* , ou seja, pequena

diferença em relação ao cuxá. Em geral, constatou-se um decréscimo na vivacidade das espumas em relação ao cuxá ($C^*=28,8$), cujo menor valor foi 22,3, mas também foi verificado um leve aumento em algumas concentrações, porém, que não ultrapassaram o valor de 30,2.

Partindo do princípio que, quanto menor o valor do ΔE menor será a diferença de cor, pode-se inferir que a concentração sem aditivos, seguida das espumas que continham apenas Albumina (concentrações com 5g, 7,5g e 10g de Albumina/100g de cuxá) apresentaram diferenças mínimas de cor em relação ao cuxá. Para o Emustab, menores diferenças foram verificadas nas concentrações de 5g e 10 g de Emustab/100g de cuxá. Nota-se ainda que as espumas formadas com os dois aditivos proporcionaram valores de ΔE mais elevados, destacando a influência do Emustab e da Albumina sobre a cor das espumas.

5.3.3 Concentrações de agentes espumantes selecionadas

Com os resultados apresentados, selecionaram-se as concentrações de 5 g de Emustab/100 g de cuxá e 10 g de Albumina/100g de cuxá para o processo de secagem em leite de espuma. A escolha da primeira concentração deveu-se a esta possuir densidade e estabilidade dentro dos padrões especificados pela literatura e apresentar menor diferença de cor (ΔE) para o cuxá quando comparada às demais que também cumpriam estes requisitos. Selecionou-se a segunda concentração, pelo fato de ser a que apresentou menor ΔE para o cuxá dentre as que possuíam a densidade e a estabilidade similares aos reportados pela literatura, além da albumina promover melhoria do teor proteico do cuxá.

5.4. Avaliação da secagem por método de leite de espuma e caracterização dos pós

5.4.1 Cinética de secagem

Nas Figuras 14 e 15 estão representadas graficamente as curvas experimentais das cinéticas de secagem do cuxá com adição de 5 g de Emustab/100 g de cuxá e 10 g de Albumina/100 g de cuxá, respectivamente, nas temperaturas de 60°C, 70 °C e 80 °C. Os gráficos reportam o conteúdo de umidade adimensional em função do tempo de secagem, em minutos.

Figura 14 - Curvas de secagem das espumas produzidas com 5 g de Emustab/ 100 g de Cuxá

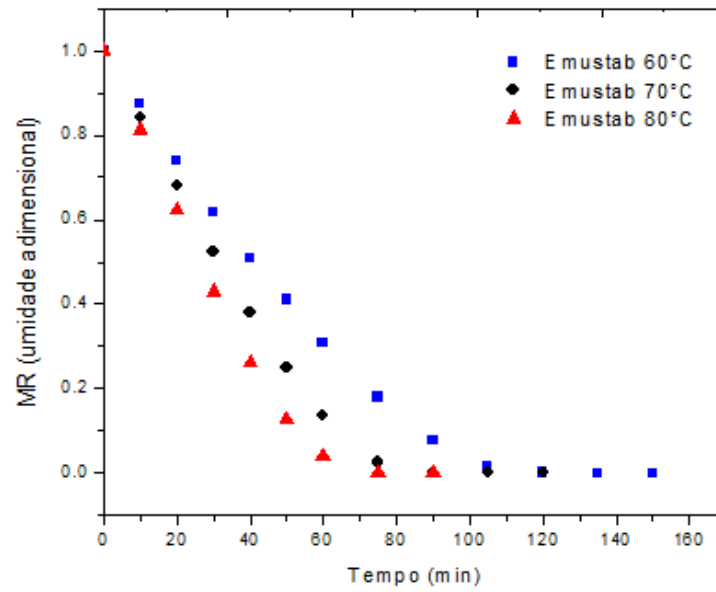
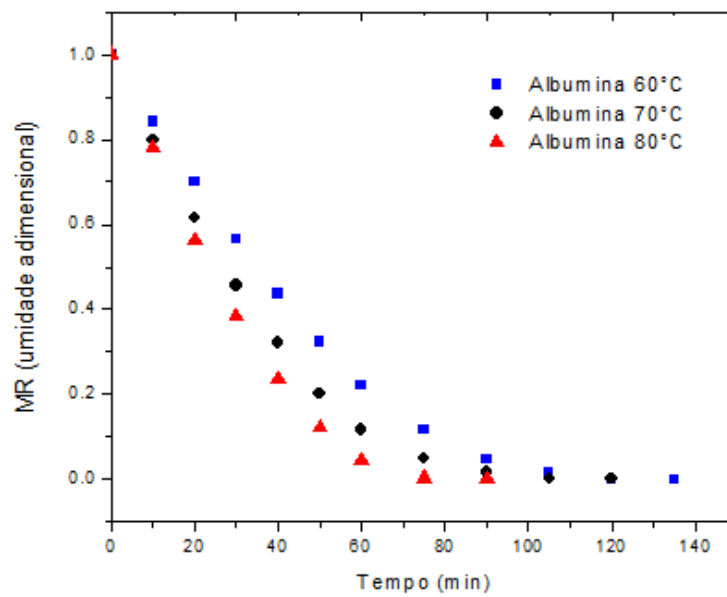


Figura 15 - Curvas de secagem das espumas produzidas com 10 g de Albumina/100 g de Cuxá



A análise das curvas das Figuras 14 e 15 demonstra que o acréscimo da temperatura proporcionou considerável redução do tempo de secagem. O mesmo comportamento também foi verificado por Sramek et al. (2015) que estudaram a desidratação de pasta de tomate em leito de espuma sob vácuo, em diferentes temperaturas de secagem, assim como outros autores, com uso de outras matérias primas: banana (SANKAT; CASTAIGNE, 2004); tamarindo (SILVA et al., 2008); camarão (AZIZPOUR et al., 2013) e melão (SALAH; MOHEBB; TAGHIZADEH, 2014).

Conforme pode ser observado na Figura 14, para as espumas com Emustab houve uma maior perda de umidade no início do processo de secagem e os tempos médios para atingir os teores de umidade de equilíbrio foram de 150 min, 120 min e 90 min para as temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C, respectivamente. Estes resultados mostram que o tempo necessário para a secagem da espuma de cuxá é 1,6 vezes maior na temperatura de 60 °C do que o tempo requerido para a temperatura de 80 °C. Já para as espumas com Albumina (Figura 15), o tempo médio necessário à estabilização em função da temperatura foi de 135 min para a temperatura de 60 °C, 120 min quando se empregou uma temperatura de 70 °C e 90 min quando se fez uso da temperatura de 80 °C. Assim, o tempo de secagem foi 1,5 vezes maior para a temperatura de 60 °C quando comparada à temperatura de 80 °C.

Comparando-se as curvas de secagem para a temperatura de 60 °C (Figuras 14 e 15) constata-se que a espuma com Albumina apresentou menor tempo médio de secagem do que aquela com Emustab. Além disso, a espuma com Albumina apresentou umidade de equilíbrio do pó 27% inferior à umidade do pó com Emustab (Tabela 11).

Os pós com Emustab e Albumina atingiram umidade de equilíbrio em tempos semelhante, ou seja, 120 min na temperatura de 70 °C e 90 min quando se utilizou a temperatura de 80°C e as umidades dos pós quando atingiram o equilíbrio não apresentaram diferença estatística significativa entre si nessa temperatura.

As concentrações de espumas selecionadas para secagem (5 g de Emustab/100 g de cuxá e 10 g de Albumina/100 g de cuxá) apresentaram valores médios de umidade inicial de $92\% \pm 0,37\%$ (b.u) e $85,4\% \pm 0,24\%$ (b.u), respectivamente. Já o percentual de umidade do cuxá em pó variou de $4,56\% \pm 0,15\%$ (b.u) na concentração de 5 g de Emustab/100 g de cuxá à $1,65\% + 0,02\%$ (b.u) quando se fez uso de 10 g de Albumina/100 g de cuxá (Tabela 11). Estes resultados evidenciam que a técnica de secagem em leito de espuma reduziu consideravelmente o teor de água das espumas, o que permite uma melhor estabilidade física

e microbiológica do alimento, possibilitando um prolongamento da vida útil do produto (MICHAILIDIS; KROKIDA,2015).

Tabela 11- Valores de umidade e atividade de água dos pós nas diferentes temperaturas de secagem

Concentração	T(°C)	Umidade (b.u)	a _w
Esmutab (5%)/Albumina (0%)	60°C	4,56±0,15 ^a	0,200±0,00 ^a
	70°C	2,44±0,07 ^a	0,182±0,00 ^{ab}
	80°C	1,88±0,08 ^a	0,170±0,00 ^{bc}
Emustab (0%)/Albumina (10%)	60°C	3,33±0,08 ^b	0,155±0,00 ^c
	70°C	2,32±0,16 ^a	0,106±0,01 ^d
	80°C	1,65±0,02 ^a	0,087±0,00 ^d

*Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, à mesma temperatura, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

% = g Agente Espumante/ 100 g cuxá

Empregando o método de leito de espuma para desidratação de suco e suco concentrado de yacon, com Albumina e Emustab, Franco et al. (2016) encontraram valores de umidade dos pós nas temperaturas de 60 °C a 70 °C variando de 5,70% a 3,51%. Na produção de melão em pó Sangamithra et al. (2015) fizeram uso do método com os agentes espumantes Albumina e Carboximetil Celulose e encontraram valores de umidade entre 2,69% e 2,29% nas temperaturas de secagem 50 °C, 60 °C e 70 °C. Portanto, os valores de umidade dos pós obtidos nesta pesquisa são próximos aos reportados na literatura.

Os pós de cuxá apresentaram baixos valores de a_w, variando na faixa de 0,087 a 0,200 (Tabela 11). Estes resultados são bastante satisfatórios pois alimentos como a_w nesta faixa detém a vantagem de possuírem maior estabilidade microbiológica dado ao menor risco de crescimento de microrganismos patogênicos (BEUCHAT et al., 2013).

Os resultados encontrados para a a_w dos pós de cuxá obtidos nesta pesquisa estão próximos ao de outros trabalhos relatados na literatura que também utilizaram o método de secagem em leito de espuma. A secagem de espumas de suco e suco concentrado de yacon realizada por Franco et al. (2016) proporcionou pós com a_w entre 0,10 e 0,22. Auisakchaiyoung e Rojanakorn (2015) ao secarem gak pelo método *foam mat* obtiveram pós com a_w entre 0,27 e 0,28.

Analisando-se ainda as Figuras 16 e 17, nota-se que em ambos os casos ocorreram taxas decrescentes de secagem, não sendo detectado um período de taxa constante de

secagem. Isto ocorre devido às condições operacionais de secagem serem tais que as resistências de transferência de massa encontram-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície ao ambiente seja bem superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material (PARK et al, 2014). A não constatação de taxa constante tem sido relatada por outros autores que estudaram produtos com elevado teor de água como cajá (GOUVEIA et al., 2003) e tamarindo (SILVA et al., 2008). Para estes autores é um indicativo de que a difusão é o mecanismo físico mais provável a direcionar o movimento da umidade, através da estrutura da amostra.

Independente da temperatura usada no processo de secagem, a porosidade formada durante o processo de batimento favoreceu a perda de água pelo material. Embora as espumas de cuxá serem consideradas como materiais porosos, o período da taxa decrescente de secagem foi ajustado a um modelo difusivo. As espumas de cuxá preparadas com Albumina apresentaram taxas de secagem maior do que as espumas com Emustab, o que se deve provavelmente a maior porosidade da estrutura, conforme pode ser visto nas Figuras 23 e 24.

Figura 16 - Taxas de secagem das espumas produzidas com Emustab

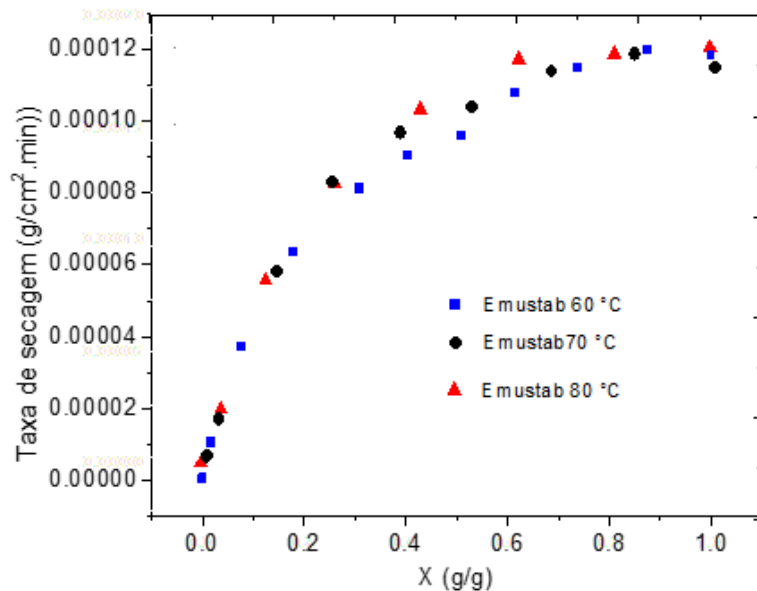
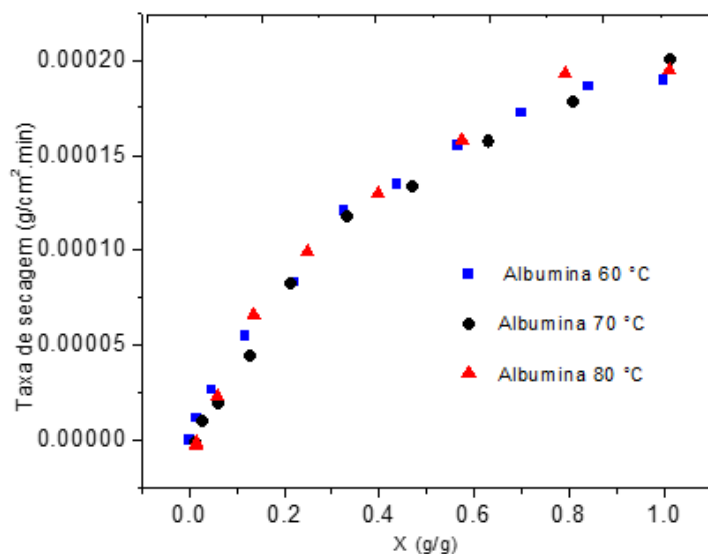


Figura 17 - Taxas de secagem das espumas produzidas com Albumina



5.4.2 Modelo de difusão

A partir da análise das curvas de secagem visualizadas nas Figuras 18 e 19, nota-se que o teor de umidade das espumas é reduzido exponencialmente ao longo do tempo. Assim, a cinética de secagem pode ser representada por meio da segunda Lei de Fick. Em experimentos com espumas de camarão (AZIZPOUR et al., 2013); melão, SANGAMITHRA et al., 2015) e suco de tomate (KADAM; BALASUBRAMANIAN, 2011), também utilizaram o modelo de difusão para representar a cinética de secagem pelo método de leito de espuma.

A difusividade é uma importante propriedade de transporte. O conhecimento da propriedade torna-se necessário para o projeto e otimização de todos os processos que envolvem o movimento interno de umidade (PRASAD; VAIRAGAR; BERA, 2010).

Por meio dos dados experimentais, calcularam-se os valores descritos para a difusividade efetiva (D_{ef}) contidos na Tabela 12. Para o cálculo da difusão de vapor no interior das espumas de cuxá foi utilizada a equação de Fick (Equação 20). A espessura adotada em todas as condições experimentais foi a inicial, de 3,0 mm para as espumas.

Tabela 12 - Coeficientes efetivos de difusão de água nas espumas com Emustab e Albumina, calculados a partir da Lei de Fick

Concentração	T(°C)	Parâmetros		
		$D_{ef} \times 10^9$ (m ² /s)	R ²	χ^2
Emustab (5%)/Albumina (0%)	60	1,0	0,908	0,141
	70	1,3	0,906	0,124
	80	1,6	0,901	0,110
Emustab (0%)/Albumina (10%)	60	1,2	0,922	0,106
	70	1,5	0,938	0,075
	80	1,8	0,927	0,077

% = g Agente Espumante/ 100 g cuxá

Os valores de difusividade efetiva encontrados para as espumas de cuxá com Emustab variaram de $1,0 \times 10^{-9}$ a $1,6 \times 10^{-9}$ m²/s. Já a variação observada para as espumas com Albumina foram entre $1,2 \times 10^{-9}$ e $1,8 \times 10^{-9}$. Estes resultados são superiores aos encontrados por Sangamithra et al. (2015) na secagem de espuma de melão com Albumina e Carboximetil Celulose nas temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C ($3,8 \times 10^{-10}$ a $1,0 \times 10^{-9}$).

Nota-se que, para as duas concentrações de espumas utilizadas, o coeficiente de difusão aumentou à medida que se elevou a temperatura do ar de secagem. Fato semelhante foi observado por Salahi, Mohebbi e Taghizadeh (2014) na secagem de espuma de melão com espessura 3 mm fazendo uso das temperaturas de secagem de 40 °C, 55 °C e 70°C e Wilson et al. (2012) com secagem de espuma de manga nas temperaturas de 65 °C, 75 °C e 85°C.

Convém relatar que as espumas com Albumina obtiveram maior coeficiente de difusão do que as espuma com Emustab, quando submetidas à mesma temperatura de secagem. Assim sendo, a concentração do agente espumante Albumina propiciou maior intensificação no deslocamento de água do interior para a superfície das espumas de cuxá do que a concentração de Emustab utilizada.

Verifica-se por meio da Tabela 12 que a Lei de Fick pode ser utilizada para representar a difusividade do processo de secagem das espumas de cuxá com Emustab e Albumina, pois os ajustes da equação apresentaram coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,90 e qui-quadrados inferiores a 0,15 para a primeira espuma e (R²) superiores a 0,92 e qui-quadrados inferiores a 0,11 para a albumina. Nas Figuras 18 e 19, são apresentados

os valores experimentais e calculados para as espumas de Emustab e Albumina, respectivamente, na forma adimensional de conteúdo de umidade.

Figura 18 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para espuma com Emustab nas temperaturas de secagem de 60 °C, 70 °C e 80 °C

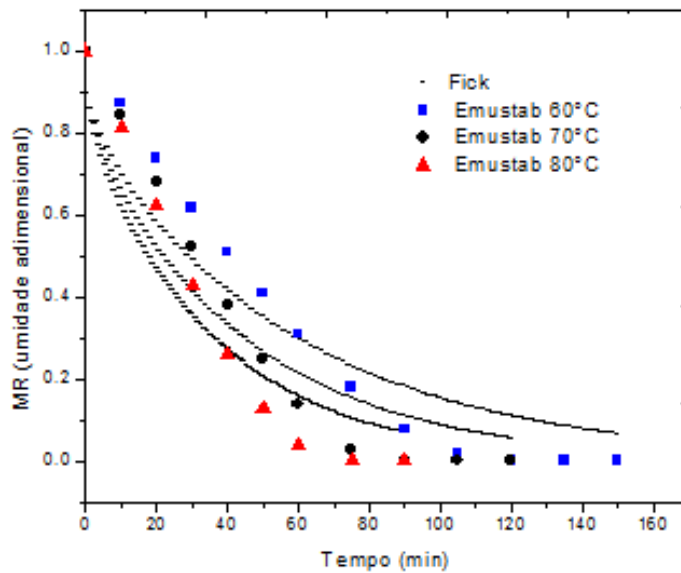
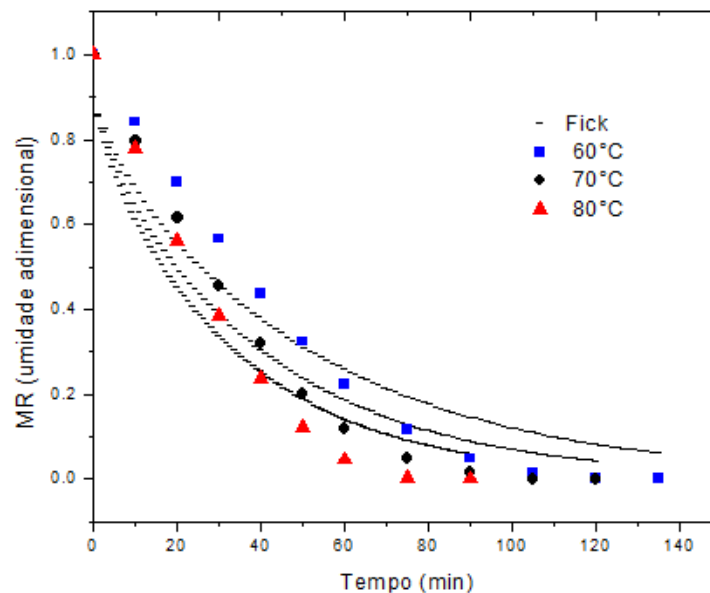


Figura 19 - Curvas de secagem e ajuste do modelo de Fick para espuma com Albumina nas temperaturas de secagem de 60 °C, 70 °C e 80 °C



5.4.3 Modelos empíricos

A partir dos resultados experimentais da desidratação do cuxá em leite de espuma com o uso dos agentes espumantes Emustab (5 g/100 g de cuxá) e Albumina (10 g/100 g de cuxá), nas temperaturas de secagem de 60 °C, 70 °C e 80 °C ajustaram-se os modelos matemáticos de Newton, Page e Handerson-Pabis, conforme apresentado nas Figuras 20 e 21. Na Tabela 13 encontram-se os valores de coeficiente de determinação (R^2) e do qui-quadrado (χ^2) para cada modelo adotado em função da razão de umidade ao longo do tempo.

Conforme a Tabela 13 verifica-se que os três modelos aplicados podem ser utilizados para representar o processo de secagem nas duas formulações, uma vez que apresentaram um bom ajuste aos dados experimentais, com coeficientes de determinação superiores a 95% e qui-quadrados inferiores a 0,007.

Dentre os modelos testados, verificou-se que Page é o que melhor representa a cinética de secagem do cuxá para as duas formulações testadas, pois apresentou os maiores valores de R^2 e menores valores de χ^2 . Pode-se chegar também a esta conclusão por meio da análise das Figuras 20 e 21, as quais demonstram que, dentre os modelos aplicados, as curvas ajustadas pelo modelo de Page são as mais próximas dos dados experimentais. Da mesma forma, Madureira et al. (2011) em secagem de polpa de figo-da-índia com 20% de amido modificado nas temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C constatou que o modelo de Page apresentou melhor ajuste para os dados experimentais, com valores de R^2 similares aos desta pesquisa.

Figura 20 - Curvas de secagem das espumas de cuxá com Emustab nas diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelos modelos de Newton (a), Page (b) e Henderson - Pabis (c)

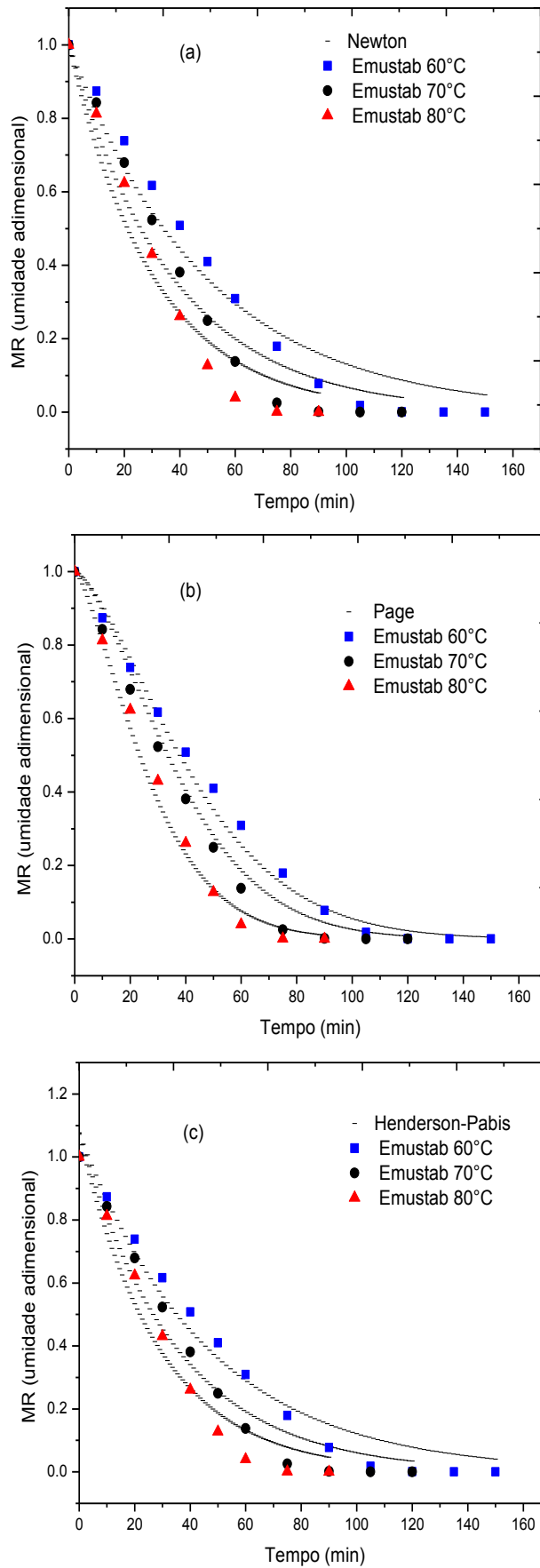


Figura 21 - Curvas de secagem das espumas de cuxá com Albumina nas diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelos modelos de Newton (a), Page (b) e Henderson - Pabis (c)

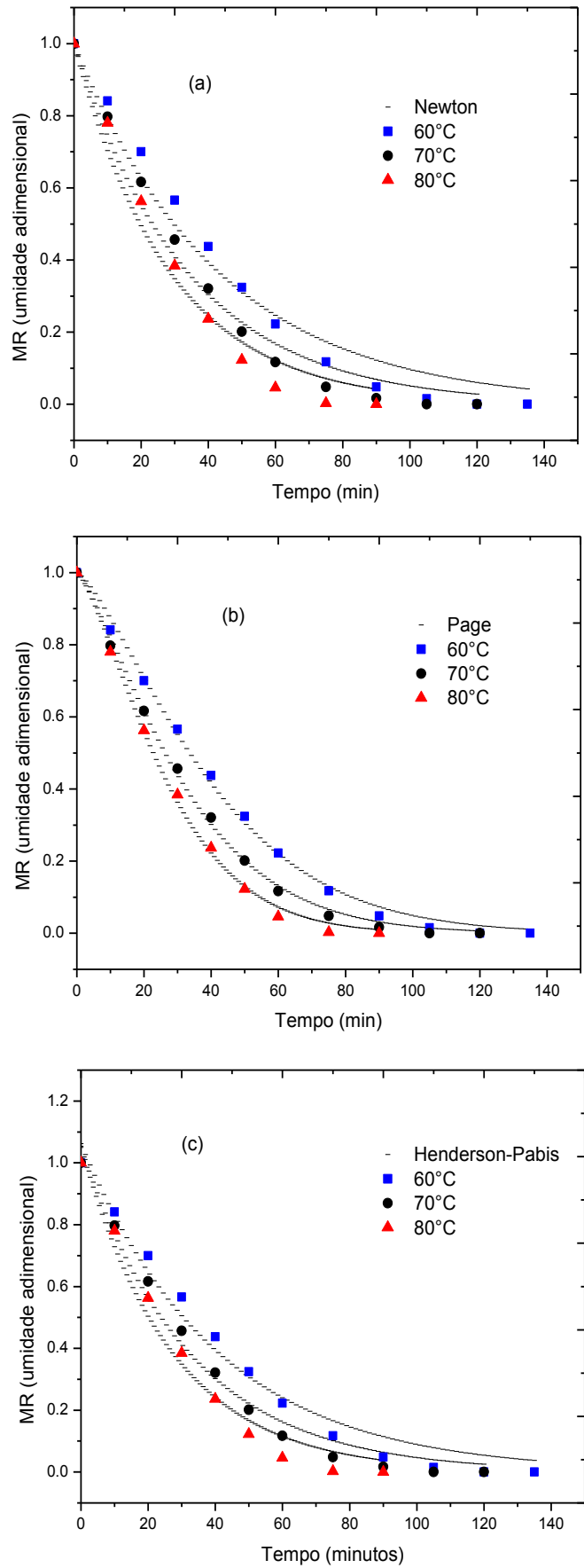


Tabela 13 - Parâmetros, valores de coeficiente de determinação (R^2) e do qui-quadrado (χ^2) para cada modelo adotado em função da razão de umidade ao longo do tempo para as espumas de Emustab e Albumina

Condições de Secagem		Newton			Page				Henderson- Pabis			
Tratamento	T (°C)	k (s ⁻¹)	R^2	χ^2	k (s ⁻¹)	n	R^2	χ^2	k (s ⁻¹)	a	R^2	χ^2
Emustab (5%)	60	3,38x10 ⁻⁴	0,965	0,004	1,11x 10 ⁻⁵	1,47	0,995	6,47x10 ⁻⁴	3,63x10 ⁻⁴	1,07	0,969	0,004
	70	4,47x10 ⁻⁴	0,962	0,005	1,02x 10 ⁻⁵	1,52	0,996	5,82 x10 ⁻⁴	4,78x10 ⁻⁴	1,08	0,965	0,004
	80	5,46x10 ⁻⁴	0,958	0,006	1,38x10 ⁻⁵	1,39	0,994	7,57 x10 ⁻⁴	5,81x10 ⁻⁴	1,07	0,959	0,005
Albumina (10%)	60	4,95x10 ⁻⁴	0,982	0,002	2,47x 10 ⁻⁵	1,34	0,997	4,07 x10 ⁻⁴	4,12x10 ⁻⁴	1,06	0,977	0,002
	70	5,85x10 ⁻⁴	0,975	0,003	4,75x 10 ⁻⁵	1,30	0,998	2,52 x10 ⁻⁴	5,18x10 ⁻⁴	1,05	0,983	0,002
	80	3,85x10 ⁻⁴	0,975	0,003	3,42x10 ⁻⁵	1,37	0,997	3,63 x10 ⁻⁴	6,14x10 ⁻⁴	1,05	0,975	0,003

*Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

% = g Espumante/ 100 g cuxá Agente

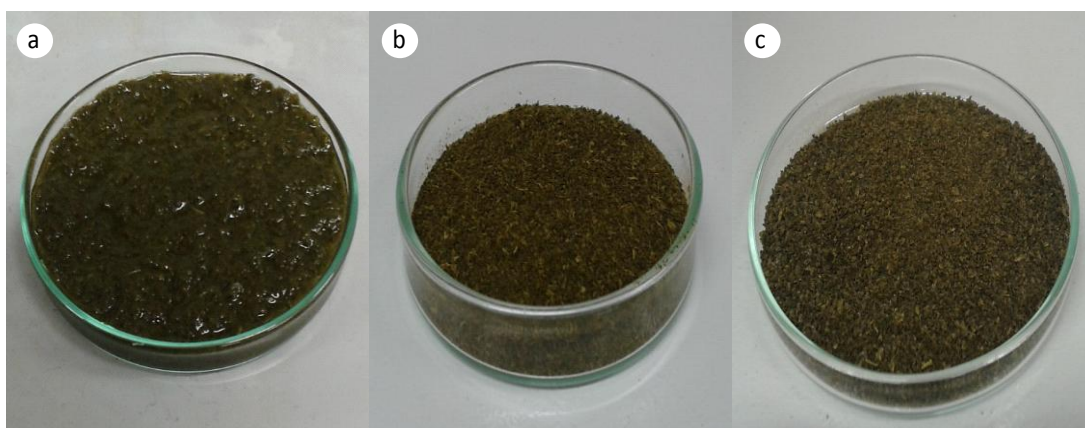
5.5.4 Cor dos pós de cuxá

Na Tabela 14 têm-se os resultados das médias da claridade (L^*) do cuxá em pó nas duas formulações selecionadas em função da temperatura de secagem. Nota-se que não houve diferença estatística significativa para este parâmetro para cada uma das formulações com relação à temperatura, ou seja, mesmo com a elevação da temperatura de secagem, de 60 °C para 80 °C, os pós continuaram com claridade similar. Portanto, não foi constatado efeito da temperatura de secagem sobre a cor dos pós.

Por outro lado, o agente espumante promoveu efeito significativo sobre a claridade dos pós. Assim, os pós com Albumina obtiveram coloração mais clara que o Emustab (Tabela 14). Visualmente, observa-se a leve diferença de coloração entre as formulações (Figuras 22b e 22c).

Vale ressaltar que as duas formulações, independentemente da temperatura, propiciaram pós com tonalidade mais clara que o cuxá, conforme mostra a Tabela 14, o que também pode ser visto na Figura 22. Da mesma forma, em experimento com secagem de polpa pitanga roxa com o uso de albumina pelo método *foam mat*, Chaves et al. (2013) produziram pós com tonalidade mais claras que a polpa *in natura*.

Figura 22 - Cuxá (a) e pós de cuxá produzidos na temperatura de desidratação de 60 °C pela adição de 5g de Emustab/100g de cuxá (b) e 10g de Albumina/100g de cuxá (c)



Em relação ao parâmetro a^* , apesar de ambas as formulações apresentarem baixos valores, os resultados mostraram haver diferença estatística significativa para os pós de cuxá com Albumina e Emustab, entretanto, as diferentes temperaturas não provocaram alteração significativa com o uso de um ou outro agente espumante.

Nota-se que os pós com Albumina apresentaram valores levemente menores para a^* do que os pós com Emustab, os quais foram próximos ao do cuxá (Tabela 14).

Em se tratando do parâmetro b^* , todos os pós com Albumina diferiram estatisticamente dos pós com Emustab. Apesar das espumas desidratadas apresentarem valores positivos, ou seja, com tonalidade amarela, os pós com Emustab apresentaram uma tonalidade amarela mais intensa, similar à apresentada pelo cuxá.

Os resultados encontrados para o parâmetro Croma (C^*) indicam que este não foi afetado pela temperatura de secagem quando se analisa individualmente cada concentração de agente espumante, contudo, o tipo de agente espumante influenciou significativamente os valores de C^* . De acordo com a Tabela 14, percebe-se similaridade da intensidade da cor do cuxá com os pós adicionados de Emustab e uma diminuição da vivacidade dos pós adicionados de Albumina.

De acordo com valores do ângulo Hue (Tabela 14), verifica-se que todos os pós produzidos apresentaram tonalidades próximas ao amarelo, assim como já observado no cuxá, porém com maior intensidade para os com Albumina.

Essas tonalidades bastante amareladas, tendendo para um verde oliva, tanto do cuxá quanto de seus pós desidratados com os agentes espumantes, podem ser explicadas pela preparação do cuxá, onde, além da adição de tomate (Tabela 2, formulação B), que carrega pigmentos alaranjados, ocorre o cozimento das folhas frescas, que apresentam pigmentação verde. Quando a clorofila é submetida a um processo térmico combinado com baixo pH, ocorre a substituição do átomo de Mg por dois átomos de H, formando feoftinas, compostos com coloração verde oliva (LANFER-MARQUES et al., 2003). O processo de secagem ainda poderia intensificar a formação de feoftinas. Entretanto, conforme os resultados, os pós com Emustab apresentam quase nenhuma alteração na tonalidade amarelada, assim como os pós com Albumina. Este último indica mais um esmaecimento dos tons, provavelmente pela incorporação da Albumina.

Tabela 14 - Cor do cuxá fresco e dos pós obtidos pelo método *foam mat* nas temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C e variação da cor (ΔE) entre os pós e o cuxá fresco.

Formulação	Temperatura de secagem	Cor					ΔE
		L*	a*	b*	C*	h*	
Cuxá		23,9±0,1	3,2±0,0	28,6±0,3	28,8±0,3	83,6±0,1	-
Emustab (5%)/Albumina (0%)	60°C	38,9±0,3 ^b	3,6±0,3 ^a	28,1±0,3 ^a	28,3±0,6 ^a	82,8±0,5 ^b	15,1±0,3 ^b
	70°C	38,1±0,2 ^b	3,6±0,0 ^a	28,0±0,3 ^a	28,2±0,3 ^a	82,6±0,2 ^b	14,2±0,2 ^b
	80°C	38,0±0,8 ^b	3,5±0,1 ^a	27,8±0,7 ^a	28,0±0,8 ^a	82,9±0,0 ^b	14,1±0,8 ^b
Emustab (0%)/Albumina (10%)	60°C	43,2±0,8 ^a	2,2±0,2 ^b	21,8±0,4 ^b	21,9±0,4 ^b	84,2±0,6 ^a	20,5±0,9 ^a
	70°C	44,5±1,0 ^a	1,6±0,0 ^b	19,7±1,1 ^b	19,7±1,1 ^b	85,3±0,3 ^a	22,5±0,5 ^a
	80°C	44,8±1,4 ^a	1,6±0,1 ^b	21,4±0,6 ^b	21,4±0,6 ^b	85,1±0,8 ^a	22,2±1,6 ^a

*Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

% = g Agente Espumante/ 100 g cuxá

5.4.5 Morfologia das partículas

As Figuras 23 e 24 apresentam a morfologia dos pós de cuxá obtidos com os agentes espumantes Emustab e Albumina, respectivamente. Os pós de cuxá mostraram-se com superfícies porosas e irregulares, com cavidades em suas estruturas, as quais foram originadas provavelmente pela incorporação de ar durante o batimento.

Os pós de cuxá obtidos com Albumina apresentaram superfície com maiores poros (Figura 24) do que os com Emustab (Figura 23) que mostraram superfície mais compacta e rugosa, com grãos de pequeno tamanho (50×). Os pós com Albumina aparentam estrutura com superfícies mais lisas e mais quebradiças, na forma de blocos maiores e definidos. No aumento de 50× dos pós com Albumina, nas imagens da desidratação a 60 °C é possível constatar a existência de espaços vazios que são visualizados devido à ruptura de finas camadas superficiais, sugerindo que foram criados por bolhas de ar.

Apesar das espumas com Emustab incorporarem muito mais ar que as com Albumina, a quantidade de Emustab adicionada ao cuxá é menor que a de Albumina, além do Emustab apresentar conteúdo de água em torno de 60% enquanto que o conteúdo de água na Albumina utilizada é quase insignificante. Dessa forma, os pós preparados com Albumina continham quantidade de aditivo muito superior aos pós preparados com Emustab. No primeiro caso o aditivo está na forma de proteína, o que estrutura o sólido. No segundo caso, o Emustab exerce de maneira eficiente seu papel na aeração da espuma, o que facilita a secagem, porém, contribui muito menos que a Albumina para a estruturação do sólido, uma vez que seu conteúdo, em massa seca, é bem mais baixo no produto final. Além disso, o fato de ser composto por monoglicérides destilados e ésteres de sorbitana (monoestearato de sorbitana e polisorbato 60) possivelmente influenciou sobre a aparência mais compacta e coalescente das superfícies dos pós com Emustab.

Em experimento com pó de manga obtido pelo método *foam mat drying* Chaux-Gutiérrez et al. (2016) também verificaram uma superfície mais compacta e rugosa nos pós obtidos com Emustab do que com Albumina. O agente espumante teve influência direta na morfologia do pó de cuxá e também na solubilidade, conforme será discutido posteriormente.

Figura 23 - Morfologia dos pós de cuxá com Emustab a 60 °C (1), 70 °C (2), 80 °C (3), 50× (a), 1000× (b), 2000× (c)

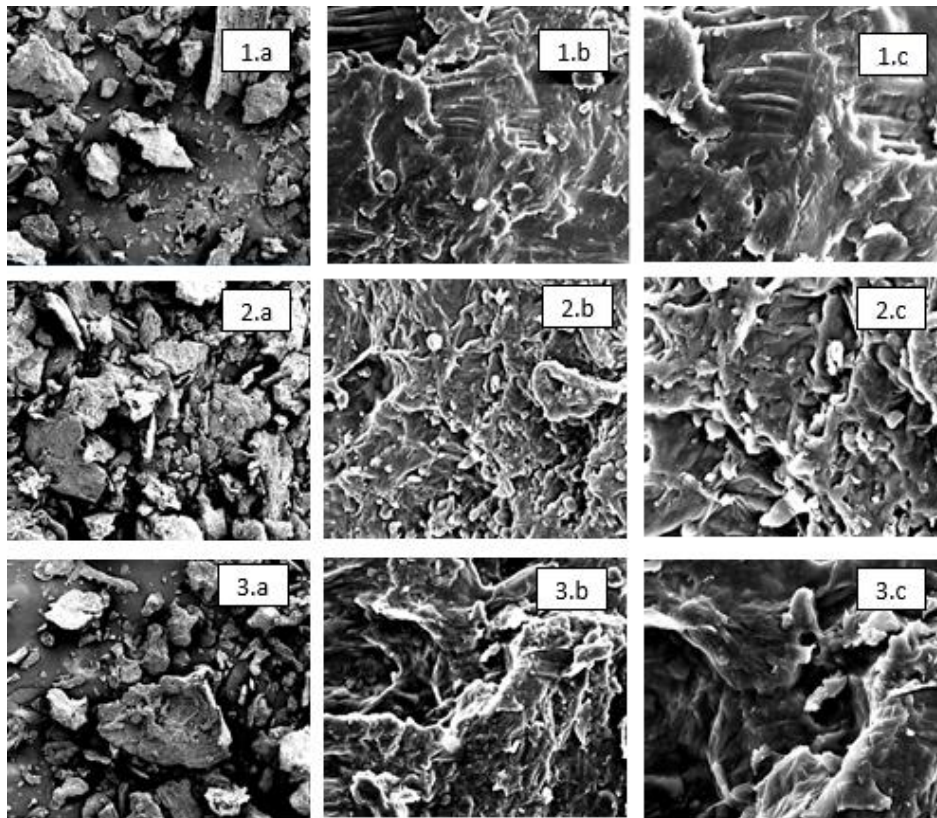
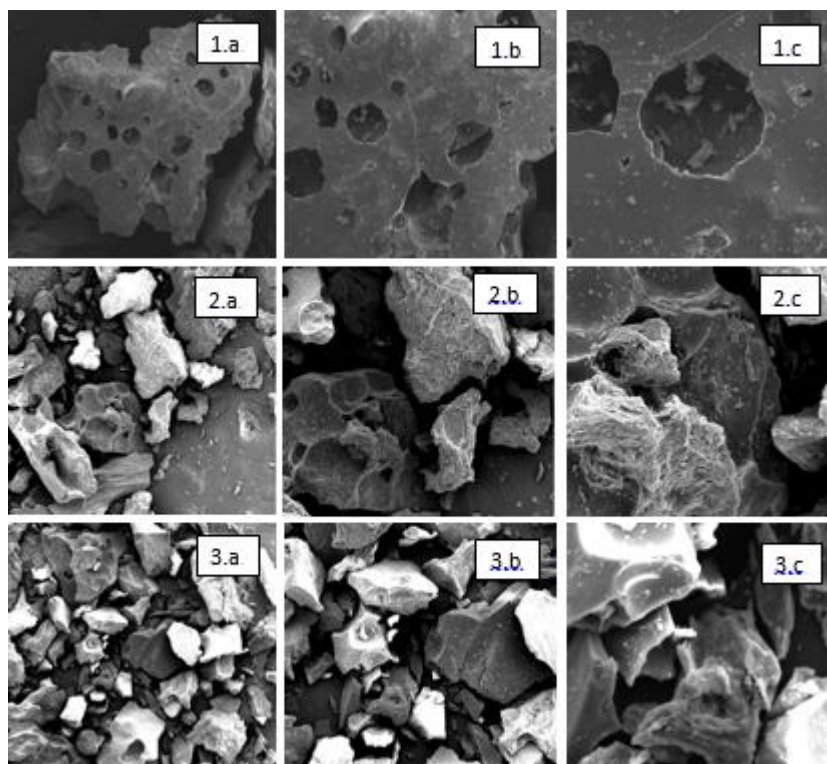


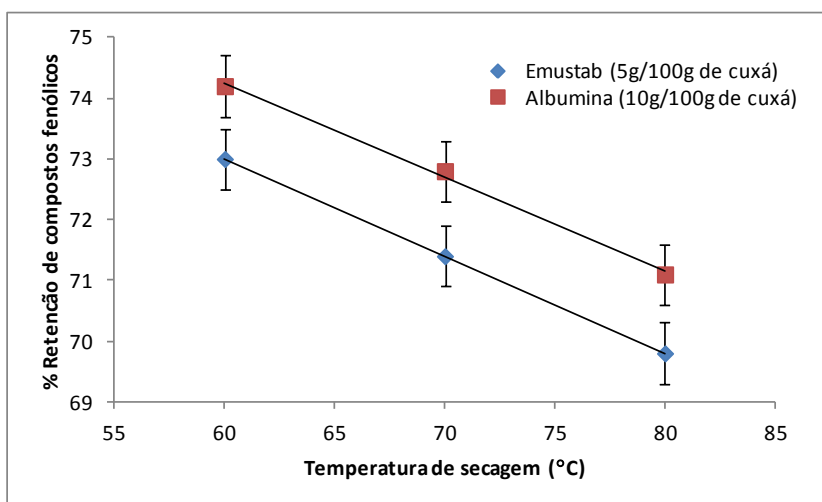
Figura 24 - Morfologia do pó de cuxá com Albumina a 60 °C (1), 70 °C (2), 80 °C (3), 50× (a), 100× (b), 300× (c).



5.4.6 Retenção de compostos fenólicos

A Figura 25 mostra as retenções de compostos fenólicos dos pós com 5 g de emustab/100 g de cuxá e 10 g de Albumina/100 g de cuxá desidratados em diferentes temperaturas de secagem.

Figura 25 - Retenções de compostos fenólicos dos pós de cuxá nas diferentes temperaturas de secagem



Verifica-se uma menor retenção dos compostos fenólicos à medida que houve aumento da temperatura de secagem para ambas as formulações com Emustab e Albumina. Na formulação com 10 g de Albumina/100 g de cuxá, a retenção variou de 74,2% (temperatura de 60 °C) a 71,1% (temperatura de 80 °C). Já para a formulação com 5 g de Emustab/100 g de cuxá a variação foi de 73,3% na temperatura de secagem de 60 °C a 69,8% na temperatura de 80° C.

A adição de Albumina ao cuxá proporcionou uma maior retenção de compostos fenólicos, e não houve influência significativa da temperatura sobre este parâmetro, porém, o conteúdo final por 100 g de pó é bem inferior ao Emustab, o que pode ser constatado na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores médios de fenólicos totais nos pós de cuxá obtidos por secagem nas temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C.

Concentração	T(°C)	Fenólicos Totais (mg/g)
Emustab (5%)/Albumina (0%)	60	4,96 ^a
	70	4,70 ^b
	80	4,61 ^b
Emustab (0%)/Albumina (10%)	60	2,49 ^c
	70	2,48 ^c
	80	2,46 ^c

*Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. % = g Agente Espumante/ 100 g cuxá

5.4.7 Solubilidade e Molhabilidade

A solubilidade é um dos parâmetros utilizados para verificar a capacidade do pó para manter-se em mistura homogênea com a água (VISSOTTO et al. 2006). Geralmente, os produtos em pó obtidos pelo método de leito de espuma apresentam boa solubilidade. Franco et al. (2016) desidrataram suco e suco concentrado de yacon, com diferentes concentrações de Albumina e Emustab e encontram percentuais e solubilidade variando de 80,4% a 84,1%. Cháux-Gutierrez (2015) utilizando os mesmos agentes espumantes seja de forma individual ou na mistura destes, verificaram índices de solubilidade na faixa de 85,1% a 91,0%.

Da mesma forma, vários produtos vegetais em pó obtidos por outros métodos de desidratação apresentaram elevados índices de solubilidade: Endo et al. (2007) em experimento com pó de suco natural de maracujá obtido pelo uso de spray-drying observaram uma solubilidade do material em torno de 94%; Sahin-Nadeem et al. (2013) empregando o mesmo método verificaram um percentual de solubilidade variando de 97% a 99% para o pó de salva (*Salvia fruticosa* Miller) obtido por spray drying.

Verifica-se por meio dos dados experimentais apresentados na Tabela 16 que os pós de cuxá produzidos apresentaram baixa solubilidade, o que pode ser justificado pela presença das fibras contidas nas folhas da vinagreira. Assim, constata-se que os pós com Albumina possibilitaram uma maior solubilidade (50,5%) do que a apresentada pelos pós com Emustab (30,4%). Esta diferença de solubilidade entre os pós de cuxá deve-se à quantidade de

albumina em relação à matéria seca da mistura, comparada com a quantidade de Emustab, e também à natureza dos agentes espumantes. A composição do cuxá apresenta quantidade considerável de proteínas, fibras e cinzas, predominantemente de materiais insolúveis ou de baixa solubilidade. Por outro lado, a Albumina é uma proteína de baixa solubilidade. Entretanto, a composição final de massa seca, para um cuxá com aproximadamente 93% de umidade, que tem adicionado 10% de sua massa em Albumina praticamente isenta de água, resulta num produto com mais de 50% de albumina em sua composição.

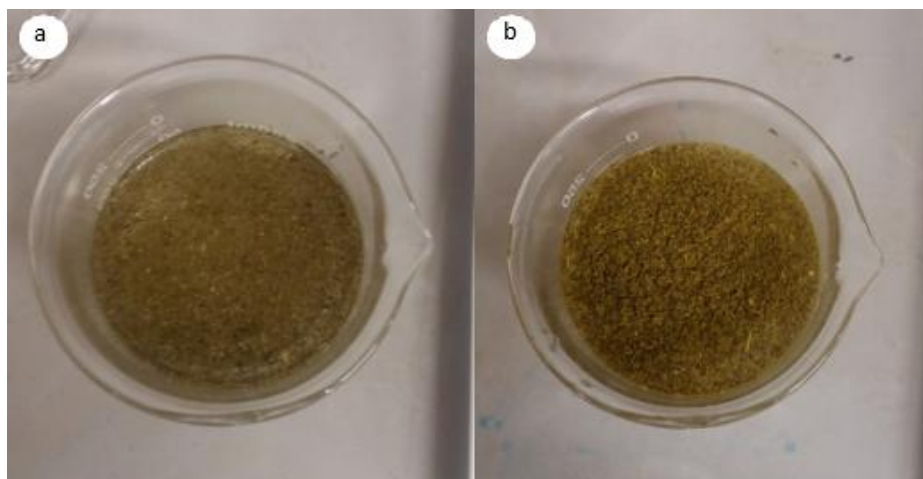
Tabela 16 – Percentual de solubilidade e tempo de molhabilidade dos pós de cuxá obtidos pelo método *foam mat* na temperatura de 60 °C

Concentração	Solubilidade (%)	Molhabilidade (min.)
Emustab (5%)/Albumina (0%)	30,4±0,5	Praticamente não molhou em 10 min.
Emustab (0%)/Albumina (10%)	50,5±0,7	2,4 ± 0,1

% = g Agente Espumante/ 100 g cuxá

O teste de molhabilidade é utilizado na indústria e consiste num ensaio simples que fornece um parâmetro de tempo necessário para que o produto em pó seja absorvido pelo líquido. Apesar do tempo de molhabilidade ser uma escolha arbitrária, Lannes e Medeiros (2003) sugerem que um tempo de 5 minutos para que 90% do material mergulhe no líquido pode ser um bom parâmetro para essa propriedade. É esperado que a solubilidade e a molhabilidade de um pó para a preparação de suco, leite ou preparações para consumo imediato sejam quase instantâneas. Por exemplo, em experimento com pó de marolo liofilizado, Bezerra (2013) verificou que a molhabilidade variou de 14 a 39 segundos. Conforme se visualiza na Tabela 16, os resultados referentes ao tempo de molhabilidade dos pós de cuxá formulados com Albumina foi de 2,4 ± 0,1 minutos. O teste pode ser visualizado nas Figuras 26a e 26b. Mesmo apresentando molhabilidade inferior ao autor supracitado, por ser um pó para preparação de um alimento que é servido aquecido, o tempo de molhabilidade é aceitável. Esse valor é menor que 5 minutos, faixa recomendada por Lannes e Medeiros (2003). Por outro lado, os pós com Emustab praticamente não foram imersos em água num período de 10 minutos (Figura 26b).

Figura 26 – Teste de molhabilidade dos pós de cuxá desidratados na temperatura de 60 °C com de 10g de Albumina/100g de cuxá (a) e 5g de Emustab/100g de cuxá (b)



5.5 Vida de prateleira do pó de cuxá com 10g de Albumina/100g de Cuxá desidratado a 60°C

Em virtude de a retenção de compostos fenólicos ter sido maior na secagem à temperatura 60 °C e, sendo esta a menor temperatura analisada, fez-se o estudo da vida útil dos pós de cuxá com 10 g de Albumina/100 g de Cuxá nas temperaturas de 5 °C (controle), 25 °C (ambiente) e 35 °C (acelerada). Os resultados são apresentados a seguir.

5.5.1 Umidade e atividade de água (a_w)

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios de determinação da umidade e a_w dos pós de cuxá em função do tempo de armazenamento nas temperaturas de 5 °C, 25 °C e 35 °C.

Tabela 17 - Valores médios de umidade (%) e a_w nas amostras de cuxá em pó, armazenadas nas temperaturas de 5 °C (controle), 25 °C (ambiente) e 35 °C (acelerada).

Tempo (dia)	Teor de água (%)			a_w		
	5 °C	25 °C	35°C	5 °C	25 °C	35°C
0	3,22±0,11 ^{cA}	3,22±0,11 ^{cA}	3,22±0,11 ^{dA}	0,173±0,01 ^{dA}	0,173±0,01 ^{cA}	0,173±0,01 ^{cA}
10	5,03±0,20 ^{bA}	5,11±0,01 ^{bA}	5,07±0,05 ^{cA}	0,215±0,01 ^{cC}	0,229±0,00 ^{bB}	0,266±0,01 ^{bA}
20	5,47±0,06 ^{abA}	5,61±0,13 ^{aA}	5,63±0,10 ^{bA}	0,242±0,00 ^{bB}	0,283±0,01 ^{aA}	0,288±0,01 ^{aA}
40	5,57±0,17 ^{aA}	5,57±0,06 ^{aA}	5,66±0,09 ^{bA}	0,279±0,00 ^{aB}	0,282±0,00 ^{aAB}	0,288±0,01 ^{aA}
60	5,79±0,15 ^{aAB}	5,72±0,03 ^{aB}	5,96±0,02 ^{aA}	0,282±0,03 ^{aB}	0,287±0,00 ^{aAB}	0,292±0,00 ^{aA}

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

De maneira geral, verifica-se um aumento do teor de água com o prolongamento do tempo de armazenamento para todas as temperaturas estudadas, embora nem sempre a diferença entre as médias seja significativa. Nota-se que nas três temperaturas de armazenamento houve diferença estatística significativa entre os tempos 0 e 10 dias, sugerindo que uma umidade relativa elevada no ambiente provocaria variação mais acentuada no início do armazenamento, o que é atenuado conforme o gradiente de umidade através do filme diminui. Ainda assim a atividade de água se manteve abaixo de 0,3 ao longo de 60 dias, o que é um valor aceitável para pós com composição baixa de açúcares. Entretanto, apesar da elevação inicial, o teor de água manteve-se estatisticamente estável a partir de 20 dias de armazenamento, prolongando-se até o final do período do experimento, com exceção das amostras armazenadas a 35 °C, nas quais o teor de água manteve-se estável entre os tempos 20 e 40, mas apresentou um aumento significativo ao final do tempo de armazenamento.

O aumento da umidade observado nos pós de cuxá possivelmente está associado ao tipo de embalagem utilizada, cuja permeabilidade ao vapor de água (5,38 g/m² dia, a 38 °C, 90% UR) é alta. Portanto, no início do armazenamento, quando o gradiente de umidade entre interior e exterior da embalagem era alto, houve maior absorção de umidade do ambiente pelo produto. Com gradientes menores, a taxa de transferência de água diminui, causando menores variações ao longo do tempo. Alexandre et al. (2014) verificaram o mesmo comportamento no teor de água de pó de pitanga (*Eugenia uniflora* L), desidratado pelo método de leito de espuma e acondicionado em embalagens flexíveis multifolhada (PET/PP), armazenadas à temperatura ambiente durante 60 dias. Oliveira et al. (2015) também constataram que embalagens laminadas não impediram a absorção de água pela polpa de mandacaru em pó armazenadas durante 50 dias em umidade relativa média de 57,7% e temperatura de 25 °C. Da

mesma forma, Lisboa et al. (2012) observaram que embalagens laminadas não constituíram barreira suficiente para evitar a absorção de água nos pós de figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica* Mill) secos pelo método de leito de espuma e armazenados durante 100 dias nas temperaturas de 25 °C e 40 °C.

Constatou-se ainda que a temperatura de armazenamento de 35 °C proporcionou maior taxa de permeabilidade da embalagem e, por conseguinte, maior absorção de umidade pelos pós (Tabela 17). Comportamento semelhante foi observado por Breda et al. (2012) em pós de guavira (*Campomanesia adamantium*) desidratados em leito de espuma e armazenados em embalagens de polietileno de baixa densidade durante 90 dias. Quando armazenados na temperatura de 35 °C, os pós apresentaram umidade superior àqueles armazenados à temperatura ambiente.

Os valores de a_w das amostras ao final do período de 60 dias de armazenamento (Tabela 17) indicam que os pós de cuxá apresentaram estabilidade física e microbiológica durante esse período, devido ao baixo valor de a_w . Os pós de cuxá armazenados a 5 °C não apresentaram variações estatísticas de a_w a partir de 40 dias, enquanto nas demais temperaturas, esses valores não variaram após 20 dias de armazenamento.

5.5.2 pH e acidez

Os valores médios de pH e da acidez titulável do cuxá em pó encontram-se apresentados na Tabela 18.

Tabela 18- Valores médios de pH e acidez nas amostras de cuxá em pó, armazenadas nas temperaturas de 5 °C (controle), 25 °C (ambiente) e 35 °C (acelerada).

Tempo (dia)	pH			Acidez titulável (% ácido cítrico)		
	5 °C	25 °C	35°C	5 °C	25 °C	35°C
0	5,23±0,01 ^{bA}	5,23±0,01 ^{aA}	5,23±0,01 ^{bA}	5,71±0,12 ^{aA}	5,71±0,12 ^{aA}	5,71±0,12 ^{aA}
10	5,31±0,03 ^{abA}	5,10±0,02 ^{bC}	5,25±0,01 ^{abB}	5,25±0,19 ^{bA}	5,58±0,02 ^{abA}	5,57±0,20 ^{aA}
20	5,24±0,02 ^{bA}	5,02±0,00 ^{bC}	5,20±0,00 ^{bB}	5,40±0,11 ^{abAB}	5,53±0,02 ^{abA}	5,04±0,23 ^{bB}
40	5,39±0,06 ^{aA}	5,24±0,07 ^{aA}	5,32±0,04 ^{aA}	5,03±0,23 ^{bcA}	4,93±0,26 ^{cA}	5,08±0,13 ^{bA}
60	5,28±0,01 ^{bA}	5,23±0,01 ^{aA}	5,27±0,05 ^{abA}	4,78±0,04 ^{cA}	5,20±0,21 ^{bcA}	5,05±0,18 ^{bA}

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Analisando-se os resultados dos valores médios do pH nas temperaturas de armazenamento de 5°C, 25 °C e 35 °C (Tabela 18), observa-se que, apesar das oscilações das médias durante o armazenamento, não houve diferença estatística significativa entre o tempo 0 e 60 dias, o que demonstra haver uma estabilidade do pH ao final do armazenamento em relação ao tempo inicial.

Comparando-se os valores médios do pH, houve aumento de menos de 1% nos pós armazenados nas temperaturas de 5°C e 35°C, enquanto que na temperatura de 25°C o teor permaneceu igual ao tempo inicial. Loureiro et al. (2013) em amostras de buriti em pó obtidas por secagem em estufa e armazenadas à temperatura ambiente em embalagens de polietileno durante 90 dias, observaram aumento de apenas 2% no pH das amostras.

No tocante à acidez titulável, observa-se comportamento similar das amostras para as três temperaturas estudadas, ou seja, uma tendência de redução durante o armazenamento, apresentando diferenças significativas em termos estatísticos entre o período inicial e final de armazenamento (Tabela 18) e não houve influência da temperatura de armazenamento sobre este parâmetro.

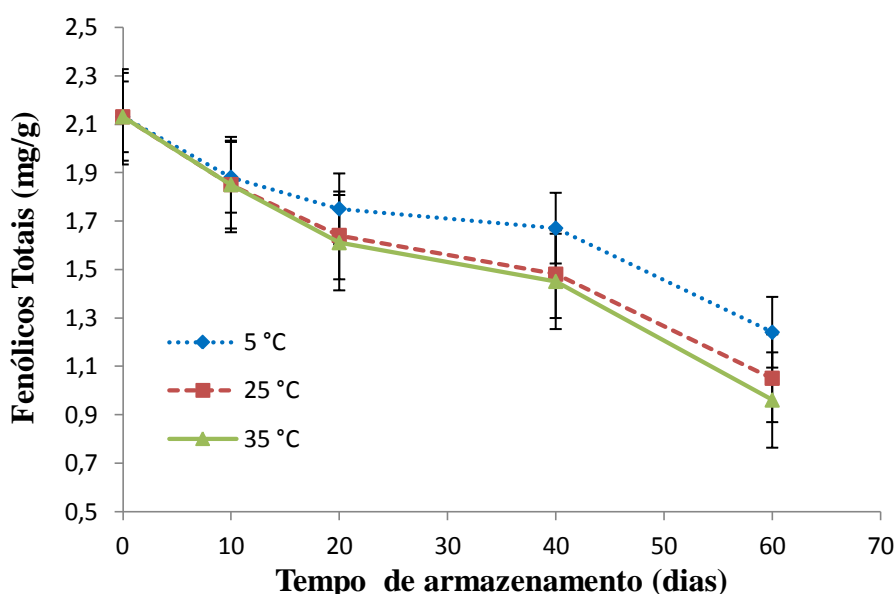
A tendência de redução da acidez ao longo do tempo de armazenamento para todas as amostras, provavelmente, deve-se a oxidações dos ácidos orgânicos e também pôde ser constatada durante armazenamento de umbu-cajá em pó (SILVA et al. 2005). Por outro lado, Breda et al. (2012) observaram aumento significativo nos valores de acidez titulável em pós de guavira ao final de 90 dias de armazenamento nas temperaturas de 25° e 35°C.

5.5.3 Fenólicos Totais

Conforme observado na Figura 27, o teor dos compostos fenólicos totais no final do experimento (60 dias) sofreu redução de 42% em relação ao tempo inicial (tempo 0) quando armazenado na temperatura de 5 °C (controle), enquanto que na temperatura de armazenamento de 25 °C (ambiente) a redução foi na ordem de 51%, já na temperatura de armazenamento acelerada (35°C) foi de 55%. Desta forma, constata-se que à medida em que houve aumento da temperatura de armazenamento, ocorreu diminuição na retenção dos compostos fenólicos. Paraginski et al. (2015) por sua vez, observaram redução no teor de compostos fenólicos totais em grãos de milho armazenados por 12 meses e constaram que a redução destes compostos foi maior na temperatura de 15 °C do que na temperatura de 5 °C.

A diminuição do teor de fenólicos totais também foi verificada por Yang et al. (2010) em armazenamento de noni (*Morinda citrifolia*) em pó durante 12 semanas na temperatura de 24°C. De acordo com Campos et al. (2008) temperaturas de armazenamento mais baixas geralmente produzem menores perdas de compostos fenólicos em alimentos.

Figura 27 – Teor de compostos fenólicos totais nas amostras de cuxá em pó com 10 g de Albumina/100 g de cuxá na temperatura de 60 °C, armazenadas nas temperaturas de 5 °C (controle), 25 °C (ambiente) e 35 °C (acelerada).



Como mostrado anteriormente na Figura 25, constatou-se que os pós de cuxá tiveram uma retenção de compostos fenólicos em torno de 75% durante a secagem em leito de espuma. Portanto, as perdas durante o processamento foram menores que durante os 60 dias de armazenamento, quando amostras armazenadas a 25 °C chegaram a perdas de aproximadamente 50%. Nas três temperaturas, constata-se que a partir de 40 dias o comportamento se altera de maneira similar, mostrando uma queda acentuada. Provavelmente a presença do oxigênio foi o principal causador da diminuição desses compostos, sendo necessário utilizar técnicas de embalagem e armazenamento mais adequadas, podendo ser objeto de posteriores investigações.

5.5.4 Cor

Os resultados referentes à cor dos pós estão apresentados nas Figuras 28 a 30. Entre o início do experimento (tempo 0) e o final (60 dias) de armazenamento, constata-se redução do parâmetro L^* , o que representa escurecimento do material (Figura 28). Isto ocorreu, provavelmente, pela síntese de compostos escuros de origem não enzimática (reação de Maillard). Diminuição dos valores de L^* foram verificados por Silva et al. (2010), após 45 dias de armazenamento de tomate seco à temperatura ambiente. Também, Oliveira et al. (2015) constataram que a polpa do fruto de mandacaru em pó apresentou escurecimento, em razão da diminuição de L^* ao longo de 50 dias de armazenamento à temperatura ambiente. O mesmo foi constatado por Arlindo et al. (2007) em pesquisa com pimentão em pó acondicionado em embalagem de polietileno durante 100 dias de armazenamento.

O parâmetro a^* (Figura 29) apresentou valores muito baixos e positivos, menores que 2,0, indicando um tom vermelho, porém, quase acromático. Esses valores diminuíram em função do tempo e da temperatura, sendo que a menor temperatura causou as menores variações. A redução de a^* , de um valor ligeiramente positivo em direção ao zero, significa que a coloração tendeu ainda mais para um tom acromático e pode ter sido ocasionada pela degradação da clorofila. Segundo Streit et al. (2005) a perda da coloração em maiores temperaturas de armazenamento é atribuída principalmente ao processo de feofitinação onde a cor vívida da clorofila passa a uma cor marrom azeitona típica da feofitina, devido à substituição do magnésio do centro da molécula de clorofila por hidrogênio. Por outro lado, geralmente a cor mantém-se estabilizada em baixas temperaturas de armazenamento provavelmente pela formação de um composto metal-clorofila.

O parâmetro b^* (Figura 30), por sua vez, teve comportamento parecido com o L^* , isto é, inicialmente sofreu uma redução, mas se manteve aproximadamente constante ao longo do armazenamento. Essa redução significou diminuição da cor amarela. Corroborando com esta pesquisa, Endo et al. (2007) verificaram diminuição nos valores de b^* em pós de suco natural de maracujá durante 180 dias de armazenamento e também observaram uma menor redução no valor de b^* em relação ao tempo inicial na menor temperatura de armazenamento. Fato também constatado por Lisbôa et al. (2012) em pós de figo-da-índia armazenados durante 100 dias nas temperaturas de 25 °C e 40 °C.

Figura 28 - Parâmetro L^* em função do tempo de armazenamento nas diferentes temperaturas

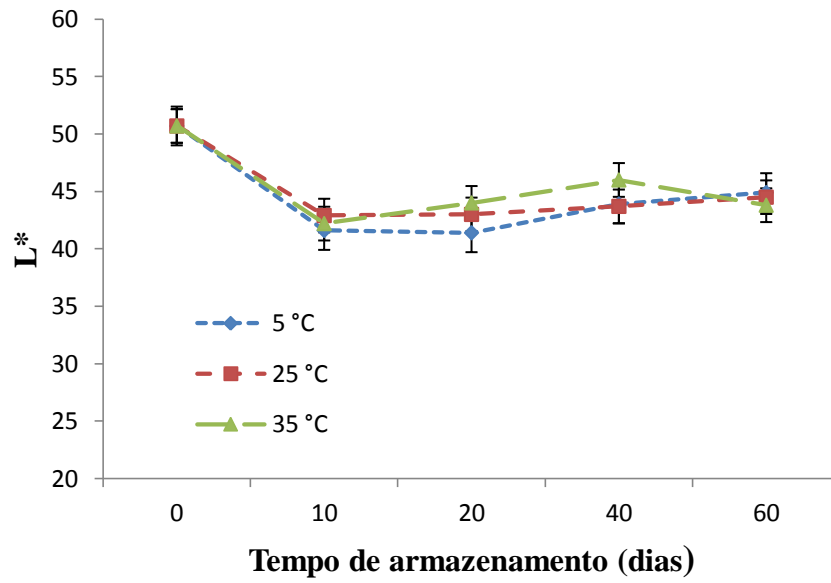


Figura 29 - Parâmetro a^* em função do tempo de armazenamento nas diferentes temperaturas

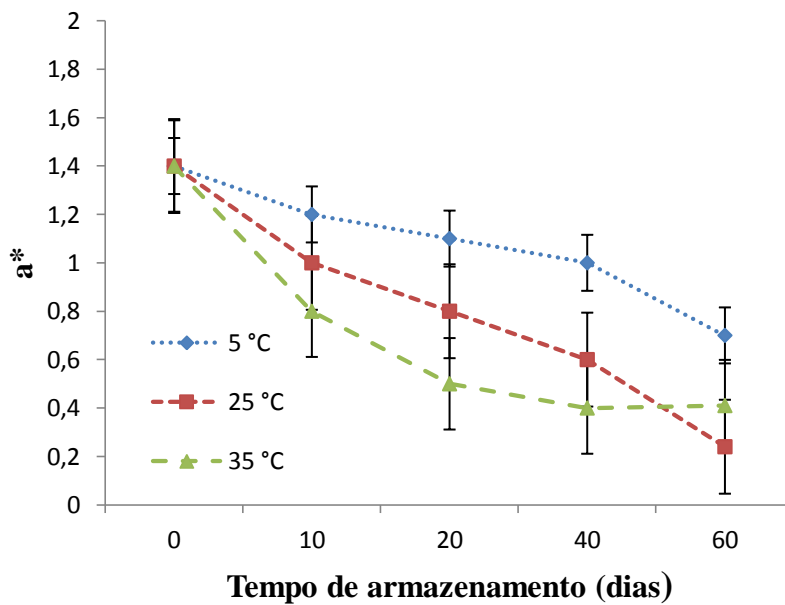
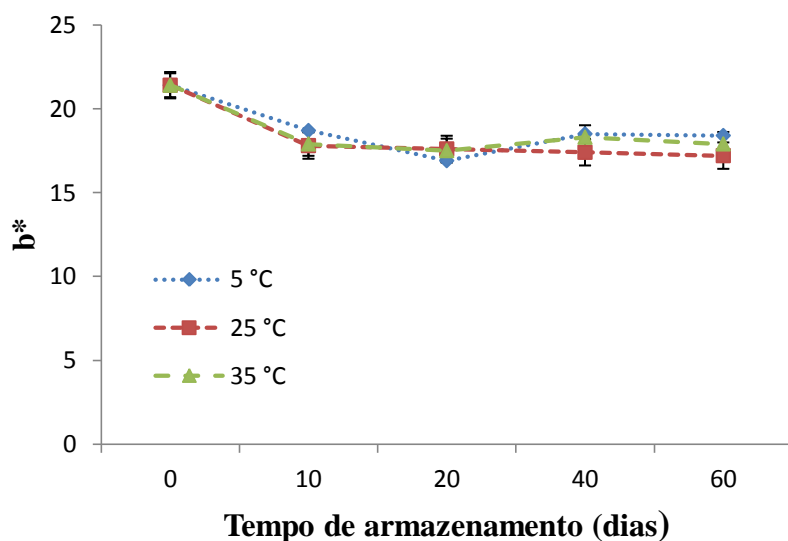


Figura 30 - Parâmetro b^* em função do tempo de armazenamento nas diferentes temperaturas



5.5.5 Clorofila total

A concentração inicial de clorofila (0,34 mg/g) diminuiu significativamente ao longo do período de armazenamento. Os teores do pigmento observados ao final de sessenta dias (Figura 31) foram de 0,21 mg/g (armazenamento a 5 °C), 0,17 mg/g (armazenamento a 25 °C) e 0,16 mg/g (armazenamento a 35 °C). Portanto, a maior degradação da clorofila foi observada na temperatura acelerada de 35 °C, na qual foi constatada uma diminuição na ordem de 53%. Já o armazenamento na temperatura ambiente (25 °C), apresentou uma degradação do composto em torno de 50%, taxa similar à observada por Cabral-Malheiros et al. (2010) no armazenamento de erva-mate na mesma temperatura (51%). Por outro lado, a temperatura de armazenamento (5 °C), possibilitou uma menor degradação do teor de clorofila total em relação ao início do experimento, que foi de aproximadamente 38,2%.

Ribeiro et al. (2005) verificaram que goiabas da variedade “Paluma”, armazenadas à temperatura ambiente apresentaram maior degradação do teor de clorofila total ao longo de 12 dias de armazenamento do que as armazenadas na temperatura de 10 °C, ou seja, constataram que o aumento da temperatura provocou maior degradação do composto.

Ao armazenarem folhas de salsa (*Petroselinum crispum*) nas temperaturas de 5 °C e 25°C, Álvares et al. (2010) observaram que não houve degradação da clorofila no armazenamento a 5 °C e ocorreu degradação linear da clorofila na temperatura de 25 °C.

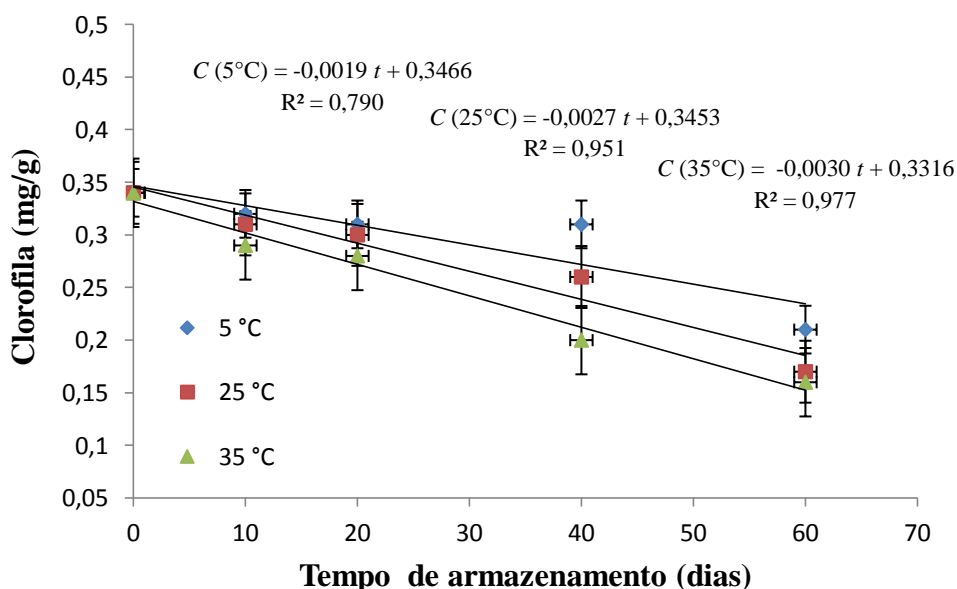
Segundo os autores, o aumento da temperatura de armazenamento foi o principal fator para degradação do pigmento. De acordo com Lajolo et al. (1971) alguns fatores influenciam a degradação da clorofila, sendo um dos principais a temperatura.

A diminuição da clorofila em função do aumento da temperatura e do tempo de armazenamento observada nesta pesquisa sugere que a cinética de degradação deste composto pode ser um parâmetro utilizado para indicar a qualidade do cuxá em pó e estimar a sua vida de prateleira, já que a clorofila é o pigmento natural mais abundante nas plantas e pode ser facilmente degradada, alterando significativamente a cor, o valor comercial e a qualidade nutricional dos alimentos (STREIT et al. 2005; SHOEFS, 2002).

5.5.5.1 Parâmetros cinéticos

Foram testados os modelos cinéticos de ordem zero, primeira e segunda ordem para a degradação da clorofila. O modelo de ordem zero (Equação 11) demonstrou ser o mais adequado, por melhor retratar a diminuição da concentração do composto ao longo do tempo, o que foi determinado com base nos maiores coeficientes de determinação, que variaram de 0,79 a 0,98 (Figura 31). Desta forma, o modelo foi utilizado para a determinação dos parâmetros cinéticos.

Figura 31 – Modelo cinético de ordem zero para degradação de clorofila do pó de cuxá com 10 g de Albumina/100 g de cuxá na temperatura de 60 °C, armazenado a 5°C (controle), 25°C (ambiente) e 35°C (acelerada) durante 60 dias.

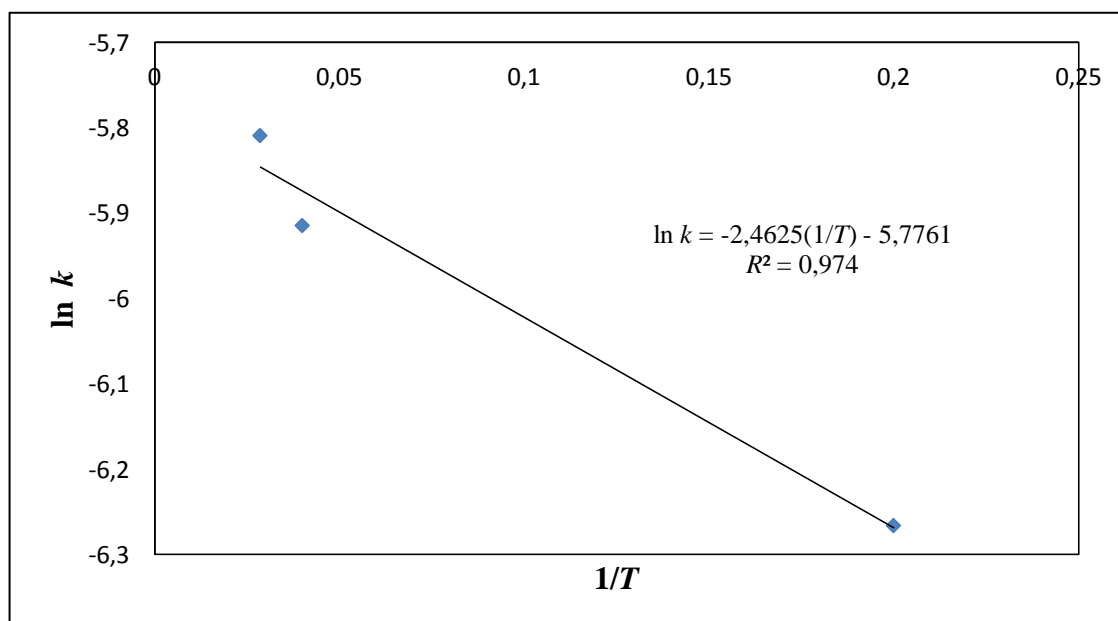


O modelo de ordem zero também se mostrou-se mais adequado para representar a perda da qualidade sensorial de barra de cereais com pipoca de sorgo (PAIVA; QUEIROZ; RODRIGUES, 2012), alteração da cor em suco de manga integral (OLIVEIRA et al., 2013) e redução de Vitamina C em pó de guavira (BREDA et al., 2012) durante o armazenamento.

Os parâmetros da Equação (11), obtidos por regressão linear, são apresentados nas equações C (5°C), C (25°C) e C (35°C), conforme modelo cinético de ordem zero para degradação da clorofila (Figura 31). Os valores das constantes da reação de degradação (k) de $-0,0019 \text{ dia}^{-1}$ (5 °C), $-0,0027 \text{ dia}^{-1}$ (25 °C) e $-0,0030 \text{ dia}^{-1}$ (35 °C), demonstram que a clorofila apresenta sensibilidade ao tempo e à temperatura de armazenamento.

A partir das constantes de reação, foi determinada a energia de ativação (E_a) de acordo com a equação (15), cujo valor foi de $4,9 \text{ kcal.mol}^{-1}$ para a clorofila. Para tanto, construiu-se um gráfico em escala linear, plotando-se o valor logarítmico da constante de velocidade da degradação de clorofila ($\ln k$) em função do inverso da temperatura, em escala absoluta ($1/T$). Por meio da análise de regressão, verificou-se que a dependência da degradação de clorofila em relação à temperatura, com $R^2 = 0,97$, seguiu o modelo de Arrhenius (Figura 32).

Figura 32 – Efeito da temperatura de armazenamento sobre a constante de degradação da clorofila do cuxá em pó.



5.5.5.2 Estimativa de vida de prateleira (TAVP)

A vida de prateleira do cuxá em pó foi determinada considerando-se a concentração mínima de clorofila aceitável equivalente a 50% da concentração inicial (meia-vida). Baseado nesse critério, com base na equação (17) foi possível estimar o tempo de vida de prateleira para o cuxá em pó armazenado nas diversas temperaturas. À temperatura de 5 °C, a vida de prateleira foi de 90 dias, à temperatura ambiente (25 °C), 64 dias e à temperatura de 35 °C, 57 dias.

O valor de Q_{10} calculado de acordo com a equação (15) entre 25 °C e 35 °C, foi igual a 1,1. Isso significa que a cada 10 °C de aumento de temperatura de armazenamento do cuxá em pó, o tempo de vida-de-prateleira é dividido por 1,1. Se for estimado para toda a faixa de temperatura estudada, resultaria num valor ligeiramente superior, mas que não superaria 1,2. Sendo assim, conclui-se que a temperatura afeta menos a degradação de clorofila do que o tempo de armazenamento, uma vez que a cada redução de 10 °C, a vida de prateleira aumenta em menos de 20%. Por essa razão, a 25 °C a vida de prateleira é de aproximadamente dois meses, enquanto que o mesmo pó, refrigerado a 5 °C, ganha apenas um mês adicional. Ao mesmo tempo, destaca-se a redução relativamente rápida da clorofila durante o armazenamento. Esse comportamento é tipicamente observado em relação à vitamina C, que apresenta redução considerável logo no início do armazenamento (BREDA et al., 2013) ainda que essa vitamina seja degradada de maneira mais acentuada que a clorofila.

6 CONCLUSÕES

- As formulações de cuxá utilizadas nos ensaios preliminares apresentaram boa aceitação pelos consumidores com maiores notas para as formulações B e C, sendo a primeira utilizada no experimento de secagem devido menor rejeição no teste sensorial.
- Os resultados dos testes de estabilidade, *overrun*, densidade e cor de espumas mostraram que as formulações com 5g de Emustab/100g de cuxá e 10g de Albumina/100g de cuxá foram as mais apropriadas para secagem pelo método *foam mat drying*.
- Os modelos de Newton, Page e Handerson-Pabis podem ser utilizados para representar o processo de secagem das formulações com Emustab e Albumina, pois se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, porém, Page é o que melhor representa a cinética de secagem do cuxá para as duas formulações testadas.
- O Emustab e a Albumina foram considerados bons agentes espumantes para secagem pelo método de leito de espuma, em todas as temperaturas de secagem, pois apresentaram elevados coeficientes de difusão (D_{ef}), o que proporcionou tempos curtos de secagem e pós de cuxá com baixas umidades e atividades de água.
- Durante a secagem em leito de espuma, a retenção de compostos fenólicos totais foi maior nas espumas com Albumina do que com Emustab, sendo que as menores temperaturas preservaram mais esses compostos.
- Os agentes espumantes influenciaram os parâmetros de cor dos pós de cuxá. No entanto, embora as temperaturas e formulações testadas tenham proporcionado diferença significativa na cor em relação ao cuxá fresco, visualmente, percebe-se apenas uma leve diferença, comprovando que os agentes espumantes e método de secagem utilizado foram efetivos na conservação da cor característica do cuxá.

- A morfologia dos pós sugeriu que houve uma maior compactação da estrutura durante a secagem das espumas com Emustab do que com Albumina, devido às superfícies dos pós com o primeiro mostrarem-se mais rugosas e compactas que dos segundos.
- Os pós de cuxá com Emustab e Albumina apresentaram baixa solubilidade, o que pode ser justificado pela presença de fibras contidas nas folhas de vinagreira. Quanto à molhabilidade, o pó de cuxá com Albumina foi molhado em sua totalidade em 2,4 minutos, que foi considerado um tempo aceitável. Entretanto, o pó de cuxá com Emustab praticamente não molhou em um período de tempo de 10 minutos.
- Durante o estudo da vida útil do cuxá elaborado com Albumina, houve uma ligeira absorção de água dos pós de cuxá, porém, a_w se manteve em níveis microbiologicamente seguros em função de ter apresentado o valor máximo de 0,292.
- Os pós de cuxá elaborados com Albumina e armazenados na menor temperatura (5 °C) apresentaram maior retenção de compostos fenólicos (58%) e menor taxa de degradação de clorofila total (38,2%) que nas temperaturas maiores;
- Durante o armazenamento dos pós de cuxá elaborados com Albumina houve uma perda de coloração o que foi associado à degradação da clorofila;
- A degradação da clorofila durante o armazenamento dos pós de cuxá elaborados com Albumina foi bem explicada pelo modelo cinético de ordem zero. A influência da temperatura na degradação do pigmento adequou-se ao modelo de Arrhenius.
- Utilizando-se o teor de clorofila total como parâmetro para estimativa da vida útil do cuxá em pó, por meio do teste acelerado de vida de prateleira (TAVP) foi possível estimar em 64 dias a vida de prateleira do produto armazenado à temperatura ambiente (25 °C) e em 57 dias em condições aceleradas (35 °C).

7 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS

- Otimização do processo de secagem visando obter maior retenção dos compostos fenólicos;
- Testar outros agentes espumantes que promovam, além de boa estabilidade das espumas, uma melhor solubilidade dos pós;
- Realizar análise sensorial do cuxá reidratado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT-Food Science and Technology**, v. 68, p. 105-110, 2016.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F de.; QUEIROZ, A. J. de M.; OLIVEIRA, E. N. A. de. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83-91, 2014.

ÁLVARES, V. S.; NEGREIROS, J. R. S. Nota Científica. Pré-resfriamento e embalagem na conservação de folhas de salsa. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, p. 107-111, 2010.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos-uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 66, n. 1, p. 01-09, 2007.

AMARANTE, C. V. T.; BISOGNIN, D. A.; STEFFENS, C. A.; ZANARDI, O. Z.; ALVES, E. O. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 4, p. 471-475, 2008.

AOAC - Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**. Washington: AOAC International, 2002.

ARLINDO, D. M.; QUEIROZ, A. J de M.; FIGUEIREDO, R.M.F de. Armazenamento de pimentão em pó em embalagem de polietileno. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, p. 111-118, 2007.

AUISAKCHAIYOUNG, T.; ROJANAKORN, T. Effect of foam-mat drying conditions on quality of dried Gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) aril. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 5, p. 2025-2031, 2015.

AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H.; VARIDI, M. Foam-mat drying of shrimp: characterization and drying kinetics of foam. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 15, n. 3, p. 159-165, 2013.

BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food and bioprocess technology**, v. 4, n. 8, p. 1450-1458, 2011.

BALASUBRAMANIAN, S.; PARIDHI, G. Optimization of process conditions for the development of tomato foam by Box-Behnken design. **Food and Nutrition Sciences**, v. 2012, 2012.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D.; COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1203-1208, 2015.

BARBIERI JUNIOR, É.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. M.; RIBEIRO, R. C.; MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2241-2245, 2012.

BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.

BEUCHAT, L. R.; KOMITOPOULOU, E.; BECKERS, H.; BETTS, R. P.; BOURDICHON, F.; FANNING, S.; KUILE, B. H. T. Low-water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens. **Journal of Food Protection®**, v. 76, n. 1, p. 150-172, 2013.

BERNARDES, N. R.; PESSANHA, F. F.; OLIVEIRA, D. B. Alimentos Funcionais: Uma breve revisão. **Ciência e Cultura**, v. 6, p. 11-20, 2010.

BEZERRA, T. S. **Caracterização física, química e morfológica de polpa de marolo liofilizada**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 267, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico de espécies vegetais para o preparo de chás. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 set. 2005.

BREDA, C. A.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CORREIA, C. de A.C. Shelf life of powdered *Campomanesia adamantium* pulp in controlled environments. **Food chemistry**, v. 135, n. 4, p. 2960-2964, 2012.

CABRAL-MALHEIROS, G.; HECKTHEUER, L. H. R.; CANTO, M. W. do; BALSAMO, G. M. O tempo e o tipo de embalagem sobre a erva-mate tipo chimarrão durante armazenagem em condições ambientais. **Ciência Rural**, v.40, n. 3, p. 654-660, 2010.

CAMPOS, F. M.; MARTINO, H. S. D.; SABARENSE, C. M.; PINHEIRO-SANTA'ANA, H. M. Estabilidade de compostos antioxidantes em hortaliças processadas: uma revisão. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 481-490, 2008.

CANIZARES, D.; MAURO, M. A. Enhancement of quality and stability of dried papaya by pectin-based coatings as air-drying pretreatment. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 6, p. 1187-1197, 2015.

CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; MARQUES, J. A.; SILVA, P. I. Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Bol. Centro Pesqui. Process. Aliment**, v. 22, n. 1, p. 121-132, 2004.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine* —Carabao var.) powder. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 111, n.1, p.135–148, 2012.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. Viçosa: UFV, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2014.

CASTRO, N. E. A. D.; PINTO, J. E. B. P.; CARDOSO, M. D. G.; MORAIS, A. R. D.; BERTOLUCCI, S. K. V.; SILVA, F. G. D.; DELÚ FILHO, N. Planting time for maximization of yield of vinegar plant calyx (*Hibiscus sabdariffa* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 542-551, 2004.

CHAUX-GUTIÉRREZ, A. M. **Desidratação de polpa de manga em leito de espuma com e sem intermitência térmica**. 2015. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, SP, 2015.

CHAUX-GUTIÉRREZ, A. M.; PÉREZ-MONTERROZA, E. J.; TELIS, V. R. N.; MAURO, M. A. The Physical and Morphological Characteristics of Mango Powder (*Mangifera indica* L. cv Tommy Atkins) Produced by Foam Mat Drying. **Food Biophysics**, 1-9, 2016.

CHAVES, M. A.; BARRETO, I.; REIS, R. C.; KADAM, D. M. Physicochemical and sensory properties of purple Brazilian cherry (*Eugenia uniflora*, L.) foams. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 8, p. 1688-1697, 2013.

CHEN, J. H.; WANG, C. J.; WANG, C. P.; SHEU, J. Y.; LIN, C. L.; LIN, H. H. Hibiscus sabdariffa leaf polyphenolic extract inhibits LDL oxidation and foam cell formation involving up-regulation of LXR α /ABCA1 pathway. **Food chemistry**, v. 141, n. 1, p. 397-406, 2013.

CID-ORTEGA, S.; GUERRERO-BELTRÁN, J. A. Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa*), an alternative to the food and beverages industries: a review. **Journal of Food Science and Technology**, p. 1-11, 2015.

CISSE, M.; DORNIER, M.; SAKHO, M.; NDIAYE, A.; REYNES, M.; SOCK, O. Le bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.): composition et principales utilisations. **Fruits**, v. 64, n. 03, p. 179-193, 2009.

CRANK, J. 1975. **The Mathematics of Diffusion**, 2nd Ed., Oxford University Press, London, 1975.

DA-COSTA-ROCHA, I.; BONNLAENDER, B.; SIEVERS, H.; PISCHEL, I.; HEINRICH, M. *Hibiscus sabdariffa* L.—A phytochemical and pharmacological review. **Food chemistry**, v. 165, p. 424-443, 2014.

DANTAS, S. C. de M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat**. Departamento de Engenharia Química. 2010. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

EMRICH, E. B.; SOUZA, R. J.; LIMA, A. A.; FIGUEIREDO, F. C.; SILVA, D. R. G. Cultivo do tomateiro em substratos orgânicos sob aplicação foliar de silicato de potássio em ambiente protegido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 56-61, 2011.

- ENDO, E.; BORGES, S. V.; DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 787-792, 2007.
- ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.
- ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of food engineering**, v. 63, n. 3, p. 349-359, 2004.
- FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 6, p. 486-491, 2003.
- FALADE, K. O.; OKOCHA, J. O. Foam-mat drying of plantain and cooking banana (*Musa* spp.). **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 4, p. 1173-1180, 2012.
- FALADE, K. O.; ONYEOZIRI, N. F. Effects of cultivar and drying method on color, pasting and sensory attributes of instant yam (*Dioscorea rotundata*) flours. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 3, p. 879-887, 2012.
- FALUSI, O. A.; DANGANA, M. C.; DAUDU, O. A. Y.; OLUWAJOBI, A. O.; ABEJIDE, D. R.; ABUBAKAR, A. Evaluation of some Rossele (*Hibiscus sabdariffa* L.) germplasm in Nigeria. **Inter. J. Biotech. Food Sci**, v. 2, p. 16-20, 2014.
- FERNANDES, C. **Viagem gastronômica através do Brasil**. 8. ed. São Paulo: Editora SENAC São Paulo: Editora Estúdio Sonia Robatto, 2007.
- FERNANDES, R. D. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; SOUZA, V. R. de; LIMA, C. F. de. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1267-1278, 2014.
- FIGUEREDO, R. C.R.; RIBEIRO, F. A.L; SABADINI, E. Ciência de espumas-aplicação na extinção de incêndios. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 126-130, 1999.
- FILIPPIN, A. P.; MOLINA FILHO, L.; FADELA, V.; MAURO, M. A. **Effects of thermal intermittence on energy expenditure in convective drying of Fuji apple**. 29° EFFoST International Conference Proceedings. Atenas, Grécia, 2015.
- FONTENELE, M. A.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; ALVES, R. E.; SOUSA, P. D.; SOUZA, V. D. Conservação pós-colheita de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) sob refrigeração e embalado em PVC. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 292-296, 2010.
- FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT-Food Science and Technology**, v. 66, p. 503-513, 2016.

FRANCO, T. S.; ELLENDERSEN, L. N.; FATTORI, D.; GRANATO, D.; MASSON, M. L. Influence of the Addition of Ovalbumin and Emulsifier on the Physical Properties and Stability of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Juice Foams Prepared for Foam Mat Drying Process. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 10, p. 2012-2026, 2015.

FURTADO, G de F.; SILVA, F. S. da; PORTO, A. G.; SANTOS, P. dos. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.9-14, 2010.

GARG, R.; MANISH, K.; GARG, R. Pharmacognostical, preliminary phytochemical and antioxidant evaluation of *Hibiscus sabdariffa*, Linn. **Journal of pharmaceutical research & opinion**, v. 2, n. 8, 2012.

GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, p. 434-443, 2014.

GOUVEIA, J. P. G.de; ALMEIDA, F. D. A. C.; SILVA, F. E. da; SILVA, M. M. da; CHAVES, M. D. C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.65-68, 2003.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, n. just-accepted, 2015.

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

HART, M. R.; GINETTE, L.; MORGAN, A. I.; GRAHAM, R. Foams for foam-mat drying. **Food Technology**, v. 17, n. 10, p. 1302-1304, 1963.

HEATON, J. W.; MARANGONI, A. G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n. 1, p. 8-15, 1996.

HERRERA-ARELLANO, A.; FLORES-ROMERO, S.; CHAVEZ-SOTO, M. A.; TORTORIELLO, J. Effectiveness and tolerability of a standardized extract from *Hibiscus sabdariffa* in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. **Phytomedicine**, v. 11, n. 5, p. 375-382, 2004.

HUI-HSUAN, L.; KUEI-CHUAN, C.; JENN-YUAN, S.; SHU-WEN, H.; CHAU-JONG, W.; JING-HSIEN, C. Hibiscus sabdariffa leaf induces apoptosis of human prostate cancer cells in vitro and in vivo. **Food Chemistry**, v. 132, n. 2, p. 880-891, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4^a ed. São Paulo, 1^o Ed. digital, 1002 p., 2008.

ISENGARD, H.D.; KLING, R.; REH, C. T. Proposal of a new reference method to determine the water content of dried dairy products. **Food chemistry**, v. 96, n. 3, p. 418-422, 2006.

ISMAIL, A.; IKRAM, E. H. K.; NAZRI, H. S. M. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Seeds-nutritional composition, protein quality and health benefits. **Food**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2008.

JESUS, S. V. de.; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta amazônica**, v. 38(4), p. 815-818, 2008.

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.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S. Foam-mat Drying of Papaya (*Carica Papaya* L.) using Glycerol monostearate as Foaming Agent. **Food Science and Quality Management**, v. 9, p. 17-27, 2012.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KATO, A.; TAKAHASHI, A.; MATSUDOMI, N.; KOBAYASHI, K. Determination of foaming properties of proteins by Conductivity Measurements. **Journal of Food Science**, Chicago, v 48, p.62-65, 1983.

KESHAVARZI, M. H. B. MOUSSAVINIK, S. M. The effect of different NaCl concentration on germination and early growth of *Hibiscus sabdariffa* seedling. **Annals of Biological Research**, v. 2, n. 4, p. 143-149, 2011.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D.; STATHOPOULOS, C. E. A storage study of encapsulated gac (*Momordica cochinchinensis*) oil powder and its fortification into foods. **Food and Bioproducts Processing**, v. 96, p. 113-125, 2015.

KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of yogurt powder using foam-mat drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, 2012.

KUMAR, S. S.; MANOJ, P.; SHETTY, N. P.; GIRIDHAR, P. Effect of different drying methods on chlorophyll, ascorbic acid and antioxidant compounds retention of leaves of *Hibiscus sabdariffa* L. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 9, p. 1812-1820, 2015.

LAJOLLO, F.; TANNENBAUM, S. R.; LABUZA, T. P. Reaction at limited water concentration. 2. Chlorophyll degradation. **Journal of Food Science**, v. 36, n. 6, p. 850-853, 1971

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 39, n. 3, p. 227-242, 2003.

LANNES, S. C. da S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Brazilian journal of pharmaceutical sciences**, v. 39, n. 1, 2003.

LEWICKI, P. P. Design of hot air drying for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 4, p. 153-163, 2006.

- LIM, T. K. **Edible Medicinal and Non Medicinal Plants: Modified Stems, Roots, Bulbs.** Springer Verlag, Dordrecht, Netherlands, v. 9, 2014.
- LIN, H.H.; CHAN, K.C.; SHEU, J.Y.; HSUAN, S. W.; WANG, C. J.; CHENG, J. H. Hibiscus sabdariffa leaf induces apoptosis of human prostate cancer cells in vitro and in vivo. **Food Chemistry**, v. 132, n. 2, p. 880-891, 2012.
- LINDER, S. A Proposal for the Use of Standardized Methods for Chlorophyll Determinations in Ecological and Eco-physiological Investigations. **Physiologia plantarum**, v. 32, n. 2, p. 154-156, 1974.
- LISBÔA, C. G. C. de; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216-222, 2012.
- LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; Queiroz, A. J. de M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, 2013.
- LUZ, F. J. F.; Sá Sobrinho, A. F. **Vinagreira (*Hibiscus sabdariffa*)**. In: CARDOSO, M. O. (Coord.) Hortaliças não-convencionais da Amazônia. Brasília: Embrapa – SPI: Manaus: Embrapa CPAA, p. 63-69, 1997.
- MACIEL, M. J.; PAIM, M. P.; CARVALHO, H. H. C.; WIEST, J. M. Avaliação do extrato alcoólico de hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.) como fator de proteção antibacteriana e antioxidante. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 71, n. 3, p. 462-470, 2012.
- MADUREIRA, I. A.; MELO, R.M.F; SILVA FILHO, A. J. Q. CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA DO FIGO-DA-INDIA. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 13, p. 345-354.
- MAHADEVAN, N.; SHIVALI, K. P.; KAMBOJ, P. *Hibiscus sabdariffa* Linn: an overview. **Natural product radiance**, v. 8, n. 1, p. 77-83, 2009.
- MÁRQUEZ, S. O. Composición en macronutrientes, minerales y metales pesados en cálices de jamaica cultivada en el estado monagas. **Tecnología y pensamiento**, v. 3, n. 1-2, p. 61-75, 2008.
- MARTINS, C. R.; FARIAS, R. de M. Produção de alimentos x desperdício: Tipos, causas e como reduzir perdas na produção agrícola–Revisão. **Revista da FZVA**, v. 9, n. 1, 2002.
- MEDWECKA-KORNAŚ, A. *Hibiscus Rhodanthus* (Malvaceae)–An Interesting Plant Species In Southeastern Africa. **Polish Botanical Journal**, v. 58, n. 1, p. 325-335, 2013.
- MICHAILIDIS, P. A.; KROKIDA, M. K. Drying and Dehydration Processes in Food Preservation and Processing. **Conventional and Advanced Food Processing Technologies**, p. 1-32, 2015.

MOHAMED, B. B.; SULAIMAN, A. A.; DAHAB, A. A. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Sudan, cultivation and their uses. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 1, n. 6, p. 48-54, 2012.

MOHD-ESA, N.; HERN, F. S.; ISMAIL, A.; YEE, C. L. Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. **Food Chemistry**, v. 122, n. 4, p. 1055-1060, 2010.

MORAES, F. P. de. **Suco desidratado de caju (*Anacardium occidentale* L.) por atomização: caracterização físico-química, bioativa e estudo da vida de prateleira do produto**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

MORTON, J. F. Roselle. In **Fruits of warm climates**. Miami, USA: Florida Flair Books, p. 281-286, 1987.

MUNGOLE, A.; CHATURVEDI, A. *Hibiscus sabdariffa* L a rich source of secondary metabolites. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 6, n. 1, p. 83-87, 2011.

OLIVEIRA, A. do 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.

OLIVEIRA, A. S. FIGUERÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M.; BRITO, J. G. de. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 147-153, 2015.

PAIVA, C. L.; QUEIROZ, V. A. V.; RODRIGUES, J. A. S. Estudos sensoriais para determinação da vida de prateleira de barra de cereais com pipoca de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 302-311, 2012.

PALACIN, J. J. F.; LACERDA FILHO, A. F.; CECON, P. R.; MONTES, E. J. M. Determinações das curvas de secagem de milho nas espigas (*Zea mays* L.). **Engenharia na Agricultura, Viçosa**, v. 13, n. 4, p. 300-313, 2005.

PARAGINSKI, R. T.; TALHAMENTO, A.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Efeitos da temperatura nas alterações do teor de compostos com potencial antioxidante em grãos de milho durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 17, n. 2, p. 159-67, 2015.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; Fabbro, I. D. Secagem: Fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93-127, 2014.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 1, p. 97-103, 2003.

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.

PRASAD, K.; VAIRAGAR, P. R.; BERA, M. B. Temperature dependent hydration kinetics of *Cicer arietinum* splits. **Food research international**, v. 43, n. 2, p. 483-488, 2010.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Effect of microwave power on foam-mat drying of tomato pulp. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 16, n. 3, p. 238-244, 2014.

QI, Y.; CHIN, K. L.; MALEKIAN, F.; BERHANE, M.; GAGER, J. Biological characteristics, nutritional and medicinal value of roselle, *Hibiscus sabdariffa*. **Circular-Urban Forestry Natural Resources and Environment**, v. 604, p. 1-2, 2005.

RAFFAINI, A. C. G. G.; FADINI, A. L. Marise Bonifácio QUEIROZ. Efeito da adição do açúcar invertido do tempo de batimento nas características físicas de marshmallow. **Braz. J. Food Technol**, v. 6, n. 2, p. 359-364, 2003.

RAHARITSIFA, N.; GENOVESE, 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. E142-E151, 2006.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; PARVATHI, K.; RAGHAVAN, G. S. V.; ORSAT, V. Thin layer drying study on foamed mango pulp. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 2007.

RAMOS, D. D.; VIEIRA, M.C.; FORMAGIO, A. S. N.; CARDOSO, C. A. L.; RAMOS, D. D.; CARNEVALI, T. O. Atividade antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L. em função do espaçamento entre plantas e da adubação orgânica. **Ciência rural**, v. 41, n. 8, 2011.

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. **Drying Technology**, v. 24, n. 9, p. 1101-1108, 2006.

RIBEIRO, V. G.; ASSIS, J. D.; SILVA, F. F.; SIQUEIRA, P. P. X.; VILARONGA, C. P. P. Armazenamento de goiabas 'Paluma' sob refrigeração e em condição ambiente, com e sem tratamento com cera de carnaúba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 203-206, 2005.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. E. M.; BRITO NETO, J. F. SOFIATTI, V.; FRANÇA, F. V. D. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 325-329, 2012.

ROCHA, W. S.; LOPES, R. M.; SILVA, D. B.; VIEIRA, R. F.; SILVA, J.P.; AGOSTINI-COSTA, T. S. Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1215-1221, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2004.

RODRIGUES, S. da G. G. A contemporaneidade da gastronomia ludovicense:(Cuxá) X Big Mac/Mac Donald na cultura, identidade e tradição. **Revista Cambiassu**, Publicação Científica

do Departamento de Comunicação Social da Universidade Federal do Maranhão–UFMA, n. 4, p. 311, 2008.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos: Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, 2014.

ROSA, E. da S. **Características nutricionais e fitoquímicas em diferentes preparações e apresentações de Hibiscus sabdariffa L.(hibisco, vinagreira, rosela, quiabo-de-angola, caruru-da-guiné)-Malvaceae**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

ROSS, I. A. Hibiscus sabdariffa. In: **Medicinal plants of the world**. Humana Press, p. 267-275, 2003.

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

ŞAHIN-NADEEM, H.; DINÇER, C.; TORUN, M.; TOPUZ, A.; ÖZDEMİR, F. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **LWT-Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-Mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1798-1808, 2014.

SANGAMITHRA, A.; SIVAKUMAR, V.; KANNAN, K.; JOHN, S. G. Foam-Mat Drying of Muskmelon. **International Journal of Food Engineering**, v. 11, n. 1, p. 127-137, 2015.

SANGAMITHRA, A.; SIVAKUMAR, V.; SWAMY, G. J.; KANNAN, K. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2015.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 5, p. 517-525, 2004.

SANTOS, R. P.; CRUZ, A. C. F.; IAREMA, L.; KUKI, K. N.; OTONI, W. C. Protocolo para extração de pigmentos foliares em porta-enxertos de videira micropropagados. **Rev Ceres**, v. 55, p. 356-364, 2008.

SCHOEFS, B. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. **Trends in food science & technology**, v. 13, n. 11, p. 361-371, 2002.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.

SILVA, A. S. A.; GURJÃO, K. C. D. O.; ALMEIDA, F. D. A. C. D.; BRUNO, R. D. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciênc. agrotec.,(Impr.)**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SILVA, J. M.; ONGARELLI, M. G, AGUILA, J. S.; SASAKI, F. F.; KLUGE, R. A. Métodos de determinação de clorofila em alface e cebolinha minimamente processadas. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 8, n. 2, p. 53-59, 2007.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SILVA, R. da, GOMES, R. N.S; FIGUEIRÊDO, M. F. de. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, 2005.

SILVA, V. K. L.; PINHEIRO, É. S.; DOMINGUES, M. A. F.; AQUINO, A. C.; FIGUEIREDO, E. A.; COSTA, J. M. C.; CONSTANT, P. B. L. Efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 55-65, 2010.

SINGH, G.; PASSSARI, A. K.; LEO, V. V.; MISHRA, V. K.; SUBBARAYAN, S.; SINGH, B. P.; NACHIMUTHU, S. K. Evaluation of phenolic content variability along with antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic potential of selected traditional medicinal plants from India. **Frontiers in plant science**, v. 7, 2016

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA JR, A.; FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOUSA, C. M. M.; SILVA, H. R.; VIEIRA-JR, G. M.; AYRES, M. C. C.; COSTA, C. L. S.; ARAÚJO, D. S.; CHAVES, M. H.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAUJO, P. B. M.; BRADÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

SOUZA, J. M. L. D.; ÁLVARES, V. D. S.; LEITE, F. M. N.; REIS, F. S.; FELISBERTO, F. Á. V. Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no vale do Juruá, Acre. **Acta Amazonica, Manaus**, v. 38, n. 4, p. 761-766, 2008.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu** (*theobroma grandiflorum*). Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetinga, 2011.

SRAMEK, M.; SCHWEIGGERT, R. M.; KAMPEN, A.; CARLE, R.; KOHLUS, R. Preparation of High-Grade Powders from Tomato Paste Using a Vacuum Foam Drying Method. **Journal of food science**, v. 80, n. 8, p. E1755-E1762, 2015.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. D.; HECKTHEUER, L. H. H. The chlorophylls. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TABE, F. N.; YANOU, N. N.; KAMDJE, A. H. N.; NTSO, A. S. A. Calyx Juice of Hibiscus sabdariffa Linn (Malvaceae): A Possible Therapeutic Supplement to Antiretroviral Drugs. **Journal of Diseases and Medicinal Plants**, v. 1, n. 4, p. 59-67, 2015.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

VIZZOTTO, M.; PEREIRA, M. C. **Hibisco**: do uso ornamental ao medicinal, Jan. 2010. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43144/1/hibisco-uso-ornamental-2010.pdf>>. Acesso em: 10 abril. 17.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009.

WIDYASTUTI, T. E. W; SRIANTA, I. Development of functional drink based on foam-mat dried papaya (*Carica papaya* L.): optimisation of foam-mat drying process and its formulation. **International Journal of Food, Nutrition and Public Health**, v. 4, n. 2, p. 167-176, 2011.

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.

YANG, J.; GADI, R.; PAULINO, R.; THOMSON, T. Total phenolics, ascorbic acid, and antioxidant capacity of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and powder as affected by illumination during storage. **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 627-632, 2010.

ZOTARELLI, L.; CARDOSO, E. G.; PICCININ, J. L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; TORRES, E.; ALVES, B. J. R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1117-1122, 2003.

ZHEN, J.; VILLANI, T. S.; GUO, Y.; QI, Y.; CHIN, K.; PAN, M. H.; WU, Q. Phytochemistry, antioxidant capacity, total phenolic content and anti-inflammatory activity of *Hibiscus sabdariffa* leaves. **Food chemistry**, v. 190, p. 673-680, 2016.

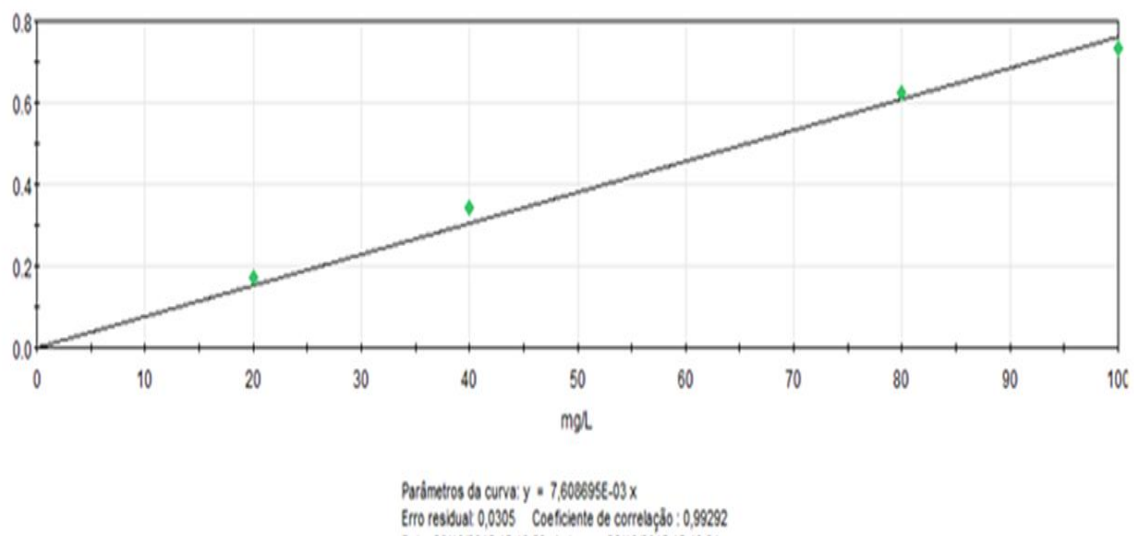
APÊNDICES

A - Curva de calibração de ácido gálico

B - Ficha II utilizada no teste de aceitação do cuxá

C- Ficha I utilizada no teste de aceitação do cuxá

Apêndice A - Curva de calibração de ácido gálico



Apêndice B - Ficha II utilizada no teste de aceitação do cuxá

FICHA II

Nome: _____ Data: _____

1) Você está recebendo uma amostra de Cuxá. Por favor, prove-a e avalie cada item segundo a escala abaixo.

- 9 – gostei extremamente
- 8 – gostei muitíssimo
- 7 – gostei moderadamente
- 6 – gostei levemente
- 5 – não gostei nem desgostei
- 4 – desgostei levemente
- 3 – desgostei moderadamente
- 2 – desgostei muitíssimo
- 1 – desgostei extremamente

Item	Código da amostra:	Código da amostra:	Código da amostra:
Aparência			
Aroma			
Cor			
Textura			
Sabor			
Aceitação Global			

Comentários:

Apêndice C - Ficha I utilizada no teste de aceitação do cuxá



FICHA I

Por favor, preencha o questionário com todas as informações solicitadas.

1) Nome: _____

2) Idade: _____

3) Sexo: () Feminino () Masculino

4) Fumante: () Sim () Não

;

5) Utilizando a escala abaixo, indique o quanto você gosta ou desgosta de Cuxá:

(9) Gosto muitíssimo

(8) Gosto muito

(7) Gosto moderadamente

(6) Gosto ligeiramente

(5) Nem gosto / nem desgosto

(4) Desgosto ligeiramente

(3) Desgosto moderadamente

(2) Desgosto muito

(1) Desgosto muitíssimo

6) Com que frequência, em média, você consome Cuxá:

() não consumo

() 1 vez por mês

() 1 vez por quinzena

() 1 vez por semana

() 2 a 3 vezes por semana

() 4 vezes por semana ou mais



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

TERMO DE REPRODUÇÃO XEROGRÁFICA

Autorizo a reprodução xerográfica do presente Trabalho de Conclusão, na íntegra ou em partes, para fins de pesquisa.

São José do Rio Preto, ____/____/____

Assinatura do autor