



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**

GUTTO MONZELLE RIOS MARQUES

**SECAGEM DE CALDO DE CANA EM LEITO DE
ESPUMA E AVALIAÇÃO SENSORIAL DO PRODUTO**

**ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
2009**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

GUTTO MONZELLE RIOS MARQUES

**SECAGEM DE CALDO DE CANA EM LEITO DE ESPUMA E AVALIAÇÃO
SENSORIAL DO PRODUTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de processos de Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Profº D.Sc. Arienilmar Araújo Lopes da Silva

**ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
2009**

664.804 Marques, Gutto Monzelle Rios.
M817s Secagem de caldo de cana em leite de espuma e avaliação sensorial do produto. / Gutto Monzelle Rios Marques. – Itapetinga-Ba: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, 2009.
84p. II.

Dissertação do Programa de Pós-Graduação “*Strictu Senso*” do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. Sob a orientação do Profº D.Sc. Arienilmar Araújo Lopes da Silva.

Dissertação revisada e normalizada por Rogério Pinto de Paula – CRB1746-6 Reg.

1. Engenharia de Processos de Alimentos – Caldo de cana de açúcar. 2. Caldo de cana – Secagem – Avaliação sensorial. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos de Alimentos. II. Silva, Arienilmar Araújo Lopes da (Orientador). III. Título.

CDD(21): 664.804

Catálogo na Fonte:

Rogério Pinto de Paula – CRB 1746-6 Reg.
Diretor da Biblioteca Regina Célia Ferreira Silva – BIRCEFS
Presidente do Conselho de Bibliotecas da UESB
Assessor de Cultura e Extensão - ASCULTE
UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramentos por Assunto:

1. Engenharia de Processos de Alimentos – Caldo de cana de açúcar;
2. Caldo de cana – Secagem – Avaliação sensorial.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS
Área de Concentração Engenharia de Processos de Alimentos

Campus de Itapetinga-BA

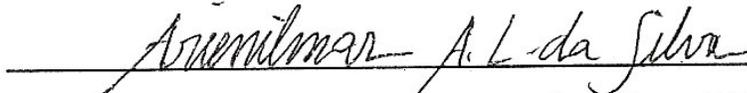
TERMO DE APROVAÇÃO

Título: “Secagem de caldo de cana em leite de espuma e avaliação sensorial do produto”.

Autor: Gutto Monzelle Rios Marques

Orientador: Profº D.Sc. Arienilmar Araújo Lopes da Silva

Aprovada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos, área de concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, pela banca examinadora:


Prof. Arienilmar Araújo Lopes da Silva, DSc., UESB


Profª. Ronielli Cardoso Reis, DSc., UESB


Profª. Luciana Alves de Oliveira, DSc., EMBRAPA

Data da defesa: 25/09/2009.

UESB - Campus Juvino Oliveira, Praça Primavera nº 40 – Telefone: (77) 3261-8629
Fax: (77) 3261-8701 – Itapetinga – BA – CEP: 45.700-000 – E-mail: ppgeal@uesb.br

*Dedico este trabalho Àquele que por noites
me ouviu, e por dias me escutou, que de
consolo me encheu quando as lutas me
eram muitas!*

*Dedico Àquele que enxugou minhas
lágrimas quando eu já não tinha como
contê-las. Dedico este trabalho, assim
também como dedico a minha força, dedico
também a minha alegria, como também o
meu amor, como também a minha paz, e a
minha inteligência.*

*O meu suspiro seja a Ti, Senhor Meu Deus!
Que desde o ventre da minha mãe, me
cobriu de amor e fez Sua glória ser vista
sobre mim por meio do dom da vida que me
destes!*

DEDICO!

Agradeço a Deus pelo imenso amor incondicional sobre minha vida.

Agradeço a Rosa, meu grande amor, que se dedicou prontamente nas horas mais fáceis e difíceis, também! Que comigo amou esse projeto desde o início.

Agradeço a meus pais, que mesmo quando pareceu que eu não iria conseguir, nunca tiveram ‘sombras de dúvidas’ sobre meu talento.

Agradeço a minha irmã Akhemi pelo seu incentivo.

Agradeço aos meus fieis companheiros de curso que me incentivaram e compartilharam emoções, dúvidas, tristezas, alegrias, decepções. Obrigado: Calila Teixeira, Ivan, Alexandra, Jaime, Eliza e Ellen.

Obrigado a todos os meus professores que fizeram parte dessa etapa e que me ensinaram o ‘caminho das pedras’ como, também, solidificaram o meu conhecimento.

Obrigado a meus companheiros de trabalho. Obrigados a todos do HBLEM – Hospital de Base de Itabuna, que sempre acreditaram e me incentivaram nesta faina.

Obrigado a meus queridos e estimados, digo também, inseparáveis amigos Brunno (Kardozinhu), Jorge Teles e Thiago Habib. Sempre presente e atuantes neste processo de aprendizagem e aprimoramento.

Obrigados, e obrigados, também sejam dados ao meu orientador, que me incentivou e mostrou a clareza e objetividades de uma dissertação de mestrado.

Obrigado a Seu Jeremias, o “homi do caldo de cana” de Itapetinga, que sempre e prontamente com sua cana de açúcar produzia o mais delicioso caldo de cana.

AGRADEÇO!

Se fracassar, ao menos que fracasse ousando grandes feitos, de modo que a sua postura não seja nunca a dessas almas frias e tímidas que não conhecem nem a vitória nem a derrota.
(Theodore Roosevelt)

Eu não me importo com o que os outros pensam sobre o que eu faço, mas eu me importo muito com o que eu penso sobre o que eu faço. Isso é caráter. (Theodore Roosevelt)

Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor, lembre-se: se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo. (Albert Einstein)

Se realmente entendemos o problema, a resposta virá dele, porque a resposta não está separada do problema.
(Jiddu Krishnamurti)

O temor do Senhor é o princípio da sabedoria, os tolos desprezam sabedoria e disciplina.
(Provérbios de Salomão)

RESUMO

MONZELLE, G. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. Itapetinga-BA: UESB, 2009. 84p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Alimentos).*

A técnica de secagem em leito espuma representa uma possibilidade de transformação do caldo de cana em um pó com qualidade sensorial, sendo uma alternativa para as micro e pequenas empresas por ser mais barata e simples quando comparada a outros métodos de secagem para alimentos líquidos: secagem pulverizada, com tambor rotativo e liofilização. Objetivou-se com essa pesquisa obter um pó a partir de espuma de caldo de cana, estudando sua cinética de secagem e características do pó. Foi feita a caracterização da matéria-prima por meio das análises de temperatura, medida de pH, acidez total titulável, densidade, teor de sólidos solúveis, teor de umidade e atividade de água. Para formação da espuma foram testadas combinações entre os aditivos Emustab[®] (E), Super Liga Neutra[®] (SLN), Goma Carragena, Carbonato de Cálcio (CC) e Fosfato de Cálcio. Estes aditivos foram testados na concentração de 5% conforme as análises de formação de espuma, expansão, estabilidade, sinérese, densidade e umidade da espuma, formação de pó, umidade e rendimento de pó e curva de secagem. A melhor combinação possuía os aditivos E, SLN e CC. Posteriormente a melhor combinação foi submetida a um teste para redução da concentração dos aditivos, com concentração variando entre 1,75 e 5,25 % e avaliada pelas mesmas análises realizadas no teste de combinação de aditivos. Sua cinética de secagem foi estudada em três temperaturas: 50, 60 e 70°C ajustadas por regressão não-linear nos Modelos de Page, Henderson e Newton. O produto em pó foi caracterizado por meio das análises de teor de umidade, atividade de água, índice de solubilidade em água e análise sensorial. As espumas testadas apresentaram boas características para uma secagem convectiva com expansão de espuma de até 200,79 %, densidade baixa inferior a 0,560 g/mL, com 0 % de sinérese e estabilidade de até 100%. O uso de SLN concedeu a espuma maior estabilidade e menor sinérese e o rendimento de pó foi alto devido ao leito não perfurado utilizado para a secagem da espuma. Na cinética da secagem observou-se que não há taxa de secagem constante e o Modelo de Page foi o mais adequado para descrever esse fenômeno, com coeficientes de determinação superiores a 0,9975. A umidade em base seca do pó teve uma redução de 99,23% e a atividade de água de 63,62 %. A solubilidade do produto em forma de flocos foi de 100 % e maior que a solubilidade do pó que foi de 90,53 %. A análise sensorial mostrou numa escala hedônica de 1 a 7 médias iguais a 5,88 para o atributo impressão global, 5,87 para o aroma, 5,79 para a aparência, 5,60 para o sabor e para a cor 5,45. Concluiu-se que a secagem em leito espuma do caldo de cana produz um produto com boas características de pó e com qualidade sensorial para ser consumido e adquirido pela maioria dos provadores.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*, cinética, pó, suco, aditivos.

* Orientador: Prof^o D. Sc. Arienilmar Araújo Lopes da Silva, UESB.

ABSTRACT

MONZELLE, G. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. Itapetinga-BA:UESB, 2009. 84p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Alimentos).*

The technique of foam mat drying is a possibility of transforming sugar cane juice into a powder with sensory quality, and an alternative to micro and small enterprises to be cheaper and simpler when compared to other methods of drying liquid food: drying sprayed with rotating drum and freeze drying. The objective of this research to obtain a powder from the foam of sugarcane juice, studying the drying kinetics and characteristics of the powder. Was made to characterize the raw material through the analysis of temperature, measure pH, total acidity, density, soluble solids, moisture content and water activity. For formation of foam will be tested a combination of additives Emustab[®] (E), Super Liga Neutra[®] (SLN), Carrageenan Gum, Calcium Carbonate (CC) and Calcium Phosphate. These additives were tested at a concentration of 5% according to analysis of foaming, expansion, stability, syneresis, density and moisture of the foam, dust, moisture and yield of powder and drying curve. The best combination had additives E, SLN and CC. Subsequently, this combination was subjected to a test for reducing the concentration of additives with concentrations ranging from 1.75 to 5.25% and evaluated by the same analysis performed on the test combination of additives. Its drying kinetics was studied at three temperatures: 50, 60 and 70 °C adjusted for non-linear regression models in Page, Henderson and Newton. The powder was characterized by the analysis of moisture content, water activity, rate of water solubility and sensory analysis. The foams tested showed good characteristics for a convective drying with expanding foam to 200.79%, low density less than 0.560 g/mL, with 0% syneresis and stability up to 100%. The use of SLN granted the foam more stable and less syneresis and yield of powder was high due to the non-perforated mat used for drying the foam. In the kinetics of drying was observed that there is no drying rate constant and the Page model was most appropriate to describe this phenomenon, with determination coefficients higher than 0.9975. Moisture on a dry powder was reduced by 99.23% and water activity of 63.62%. The solubility of the product in the form of flakes was 100%. The test showed a hedonic scale from 1 to 7 average equal to 5.88 to attribute the overall impression, 5.87 for aroma, 5.79 for appearance, 5.60 for flavor and color 5.45. It was concluded that the foam bed drying of sugarcane juice produces a product with good characteristics of dust and sensory quality to be purchased and consumed by most tasters.

Key words: *Saccharum officinarum*, kinetics, powder, juice, additives.

* Adviser: Arienilmar Araújo Lopes da Silva, D.Sc., UESB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma geral de execução do experimento.	34
Figura 2- Pontos de estados do ar de secagem usados na coleta de dados de temperatura do ar de secagem.	37
Figura 3- Ficha do perfil do consumidor de caldo de cana.	49
Figura 4- Ficha do teste afetivo da avaliação sensorial do caldo de cana em pó.	500
Figura 5- Espuma do caldo de cana seca desprendida completamente do leito de secagem. ..	58
Figura 6- Leito de secagem após a retirada da espuma seca de caldo de cana.	58
Figura 7- Ajuste empírico do Modelo de Page para secagem à temperatura de 60 °C.....	59
Figura 8- Volume coalescido da espuma do caldo de cana à temperatura ambiente (27 °C), 50, 60 e 70 °C com ajustes matemáticos para o modelo sigmoidal.....	62
Figura 9- Ajuste empírico do Modelo de Page da formulação selecionada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.	64
Figura 10- Ajuste empírico do Modelo de Henderson da formulação selecionada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	65
Figura 11- Ajuste empírico do Modelo de Newton para formulação selecionada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	66
Figura 12- Evolução da taxa de secagem da espuma do caldo de cana a 70°C no tempo.	67
Figura 13- Curva Característica de Secagem da espuma do caldo de cana nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.	68
Figura 14- Flocos (esquerda) e pó de caldo de cana desidratado em leito de espuma.	70
Figura 15- Análise do Perfil Sensorial dos consumidores de caldo de cana que participaram do julgamento do caldo de cana em pó reconstituído em água.....	73
Figura 16- Preferência do consumo de suco ácido com caldo de cana.....	73
Figura 17- Sexo dos provadores desta pesquisa.	73
Figura 18- Idade (anos) dos provadores de caldo de cana.	73
Figura 19- Médias das notas para cada atributo avaliado obtidas pela análise sensorial.	74
Figura 20- Histograma de frequência das notas da análise sensorial para cada atributo analisado.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição centesimal do caldo de cana.	22
Tabela 2- Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.....	32
Tabela 3- Formulações (% m/m) das espumas de caldo de cana que foram usadas no teste de combinação de aditivos.	39
Tabela 4- Formulações (% m/m) das espumas de caldo de cana que foram usadas no teste de concentração de aditivos.	44
Tabela 5- Caracterização físico-química do caldo de cana pasteurizado.....	51
Tabela 6- Médias dos parâmetros do caldo de cana e da espuma submetidos ao teste de combinação de aditivos.....	53
Tabela 7- Médias dos parâmetros do caldo de cana e da espuma submetidos ao teste de concentração de aditivos.....	55
Tabela 8- Dados da curva e Secagem, RU x Tempo, dos tratamentos submetidos ao teste de concentração de aditivos e os parâmetros do Modelo de Page e coeficiente de determinação.	60
Tabela 9- Parâmetros do ajuste Sigmoidal para a estabilidade na temperatura ambiente (27 °C), 50, 60 e 70 °C.	62
Tabela 10- Equações matemáticas e parâmetro do Modelo de Page na temperatura de 50, 60 e 70 °C.....	64
Tabela 11- Equações matemáticas e parâmetro do Modelo de Henderson na temperatura de 50, 60 e 70 °C.	65
Tabela 12- Equações matemáticas e parâmetro do Modelo de Newton na temperatura de 50, 60 e 70 °C.	66

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A – área da superfície de secagem (m^2)
a, b, k, k_1 , k_2 , X_0 – parâmetros dos modelos matemáticos
 A_a – atividade de água
ATT – Acidez Total Titulável
A/O – água em óleo
BPF – boas práticas de fabricação
CMC – carboximetil-celulose
d – densidade
D – difusividade
Densid – densidade ($g \cdot mL^{-1}$)
 d_{esp} – densidade da espuma
 d_g – densidade da garapa
dt – variação do tempo (min).
dX – variação da umidade em base seca ($kg_{\text{água}}$);
Estab – estabilidade (mL)
Exp – Expansão da espuma (%)
Há – umidade do ar saturado ($kg_{\text{vapor}} \cdot kg_{\text{ar}}^{-1}$)
 H_s – umidade do ar de secagem ($kg_{\text{vapor}}/kg_{\text{ar}}$)
ISA – Índice de Solubilidade em água
 K_g – coeficiente de transferência de massa ($kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)
 λ – calor latente de vaporização da água (KJ/m^3)
L – espessura (m)
 L_0 – espessura inicial (m)
m – massa (g)
NMP – número mais provável
O/A – óleo em água
 ρ_s – densidade aparente (k/m^3)
PTC – período de taxa constante
PTD – período de taxa decrescente
Rend – rendimento de pó (%)
RU – Razão de umidade
Sinér – Sinérese (%)

t – tempo (h)
T – temperatura de bulbo seco (° C)
T_s – temperatura da superfície da espuma (° C)
Temp – temperatura (° C)
Trat – tratamento
TSS – Teor de Sólido Solúveis
T_x – Taxa de secagem (kg água.kg massa seca⁻¹)
U_{ar} – umidade do ar (%)
U_{bs} – umidade da caldo de cana em base seca (%_s)
U_{bu} – umidade do caldo de cana em base úmida (%)
U_{eq} – umidade de equilíbrio (%)
U_{esp} – umidade da espuma em base seca (%_{bs})
U_{pó} – umidade do pó em base seca (%_{bs})
V – volume (mL)
V_c – volume coalescido da espuma (mL)
V_{esp} – volume da espuma (mL)
V_g – volume da garapa (mL)
X – umidade da amostra (%_{bs})
X₀ – umidade inicial da amostra (%_{bs})
X_e – umidade de equilíbrio (%_{bs})

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
	2.1 Objetivo geral.....	19
	2.2 Objetivos específicos	19
3	REVISÃO DA LITERATURA	20
	3.1 Cana-de-açúcar.....	20
	3.2 Caldo de cana-de-açúcar	21
	3.3 Espumas alimentícias.....	24
	3.4 Aditivos: estabilizantes, emulsificantes e antiumectantes	24
	3.4.1 Estabilizante.....	24
	3.4.2 Emulsificante	25
	3.4.3 Antiumectante.....	25
	3.5 Secagem.....	26
	3.5.1 Secagem em leito de espumas - Conceito, aplicação, vantagens e desvantagens.....	27
	3.5.2 Parâmetros da cinética de secagem de espumas	28
	3.5.3 Modelagem de secagem em leito espuma	29
	3.5.3.1 Modelagem teórica da secagem.....	29
	3.5.3.2 Modelagem empírica da secagem.....	31
4	MATERIAL E MÉTODOS	33
	4.1 Matéria-prima.....	33
	4.1.1 Preço de custo	34
	4.1.2 Temperatura da amostra	35

4.1.3	Medida de pH.....	35
4.1.4	Acidez Total Titulável (ATT).....	35
4.1.5	Densidade (d).....	35
4.1.6	Teor de Sólidos Solúveis (TSS).....	35
4.1.7	Umidade (U_{bs}).....	36
4.1.8	Atividade de Água (A_a).....	36
4.2	Aditivos	36
4.3	Equipamentos e utensílios	36
4.3.1	O secador	36
4.3.2	Bandejas de secagem.....	37
4.3.3	A batedeira.....	38
4.3.4	O triturador	38
4.4	Preparo da espuma	38
4.5	Seleção da melhor combinação de aditivos	39
4.5.1	Formação de espuma.....	40
4.5.2	Expansão da espuma	40
4.5.3	Estabilidade.....	40
4.5.4	Sinérese	41
4.5.5	Densidade (d).....	41
4.5.6	Umidade da espuma (U_{esp})	41
4.5.7	Formação de pó.....	41
4.5.8	Umidade do pó ($U_{pó}$)	42
4.5.9	Rendimento de pó (Rend).....	42
4.5.10	Curva de Secagem.....	42
4.5.11	Delineamento experimental e análise estatística.....	42
4.6	Determinação da concentração mínima	43
4.6.1	Estágios de seleção da melhor formulação.....	44
4.6.2	Delineamento experimental e análises estatísticas	44
4.7	Estudo da espuma da formulação selecionada	45
4.7.1	Estabilidade.....	45

4.7.2	Cinética de secagem.....	45
4.7.3	Modelagem empírica da secagem.....	47
4.7.4	Modelagem teórica da secagem.....	47
4.8	Avaliação dos parâmetros de qualidade do produto caldo de cana em pó...	48
4.8.1	Atividade de água (A_a) do produto	48
4.8.2	Umidade do produto em pó ($U_{pó}$)	48
4.8.3	Índice de solubilidade em água (ISA).....	48
4.8.4	Análise sensorial	49
4.8.5	Delineamento experimental e estatístico.....	50
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	51
5.1	Caracterização da Matéria-prima.....	51
5.2	Estudo da combinação de aditivos	52
5.3	Seleção da concentração de aditivos.....	55
5.3.1	Caracterização da espuma	55
5.3.2	Secagem da espuma de caldo de cana.....	59
5.4	Estudo da formulação selecionada	61
5.4.1	Estabilidade da espuma	61
5.4.2	Cinética de secagem da formulação selecionada.....	63
5.4.3	Modelagem teórica.....	67
5.4.4	Caracterização do produto caldo de cana	69
5.4.4.1	Atividade de água	70
5.4.4.2	Índice de Solubilidade em Água.....	70
5.4.4.3	Análise sensorial	71
6	CONCLUSÃO	75
7	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Sacharum ssp*) é uma das gramíneas mais cultivadas nas regiões tropicais e subtropicais devido à grande contribuição socioeconômica que sua exploração representa em razão de armazenar grande quantidade de sacarose (STUPIELLO, 1987).

Além de produzir açúcar, álcool combustível, cachaça, servir para alimentação animal cana-de-açúcar pode ainda ser utilizada para a produção de garapa ou caldo de cana, servido imediatamente após a moagem em moedores elétricos ou manuais Braz (2003) citado por Silva (2004).

De acordo com Soccol *et al.* (1990), o mercado de caldo de cana, é caracterizado pela venda através de ambulantes, quase sempre sem as mínimas condições higiênico-sanitárias necessárias à manipulação de alimentos. O nível de contaminação microbiológica nas amostras ultrapassou o limite máximo de 10 NMP / ml estabelecido pelo Ministério da Saúde para coliformes fecais, totais e estreptococos, sendo maiores que 11 NMP / ml para estes microrganismos.

Em razão da facilidade na comercialização, há um aumento na procura, pelo mercado, de produtos estáveis à temperatura ambiente. No entanto, para se obter produtos cuja comercialização possa ser feita sem a necessidade da cadeia de frio, estes precisam receber processos de industrialização adequados para torná-los estáveis quanto às alterações microbiológicas e enzimáticas.

Uma técnica muito utilizada atualmente para se manter a qualidade e estabilidade dos alimentos, sem a necessidade da cadeia do frio, é a secagem por ar aquecido. Este é um processo antigo utilizado para preservar alimentos, no qual a sua umidade é removida. Apesar de garantir a estabilidade do alimento por longos períodos de estocagem, decréscimos na qualidade do produto final podem ser observados tais como: dureza excessiva, degradação da cor, aroma e sabor (SOUZA NETO *et al.*, 2005).

Em 1959 surgiu a técnica “foam-mat” que em português se traduz por “espuma-esteira” e, tecnicamente, significa secagem em leito de espuma. Com essa técnica, desenvolvida por Morgan e sua equipe, alimentos líquidos podem ser transformados em pó utilizando agentes emulsificantes com vantagens de ser mais simples, secagem mais rápida, custo operacional menor, possibilita o uso de temperaturas mais baixas durante a secagem, preservando melhor o sabor e o valor nutricional (BERISTAIN *et al.*, 1991; FRANCIS, 2000).

Esta técnica é aplicada em muitos alimentos sensíveis ao calor e líquidos ou na forma de purês, como os sucos de frutas (KARIM & WAI, 1999). Os produtos obtidos são de boa qualidade e o processo tende a ser relativamente rápido (BERISTAIN *et al.*, 1991), mantendo uma alta qualidade dos produtos, oferecendo grandes possibilidades comerciais, podendo ser aplicada em café, sucos de laranja, ameixa, maçã, uva, carambola, abacaxi, umbu-cajá, coco, batatas, alimento para crianças, leites, purês, sopas, cremes, ovos, tomate e outros produtos instantâneos (UBOLBI, 1971; SOARES *et al.*, 2001; VERNON-CARTER *et al.* 2001; SANKAT e CASTAIGNE, 2004; SILVA *et al.*, 2005).

A técnica de secagem em leito espuma representa uma possibilidade de transformação do caldo de cana em pó para conservação e consumo como suco através da posterior reconstituição em água, com qualidade sensorial. Além disso, representa uma alternativa para as micro e pequenas empresas comparada a outros métodos de secagem para alimentos líquidos, como a secagem pulverizada (spray drying), secagem com tambor rotativo (drum drying) e liofilização (freezing drying), por ser mais barata e simples.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Obter caldo de cana em pó por meio de secagem em leito de espuma e avaliar a qualidade do produto.

2.2 Objetivos específicos

- * Caracterização da matéria-prima.
- * Selecionar a melhor combinação de aditivos para formação de espuma.
- * Avaliar diferentes concentrações de aditivos.
- * Caracterizar a formulação selecionada.
- * Estudar a cinética de secagem, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, da formulação selecionada de caldo de cana.
- * Caracterização do pó de caldo de cana e análise sensorial do produto reconstituído em água.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Cana-de-açúcar

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) é um importante fator socioeconômico, desde sua introdução nos primeiros séculos após o descobrimento até os dias atuais. Desde 1532 há referências de cultivo da cana e produção de açúcar no Nordeste brasileiro, especificamente no Estado de Pernambuco onde se implantou o primeiro centro açucareiro do Brasil. A região apresentava como vantagens o fato de possuir terra e clima favoráveis à cultura da cana, e a localização geográfica, mais próxima da Europa em relação à região de São Vicente (São Paulo), outro centro que se destacou como produtor de açúcar no Brasil Colonial (TRUDA, 1971; PINTO, 1965).

A agroindústria do açúcar é uma das mais importantes do mundo e a brasileira ocupa uma posição privilegiada de um dos maiores produtores mundiais (PINTO, 1965).

A fim de se obter plantas cada vez mais resistentes às pragas e com alta produtividade, uma série de variedades foi desenvolvida visando à obtenção de plantas com características agrônômicas especiais de produtividade, rusticidade, resistência a pragas e doenças além de características industriais como alto teor de sacarose e médio teor de fibras (STUPIELLO, 1987).

A cana-de-açúcar como matéria prima é atualmente caracterizada como colmos em estágio adiantado de maturação, sadios, recém cortados, normalmente despontados e livres de matéria estranha. Sua composição química é muito variável, em função das condições climáticas, das propriedades físicas, químicas e microbiologias do solo, tipo de cultivo, da variedade, do estágio de maturação e da idade, bem como de muitos outros fatores (STUPIELLO, 1987).

Segundo Stupiello (1987), dentre os fatores responsáveis pela qualidade da cana-de-açúcar destacam-se: o estágio de maturação, o teor de matéria estranha, o estado de conservação, a sanidade da matéria-prima.

A cana-de-açúcar no decorrer de seu ciclo atravessa dois períodos distintos com relação ao teor de sacarose. O primeiro é assinalado por um intenso crescimento vegetativo acompanhado por uma gradual formação de sacarose, enquanto que no segundo ocorre um predominante acúmulo de sacarose, devido à escassez dos principais fatores de

desenvolvimento vegetativo. O processo de maturação é afetado por vários fatores naturais como a própria variedade, condições climáticas e tipo de solo. Imediatamente após o corte da cana iniciam-se os processos de deterioração, que podem ser de ordem tecnológica, fisiológica e microbiológica. Esta última é a mais importante em termos industriais, pois influenciam na fabricação de açúcar e álcool. A deterioração microbiológica da cana é decorrente da atividade microbiana iniciada após a queima e corte, resultando na formação de substâncias indesejáveis como dextranas (gomas) e ácidos orgânicos (lático e acético). O grau de deterioração é função do tempo decorrido entre o corte e o processamento da matéria-prima (STUPIELLO, 1987).

3.2 Caldo de cana-de-açúcar

Além da produção de açúcar, álcool e aguardente, a cana-de-açúcar é muito utilizada para a produção de garapa (caldo de cana), muito apreciada pelo consumidor brasileiro. É uma bebida energética, refrescante, não alcoólica e acima de tudo de baixo custo, se comparada com outras bebidas industrializadas (SOCCOL *et al.*, 1990).

Grande parte do caldo de cana consumido no Brasil é comercializado por vendedores ambulantes que utilizam moendas para extração que estão distribuídas em vários pontos das grandes e pequenas cidades. A grande maioria não possui instalações compatíveis, assim como informações adequadas, que permitam a obtenção do produto em condições higiênico-sanitárias apropriadas (SOCCOL *et al.*, 1990).

O caldo de cana é obtido por extração em moedores elétricos, ou manuais, coado em peneiras metálicas ou de nylon e servido com gelo, podendo ser consumido puro ou com suco de limão, abacaxi ou até maracujá. No entanto, nem sempre estas condições são adequadas sob o ponto de vista higiênico-sanitário, ficando o consumidor sujeito às possíveis contaminações que o produto venha trazer. Além disso, o caldo de cana extraído tem vida útil muito reduzida. Em função de sua rica composição química, é um meio adequado ao crescimento e desenvolvimento de microrganismos. Em 24 horas, mesmo sob refrigeração, já apresenta sinais de alteração de sabor e aparência (YUSOF *et al.*, 2000). A perda de qualidade do produto é principalmente devida à sua fermentação, que resulta em um produto ácido (BHUPINDER *et al.*, 1991).

O caldo de cana é definido como uma solução impura e diluída de sacarose, sendo sua composição média descrita na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição centesimal do caldo de cana.

Componentes do caldo	% do caldo	% dos sólidos solúveis totais
Água	75 a 82	
Sólidos solúveis totais	18 a 25	
Açúcares totais	15,5 a 24	75 a 92
sacarose		70 a 80
glicose		2 a 4
frutose		2 a 4
Constituintes minerais		
cálcio		0,2
magnésio		0,28
fósforo		0,4
Ácidos orgânicos		
Ácido cítrico		0,18
ácido carboxílico		1,54

Fonte: Adaptado de STUPIELLO, 1987.

Algumas referências revelam grande interesse em desenvolver tecnologias que possam manter as características do caldo fresco e preservar suas características por um período prolongado, podendo assim ser comercializado sob condições higiênico-sanitárias melhores oferecendo ao consumidor um produto de melhor qualidade e com segurança (SILVA, 2004).

Sivasubramanian & Pai (1994), com o objetivo de estudar diferentes formas de tratamento térmico e sua influência na qualidade do caldo de cana, submeteram a cana a diferentes tratamentos de branqueamento a vapor e obtiveram melhores resultados com o branqueamento feito após um descascamento parcial das canas. O tratamento térmico do caldo, que mostrou melhores resultados em termos sensoriais, foi o processo *High Temperature Short Time* (HTST), em razão à sua alta taxa de transferência de calor e resfriamento, que não permitiu a formação de produtos de degradação. O branqueamento inicial garantiu uma melhor coloração do produto, verde amarelado. O descascamento parcial associado ao tratamento térmico, possivelmente inativou o complexo polifenol-oxidase, que é responsável pela oxidação dos compostos fenólicos presentes na cana, causando assim um escurecimento do caldo extraído.

Há pelo menos quatro mecanismos que podem contribuir para o escurecimento do caldo de cana durante seu processamento (BUCHELI; ROBINSON, 1994):

- a) Formação de melanoidinas, provenientes da reação de Maillard, entre açúcares redutores e aminoácidos presentes na cana;

- b) Degradação térmica e reações de condensação de açúcares (caramelização);
- c) Degradação alcalina e reação de condensação de açúcares redutores;
- d) Reações oxidativas de compostos fenólicos.

A garapa, se estocada, necessita ser clarificada, pois minutos após a sua extração adquire coloração bastante escura devido à oxidação de seus componentes (especialmente, clorofila e polifenóis). Tal fato pode influenciar negativamente o consumidor na aquisição desta bebida (PRATI, MORETTI & CARDELLO, 2005).

Bucheli & Robinson (1994) estudaram a contribuição enzimática no escurecimento do caldo de cana, bem como a contribuição relativa de cada uma das enzimas polifenol-oxidase e peroxidase. Seus resultados revelaram que o escurecimento do caldo foi menos intenso quando o caldo foi extraído em temperatura elevada (100°C). A atividade da enzima polifenol-oxidase diminuiu significativamente com o aumento da temperatura de extração. Já a peroxidase mostrou uma redução de 50% de sua atividade.

O caldo de cana após a extração torna-se escuro e apresenta sedimentação. Tratamentos térmicos convencionais conferem um sabor de melado ao caldo, afetando adversamente seu sabor característico. Singh *et al.* (2002) realizaram estudos na preservação do caldo de cana, a fim de obterem uma bebida pronta para beber, com boa aceitação sensorial. A pasteurização do caldo de cana a 70°C durante 10 minutos, seguida da adição de ácido cítrico (40mg/100ml de suco), ácido ascórbico (40mg/100ml) e 150ppm de metabissulfito de potássio, como agente conservador, conferiu ao produto acondicionado em garrafas previamente esterilizadas, estabilidade de 90 dias sob refrigeração.

Trabalhos realizados por Bhupinder *et al.* (1991), mostraram que o tratamento térmico (80°C / 10 minutos) seguido da adição de 140 mg/l de metabissulfito de potássio, 3% de suco de limão e 1 % de extrato de gengibre conferiu uma estabilidade de 24 semanas ao produto engarrafado e um bom índice de aceitação entre provadores.

A adição de limão e gengibre tem como objetivo, ajustar as características do produto processado às condições usuais de consumo, bem como a redução do pH a aproximadamente 4,0, para que o tratamento térmico seja o mais brando possível, uma vez que a redução do pH dificulta o desenvolvimento microbiano (SIVASUBRAMANIAN & PAI, 1994).

3.3 Espumas alimentícias

Emulsão é o produto resultante da junção estável de duas substâncias naturalmente imiscíveis. Segundo Kokini & Aken (2006), as emulsões podem ser agrupadas em emulsões líquidas, espumas e emulsões de géis. Emulsões líquidas são aquelas em que a fase contínua e a fase dispersa são líquidas e se subdividem em A/O (água em óleo) como a margarina e O/A (óleo em água) como a maionese, leite, molhos, sopa, etc. As espumas são emulsões em que o ar é a fase dispersa na fase contínua líquida como sorvete, mousse, etc. Por fim, as emulsões de géis são aquelas em que a fase contínua é semi-sólida como uma pasta ou um gel como em queijos, maionese magra, certas sobremesas e lingüiças. A presença de espessante pode ser necessária, seja na fase dispersa seja na contínua.

As propriedades espumantes abrangem a capacidade de formação de uma dispersão ar em água, que se deve à expansão do volume da dispersão promovida por um emulsificante, com incorporação de ar através das técnicas de batimento, agitação ou aeração (CAPITANI, 2004). Na indústria alimentícia, a formação de espuma é aplicada em produtos como merengues, mousses e cervejas (SGARBIERI, 1996; WILDE & CLARK, 1996) e também na produção de sorvetes (NOBRE *et al.* 2006; SOLER & VEIGA, 2001).

Segundo Davanço (2006), a estabilidade da emulsão é influenciada pela morfologia do filme, ou seja, pelas características da fase contínua (viscosidade, pH, força iônica, entre outras) e da fase dispersa (tamanho e densidade da partícula lipídica).

3.4 Aditivos: estabilizantes, emulsificantes e antiemectantes

3.4.1 Estabilizante

Os estabilizantes são substâncias hidrocolóides e, portanto, tem uma alta capacidade de retenção de água, o que proporciona uma textura macia e corpo ao produto final. Aumentam a viscosidade, dão uniformidade ao produto e, com algumas exceções, tendem a uniformizar a formação de espuma durante a agitação (SOLER & VEIGA, 2001).

Entre os estabilizantes mais utilizados na indústria alimentícia estão as gomas guar e locusta, a carboximetilcellose (CMC), as carragenas, os alginatos, a gelatina e a pectina, e as suas combinações (SOLER & VEIGA, 2001).

As carragenas apresentam bom desempenho dependendo do tipo espuma e do seu conteúdo de gordura. Para altos conteúdos de gordura 10 a 12%, são indicadas as *kappa* carragenas, que formam géis fortes devido à presença da gordura na fase dispersa e para as de baixo teor de gordura, 3 a 4%, as que formam géis fracos, são solúveis em água quente, geralmente acima de 60°C (SOLER & VEIGA, 2001).

A Super-Liga-Neutra[®] é um aditivo composto de sacarose, carboximetilcelulose e goma Guar.

3.4.2 Emulsificante

São substâncias tensoativas que contém porções hidrofóbicas e hidrofílicas em sua molécula. Reduzem a tensão interfacial, estabilizando a mistura e facilitando a formação de emulsão (pequenas gotas em suspensão) e espuma (ar em suspensão) (SOLER & VEIGA, 2001).

Os emulsificantes são comumente usados na indústria de sorvetes por conferirem textura macia, corpo mais firme e para reduzir o tempo de agitação. Seu uso resulta em células de ar de tamanho menor e mais bem distribuída na estrutura interna do sorvete (SOLER & VEIGA, 2001).

Dentre os emulsificantes mais usados na indústria de alimentos, o Emustab tem se destacado e é um aditivo composto de monoglicerídeos, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60.

A goma carragena é um dos agentes formadores de gel mais comuns em sobremesas, principalmente as misturas para sorvete. A carragena é um componente estabilizante, que evita a separação das fases ou sinérese durante a armazenagem (GARCIA-CRUZ, 2001). Esta goma é particularmente apropriada para aplicação em espumas, pois apresenta inúmeras vantagens (GLICKSMAN, 1983) dentre elas as carragenas não mascaram os sabores do alimento.

3.4.3 Antiiumectante

Os aditivos antiiumectantes são aqueles que interferem no grau de umidade dos alimentos industrializados. Entram na formulação de produtos de panificação, como bolos e

confeitos. Essas substâncias são capazes de reduzir as características higroscópicas dos alimentos. Na indústria de alimentos os antiulectantes mais utilizados são os silicatos de sódio, cálcio e alumínio, os carbonatos de cálcio e magnésio e o fosfato de cálcio. O carbonato de cálcio é um aditivo de origem mineral, possui função de álcali, gelificante, agente de liberação dos moldes em comprimidos de vitamina, biscoitos, bolos, suplemento de cálcio e corante em superfície do alimento. É utilizado na indústria alimentícia em preparados sólidos para refrescos e refrigerantes. O fosfato de cálcio é um produto facilmente encontrado na natureza. Sua função como agente melhorador, agente de firmeza, sal emulsificante, sequestrante, fermento em alimentos, agente de crescimento em alimentos e antioxidante o faz ser bastante utilizado na produção de biscoitos e similares, preparados sólidos para refrescos e refrigerantes (CALIL & AGUIAR, 1999).

3.5 Secagem

A secagem por ar aquecido tem se destacado nos últimos tempos por ser uma técnica que mantém a qualidade e estabilidade dos alimentos, sem a necessidade da cadeia do frio. Este é um processo utilizado para preservar alimentos, no qual o alimento a ser seco é exposto a uma corrente de ar quente que flui continuamente e assim a umidade é removida. Apesar de garantir a estabilidade do alimento por longos períodos de estocagem, decréscimos na qualidade do produto final podem ser observados, tais como: dureza excessiva, degradação da cor, aroma e sabor (SOUZA NETO *et al.*, 2005).

O processo de secagem é considerado uma das mais antigas formas de conservação de alimentos. De maneira geral, a secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de se vaporizar certo conteúdo de água deste material, obtendo-se, portanto, um produto sólido seco. El-Aouar (2005) descreveu que a secagem trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase e que seu objetivo maior é a redução da atividade de água do alimento a qual está intimamente relacionada ao grau de estabilidade do mesmo, do ponto de vista físico, químico e microbiológico. (EL-AOUAR, 2005)

Como todo ser vivo nenhum microrganismo cresce em meio totalmente seco, necessita de água para desenvolver suas funções, e essa água deve ser livre, ou seja, não pode estar ligada a nenhuma outra substância. É evidente que cada tipo e até mesmo cada espécie

de organismo tem uma exigência mínima e máxima, em teor de água no meio, sendo que fora desta faixa tem seu metabolismo alterado. (FERREIRA NETO *et al.* 2001)

Normalmente atribui-se a responsabilidade da proliferação microbiana à umidade do alimento. Entretanto, não é a umidade (água total = água combinada + água livre) que propicia seu crescimento, mas somente a atividade de água é utilizada pelo metabolismo microbiano. Dentre os fatores de estabilidade dos produtos, a atividade de água é um dos parâmetros que pode ser medido facilmente e com precisão (SABADINI *et al.*, 2001).

Determinando-se a atividade de água que impeça a reprodução da microbiota e reações químicas e bioquímicas e fisiológicas do alimento, pode-se armazená-los por um período de tempo mais longo visto que o teor de água assegura a estabilidade do alimento. (MATTA *et al.* 2004).

3.5.1 Secagem em leito de espumas - Conceito, aplicação, vantagens e desvantagens

A secagem em leito de espuma foi desenvolvida na década de 50 por Morgan e sua equipe (MORGAN, 1959), na Califórnia, EUA, e patenteada em 1961. É uma técnica desenvolvida para promover rápida secagem de alimentos líquidos, tais como sucos de frutas e vem sendo muito utilizada também para alimentos pastosos como purês de frutas (GREENSRNITH, 1998; SANKAT e CASTAIGNE, 2004).

O alimento é convertido em uma espuma estável por meio da adição de agentes espumantes e incorporação de ar, nitrogênio ou outros gases, em batedeiras ou outros equipamentos geradores de espuma (BRENNAN, 1994; FELLOWS, 2000). Em seguida, a espuma é espalhada sobre uma superfície, perfurada ou não, utilizando-se geralmente camada com espessura em torno de 2 a 5 mm. A secagem resulta em um produto poroso e quebradiço, de fácil moagem e transformação em pó com boas propriedades de reidratação (FELLOWS, 2000).

As vantagens dessa técnica em relação a outras técnicas de secagem de líquidos como a secagem pulverizada (*spray-drying*) e a secagem em tambor (*drum-drying*) são: técnica mais simples, custo operacional menor, possibilita o uso de temperaturas mais baixas, o que preserva melhor o sabor e o valor nutricional, devido à maior área de superfície exposta ao ar e à velocidade de secagem, acelerando assim o processo de remoção de água e a obtenção de um produto poroso e de fácil reidratação (FRANCIS, 2000). A espuma aumenta a eficiência de secagem porque aumenta a área superficial e incrementa a transferência de calor

e massa. Além disso, a capilaridade através dos poros da espuma facilita a perda da umidade. Isso faz com que a secagem de uma camada de espuma seja aproximadamente três vezes mais rápida do que a secagem de uma camada similar de líquido (FRANCIS, 2000). Segundo Karim e Wai (1998), a secagem de espuma seria até mesmo mais rápida que a secagem pulverizada e a secagem em tambor. Mais recentemente, Vernon-Carter *et al.* (2001) informaram que a secagem em espuma pode ser especialmente útil quando se deseja impedir a perda de compostos voláteis durante a operação de secagem porque determinados espumantes ficam grudados aos carboidratos.

A principal desvantagem dessa técnica em relação a outras técnicas de secagem de líquidos é a necessidade de grande área de superfície de secagem para que consiga atender a elevadas taxas de produção, o que eleva o custo de investimento (FRANCIS, 2000). Além dessa, outra desvantagem é que os aditivos podem modificar as características de sabor, aroma e cor do alimento. Outra desvantagem, não do método de secagem, mas do produto, é que alimentos em pó e com umidade inferior a 5% geralmente são altamente higroscópicos, exigindo ambientes com baixa umidade relativa do ar nas operações finais de moagem, tamisação e envase.

3.5.2 Parâmetros da cinética de secagem de espumas

A transferência de umidade em materiais biológicos durante a secagem acontece em dois passos sucessivos. Primeiro, do interior para a superfície (transferência interna de umidade). E, segundo, evaporação da superfície para o ar (transferência externa de umidade). Se a taxa de transferência interna de umidade é igual ou maior do que a taxa de transferência externa de umidade, o processo ocorre com uma taxa constante de secagem, chamada de Período de Taxa Constante (PTC). Se a taxa de transferência interna de umidade é menor do que a taxa de transferência externa de umidade, o processo ocorre com uma taxa decrescente de secagem chamado de Período de Taxa Decrescente (PTD) (DEMIREL e TURHAN, 2003). Dependendo das propriedades do material e das características do ar de secagem, a secagem de produtos agrícolas é caracterizada por apresentar PTC e ou PTD. Em geral, produtos intactos exibem apenas PTD e produtos cuja integridade celular tenha sido quebrada podem exibir PTC antes do PTD. A secagem de espumas envolve alimentos líquidos como sucos, extratos e polpas preparadas (purês) em que não há sequer tecido, mas apenas uma pequena

proporção de células dispersas na fase líquida. Portanto, considerando-se apenas as propriedades do material, espumas alimentícias normalmente apresentam PTC antes do PTD.

3.5.3 Modelagem de secagem em leito espuma

3.5.3.1 Modelagem teórica da secagem

Durante a desidratação, considera-se um modelo teórico, no período de taxa decrescente, para descrever o movimento da água na espuma, o que permite duas possibilidades de mecanismos:

- (i) Transferência difusional da água
- (ii) Mecanismo de fluxo por capilaridade.

Arsdel & Copley (1963) citado por Sankat & Castaigne (2004) explicou em seu trabalho dois mecanismos de secagem. Quando a água está se movendo de um lugar para o outro dentro de uma amostra úmida que está sendo seca, o fluxo natural da água pode ser relativamente complexo. Eles afirmaram, ainda, que no início do processo de secagem da amostra úmida o principal fenômeno que rege é a capilaridade, e posteriormente é indiscutivelmente regido pelo fenômeno da difusão.

Para o Modelo Difusional, onde o movimento da água é o resultado do gradiente de concentração que é controlado por difusão, então o tempo de secagem (t) para uma infinita porção com espessura L_0 é:

$$t = -\frac{4L_0^2}{\pi D} \ln \frac{\pi^2 X}{8X_0} \quad \text{Equação 1}$$

Em que, t é o tempo de secagem (h), X_0 é a umidade inicial da espuma (decimal), X é o conteúdo de umidade da espuma no tempo t (h), L_0 é a espessura inicial da espuma (m) e D é a difusividade (m^2/h). Isso também pode ser mostrado pela relação semi-empírica de Henderson & Perry (1976) citado por Sankat & Castaigne (2004) como a seguir:

$$\ln \frac{X}{X_0} = A - K_1 t \quad \text{Equação 2}$$

Em que, K_1 é chamado de “constante de secagem difusional” e é igual a $(\pi D/4L_0^2)$.

Para o Modelo de Capilaridade, em que a água se move dentro de um corpo úmido sob o controle de forças da superfície em poros e capilares, então o tempo de secagem (t) para o leito poroso da espessura L_0 e é dado por Sankat & Castaigne (2004) citando os autores Perry, Green, & Maloney (1984) e Geankopolis (1993) é:

$$t = \frac{\rho_s \lambda L_0 X_0}{h(T - T_s)} \ln \frac{X}{X_0} \quad \text{Equação 3}$$

Em que, ρ_s é a densidade aparente da espuma sólida seca (kg/m^3), λ é o calor latente de vaporização da água (J/kg), h é o coeficiente de transferência de calor ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), T é a temperatura de bulbo seco ($^\circ\text{C}$) e T_s é a temperatura da superfície da espuma ($^\circ\text{C}$). A Equação (3) pode ser simplificada para a forma:

$$\ln \frac{X}{X_0} = -K_2 t \quad \text{Equação 4}$$

Em que, K_2 é uma “constante de secagem da capilaridade” e é igual a $h(T-T_s)/\rho_s \lambda L_0 X_0$.

Sankat & Castaigne (2004) escreveram que pode ser notada uma simplificação em (1) e em (3) por meio da não adição de valores de X_e (umidade de equilíbrio) e citou que outros pesquisadores (Labuza & Simon, 1970; Rahaman & Lamb, 1991) usam uma aproximação que é válida quando X_e possui valores baixos.

Outras duas grandes diferenças matemáticas são encontradas entre esses dois modelos escritas por Karel, Fennema, & Lund, (1975) e citados por Sankat & Castaigne (2004):

No modelo difusional o tempo de secagem é proporcional à espessura da espuma ao quadrado enquanto o modelo da capilaridade é diretamente proporcional à espessura. Isso também é mencionado como a “Lei da Espessura Proporcional”.

No modelo capilar um gráfico de $\ln(X/X_0)$ vs t é uma reta passando pela origem no intervalo de umidade, em oposição ao modelo difusional onde linearidade está limitada ao período de secagem para $X/X_0 < 0,6$ e cuja parcela corresponde no gráfico a uma interceptação na ordenada.

De acordo Park *et. al.* (2007) uma curva de secagem pode ser dividida e analisada em até três períodos:

O primeiro período é curto e quase imperceptível e representa o período em que o alimento eleva a sua temperatura até a temperatura de secagem, aumentando a pressão parcial de vapor da água na superfície do alimento a velocidade de secagem.

O segundo período revela a taxa constante de secagem. A pressão de vapor de água na superfície é constante e é igual à pressão de vapor de água pura à temperatura do produto. A temperatura do produto, por sua vez, é também constante e é igual à temperatura de bulbo úmido, característica do fato de que as transferências de calor e de massa se compensam exatamente (psicrometria).

O terceiro consiste na taxa decrescente de secagem que acontece pela deficiência de água na superfície do alimento. Durante este período, a troca de calor não é mais compensada, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende assintoticamente à temperatura do ar.

3.5.3.2 Modelagem empírica da secagem

O método empírico é utilizado para análise de secagem usando-se os dados experimentais, que podem ser determinados em laboratório e na utilização da análise adimensional (GOUVEIA, 2001). Geralmente, este método se baseia nas condições externas de secagem, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem, não fornecendo indicações sobre o transporte de energia e massa no interior do produto, muito embora forneça informações práticas para elaboração de projetos (CARLESSO, 2007).

Esta modelagem matemática tem sido utilizada em estudos de cinética de secagem de muitos tipos de alimentos, como banana, caju, feijão, goiaba, maracujá amarelo, pequi, soja, tamarindo (BAINI & LANGRISH, 2006; GURJÃO *et al.* 2008; AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999; CARLESSO, *et al.*, 2007; FURTADO, *et. al.* (2008); BOERI & KHATCHATOURIAN; RODRIGUES *et al.*, 2002;)

A cinética de secagem de produtos de origem vegetal tem sido empiricamente prevista utilizando-se uma abordagem descrita pelas equações dos modelos de Page, Henderson e Newton (BAINI & LANGRISH, 2006; AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999; e ZANOELO; CELSO; KASKANTZIS, 2007). Estes modelos estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.

Modelo Matemático	Modelo	Equação
$RU = a \exp(-kt)$	HENDERSON	5
$RU = \exp(-kt)$	NEWTON	6
$RU = \exp(-kt^a)$	PAGE	7

A determinação das razões de umidade da secagem é realizada pelo uso da Equação 5 abaixo:

$$Ru = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \text{ Equação 8}$$

em que:

X = umidade em base seca, %

X_e = umidade de equilíbrio base seca, %

X_0 = umidade inicial do produto base seca, %

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Panificação e Secagem do Módulo de Laboratórios da UESB, *campus* de Itapetinga - Bahia. Itapetinga é uma cidade localizada a 279 m acima do nível do mar e tem uma pressão atmosférica de 98 kPa.

4.1 Matéria-prima

O caldo de cana utilizado no experimento foi obtido no comércio local e a cana de açúcar era produzida na microrregião de Itapetinga - BA. Para a sua obtenção, o produtor do caldo de cana foi instruído a extraí-lo de forma correta, conforme as recomendações do controle de qualidade Boas Práticas de Fabricação de Alimentos (BPF). O caldo de cana foi coado por duas peneiras domésticas comuns e submetido a tratamento térmico, pasteurização, em uma temperatura de 80° C durante 3 minutos e resfriado em seguida (PERFEITO, ZAMBIAZI & FREITAS, 2004).

Após o tratamento térmico, o caldo de cana foi envasado em frascos de vidros com tampas herméticas e mantido sob refrigeração em refrigerador doméstico com temperatura de aproximadamente 7 °C. Os frascos de vidros e suas tampas foram submetidos à esterilização em banho-maria em temperatura de ebulição por um período de 1 minuto. O caldo de cana foi envasado a quente (80 °C ± 5 °C).

A garapa foi caracterizada quanto ao preço de custo do caldo e por meio das análises físico-químicas expostas na Figura 1, com dados coletados em duplicata e quatro repetições.

Durante as análises, teve-se o interesse de manter o mais constante possível a temperatura do caldo de cana para que algumas de suas propriedades não sofressem alterações.

Para que não houvesse influência de conservantes nas etapas seguintes de formação de espuma, a padronização do caldo de cana se deu pela pasteurização e refrigeração subsequente. Outros autores optaram por padronizar a garapa e estudar a estabilidade usando os parâmetros pH e teor de sólido solúveis (SILVA & FARIA, 2006) e pasteurização e alcalinização (PRATI & CAMARGO, 2008).

O fluxograma geral de execução desse experimento é mostrado na Figura 1.

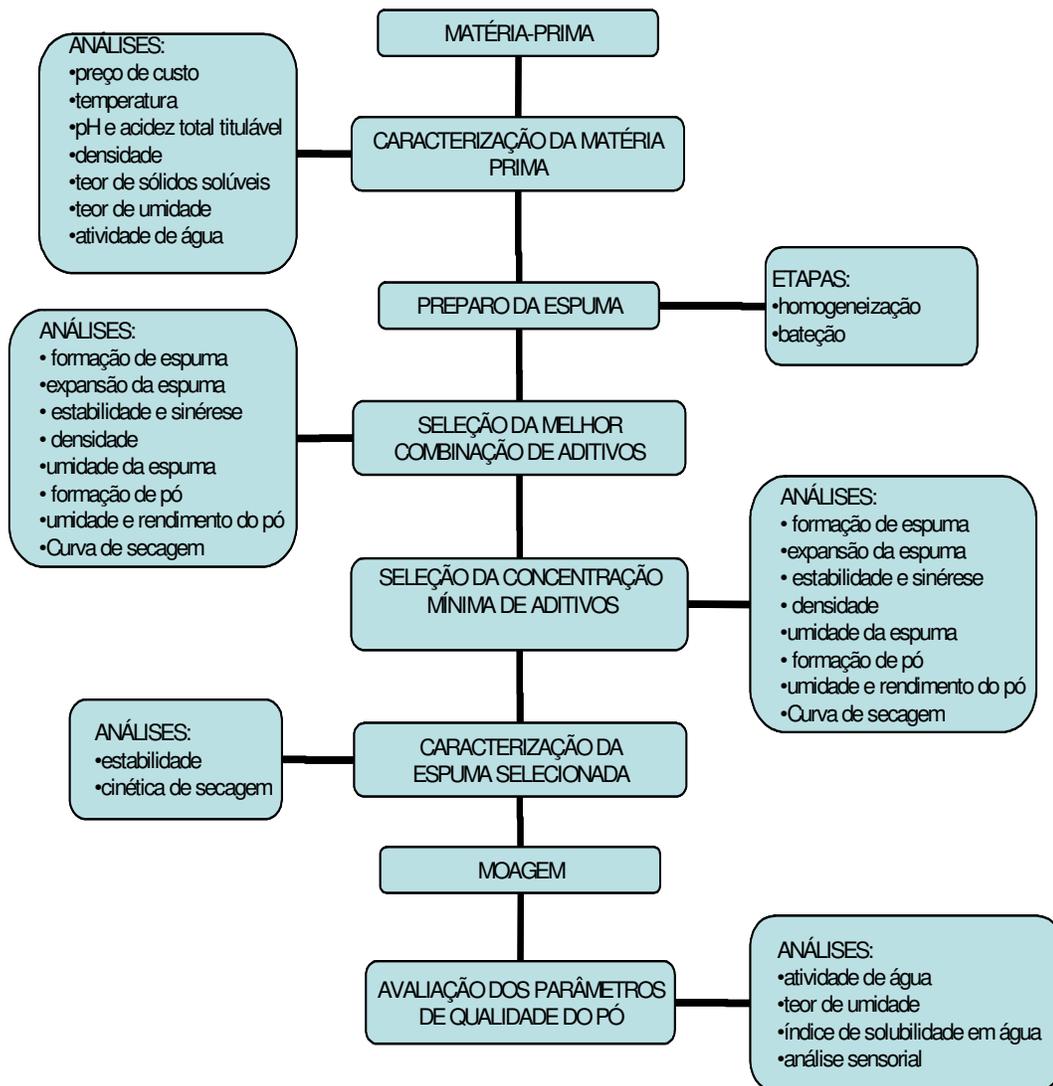


Figura 1 - Fluxograma geral de execução do experimento.

4.1.1 Preço de custo

Foi coletado o preço do custo do caldo de cana em três estabelecimentos de venda e expresso em R\$/litro.

4.1.2 Temperatura da amostra

A temperatura da garapa foi obtida por um termômetro de mercúrio quando a garapa estava à temperatura de 27 °C. Tentou-se manter o mais constante possível a temperatura da amostra para evitar interferências nas análises físico-químicas.

4.1.3 Medida de pH

A medida do pH foi obtida por meio de um pHmetro marca Digimed MD 20.

4.1.4 Acidez Total Titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada utilizando-se NaOH 0,1N. O ponto de viragem foi determinado pela medida do pH, cujo valor foi $8,1 \pm 0,02$, conforme metodologia recomendada pela AOAC para amostras coloridas. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico.

4.1.5 Densidade (d)

A densidade foi mensurada pela medida da massa de um volume fixo de garapa. Foi utilizada uma proveta de plástico, graduada com capacidade de 100 mL, adaptada (cortada) para que sua borda coincidissem exatamente com um volume de 20 mL. A proveta adaptada foi preenchida de garapa com auxílio de uma pipeta até a borda e o excesso, quando houve, foi removido enxugando-o com papel toalha.

4.1.6 Teor de Sólidos Solúveis (TSS)

A medida foi realizada com a utilização de um refratômetro portátil Atago N1- α com leitura direta e expressa em ° Brix, sendo realizada a correção da leitura conforme temperatura da amostra e tabela de correção fornecida pelo fabricante.

4.1.7 Umidade (U_{bs})

A umidade foi obtida pelo método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz para açúcares e produtos correlatos em estufa a 105 ± 2 °C até peso constante (IAL, 1985). A umidade foi expressa em umidade em base seca (U_{bs}) (PARK *et al.*, 2007).

4.1.8 Atividade de Água (A_a)

A A_a foi obtida com o uso do aparelho AquaLab devidamente calibrado à temperatura de 25 °C com as soluções indicadas pelo fabricante e possui uma precisão de $\pm 0,002$.

4.2 Aditivos

Para formação da espuma, foram usadas formulações que possuíam aditivos com propriedades emulsificante, estabilizante e antiemectantes. Foi usado obrigatoriamente em cada formulação um aditivo com propriedade emulsificante para que houvesse a garantia da formação de espuma no tratamento testado, com exceção do tratamento testemunha composto apenas da garapa. Os aditivos usados nas formulações foram: o Emustab[®] (E) com propriedade emulsificante, a Super-Liga-Neutra[®] (SLN) e a Goma Carragena (C) com propriedades estabilizantes, o Carbonato de Cálcio (CC) e o Fosfato de Cálcio (FC) com propriedades antiemectantes. Esses aditivos foram escolhidos com base no critério do custo econômico e disponibilidade no comércio.

4.3 Equipamentos e utensílios

4.3.1 O secador

Foi usado na secagem um secador de bandejas com fluxo de ar paralelo e vazão de ar ajustável por janelas localizadas na entrada (sucção da hélice do ventilador) e na saída do ar.

Este secador possui 6 (seis) andares para colocar as bandejas e comporta 2 (duas) bandejas por andar.

A velocidade do ar de secagem foi medida com o secador carregado de bandejas e obtida por meio de um anemômetro Modelo MW-1 colocado no centro da câmara de secagem.

Dados de temperatura foram coletados em três pontos do secador, com este carregado de bandejas vazias, limpas e secas, para estudo da sua capacidade de isolamento térmico. O primeiro ponto é antes do ar de secagem passar pela fonte de calor e chama-se PE1, o segundo ponto, PE2, é localizado logo após a fonte de calor do ar e o terceiro ponto de estado, PE3, é localizado na saída do ar da seção da câmara de secagem. A Figura 2 mostra a disposição dos pontos de estados no secador, do ventilador, fonte de calor e das bandejas.

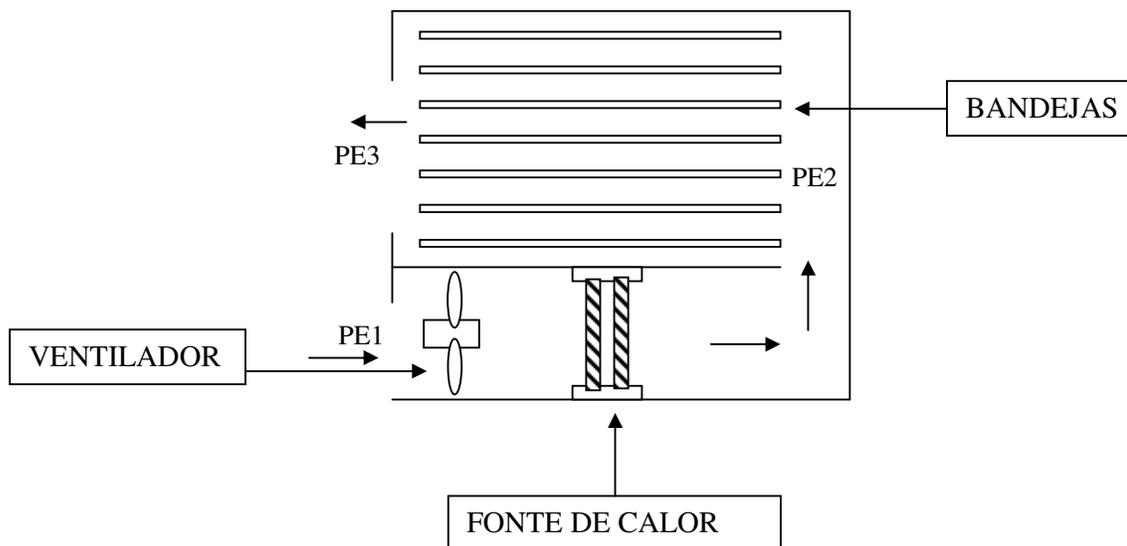


Figura 2 - Pontos de estados do ar de secagem usados na coleta de dados de temperatura do ar de secagem.

4.3.2 Bandejas de secagem

Para a secagem da amostra de espuma, foram usadas lâminas de plásticos como leito de secagem, que suportassem temperaturas acima à usada durante a secagem. Foi realizado teste na estufa a temperaturas de $90 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ e selecionadas as lâminas usadas em transparências para máquinas xerográficas que é composta de filmes de poliéster. Sua escolha foi devido às suas características ideais: serem impermeáveis, finas e maleáveis, o que dificultaria o

vazamento de espuma pelo seu leito caso houvesse coalescência, facilitaria a transferência de calor para a amostra pela parte inferior do leito de secagem, já que a espuma não entraria em contato com o ar de secagem por não ser vazada, não havendo, assim, taxa de secagem nesta região, e facilitaria remoção da amostra seca do leito.

Essas lâminas foram colocadas sobre as bandejas do secador que possuíam suas bordas de alumínio ligadas entre si por fios de nylon.

4.3.3 A bateadeira

A bateadeira usada para a formação das espumas foi da marca Walita modelo R17110 com 300 W de potência e com 5 velocidades de rotação, sendo rotação mínima de 600 rpm e máxima de 1200 rpm.

4.3.4 O triturador

Foi usado como equipamento de trituração para transformação da espuma seca em pó um liquidificador doméstico modelo Black & Decker IB810 com 400 Watt de potência que possui apenas uma velocidade de trituração com 23000 rpm.

4.4 Preparo da espuma

As formulações foram preparadas pesando-se os ingredientes, matéria-prima e aditivos, com massa total de 200 g. Após pesagem, os ingredientes foram homogeneizados no liquidificador por dois minutos e a incorporação de ar foi feita pelo uso de uma bateadeira por cinco minutos a 1200 rpm (rotação máxima). Para a bateção da incorporação de ar foi usada apenas uma haste da bateadeira e o recipiente usado foi um béquer de plástico de 600 mL para todos os tratamentos.

4.5 Seleção da melhor combinação de aditivos

O objetivo dessa seleção foi determinar qual combinação, dos aditivos propostos, promove as melhores características de uma espuma para secagem.

Para que uma espuma alimentícia seja usada para secagem e transformada em pó, ela deve possuir características adequadas para que, quando submetida à temperatura de secagem, não coalesça e após seca seja friável.

Testes preliminares mostraram a necessidade da adição de pelo menos um aditivo emulsificante no caldo de cana, já que as técnicas de homogeneização e bateção sobre o caldo de cana não foram suficientes para que o caldo de cana formasse espuma.

A Tabela 3 mostra quais foram os tratamentos testados e suas respectivas combinações, num total de 5% de aditivos para cada tratamento com exceção para o tratamento testemunha que não possuía aditivos.

Tabela 3 - Formulações (% m/m) das espumas de caldo de cana que foram usadas no teste de combinação de aditivos.

Trat	Emulsifi- cante (%)	Estabiliza n-te (%)		Antiumectant e (%)		Total aditivos (%)	Caldo de cana (%)	Total (aditivos + caldo de cana) (%)
		C	SLN	CC	FC			
T0	0	0	0	0	0	0	100	100
T1	2	2	0	0	1	5	95	100
T2	2	2	0	1	0	5	95	100
T3	2	0	2	0	1	5	95	100
T4	2	0	2	1	0	5	95	100
T5	4	0	0	0	1	5	95	100
T6	4	0	0	1	0	5	95	100
T7	2	1	1	0	1	5	95	100
T8	2	1	1	1	0	5	95	100

Onde: E – emustab[®], C – carragena, SLN – superliga neutra[®], CC – carbonato de cálcio e FC – fosfato de cálcio.

Após a homogeneização e bateção, a espuma da garapa foi avaliada pelas análises de formação de espuma, expansão da espuma, estabilidade, sinérese, densidade, umidade da espuma em base seca (U_{esp}), formação de pó, umidade do pó em base seca ($U_{pó}$), rendimento e curva de secagem.

4.5.1 Formação de espuma

Foi avaliada a formação de espuma segundo os critérios formação ou não formação de espuma avaliada visualmente.

4.5.2 Expansão da espuma

Considerando a dificuldade de se medir o volume da espuma após a homogeneização e bateção, por ser um produto viscoso e de fácil aderência e difícil remoção do recipiente o que dificulta uma medida exata de volume, foi feita uma adaptação do método citado e usado por Wang, Caballero-Cordoba & Sgarbieri (1992) que consiste em medir o volume da amostra antes e depois da homogeneização e bateção.

A adaptação considera o uso da densidade da espuma e da garapa para cálculo da expansão da espuma, conforme as etapas de cálculos que se seguem a partir da fórmula usada por Wang, Caballero-Cordoba & Sgarbieri (1992), Equação 6:

$$\% \text{ Exp} = \frac{V_{\text{esp}} - V_g}{V_g} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

Onde % Esp é a porcentagem de espuma, V_{esp} é volume da espuma e V_g volume da garapa,

$$\text{se densidade } (d) = \frac{m}{V}, \text{ então :}$$

$$\% \text{ Exp} = \frac{d_g - d_{\text{esp}}}{d_{\text{esp}}} \times 100 \quad \text{Equação 10}$$

Onde d_g é densidade da garapa e d_{esp} é densidade da espuma

4.5.3 Estabilidade

Para medir a estabilidade foi proposto um novo método em que submete a espuma a condições de secagem (fluxo e temperatura do ar de secagem) idênticas às encontradas

durante a secagem. Foram usadas provetas adaptadas (iguais as citadas no item 4.1 na seção densidade).

A espuma foi colocada nas provetas adaptadas e posteriormente no secador na temperatura de 60 °C. Coletou-se o volume de espuma coalescida pelo tempo de exposição às condições de secagem no tempo igual 60 minutos.

4.5.4 Sinérese

A sinérese foi estudada conforme fórmula citada por Wang (2000). Usou-se os dados coletados no teste de estabilidade, valor de volume coalescido, no tempo igual há 60 minutos após ter se submetido à amostra às condições de secagem. A fórmula usada foi a Equação 8.

$$\% \text{ Sinérese} = \frac{\text{Vol. de líquido coalescido}}{\text{Vol. de líquido inicial} - \text{Vol. de líquido após agitação}} \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

4.5.5 Densidade (d)

Foi obtida segundo metodologia citada no item 4.1.5.

4.5.6 Umidade da espuma (U_{esp})

Foi obtida segundo metodologia citada no item 4.1.7.

4.5.7 Formação de pó

Foi avaliada a formação de pó após a secagem de cada espuma a 60 °C, onde a amostra seca foi retirada do leito de secagem e triturada, sendo observado se após a trituração da amostra seca houve a formação ou não formação de pó.

4.5.8 Umidade do pó ($U_{pó}$)

Foi obtida segundo metodologia citada no item 4.1.7.

4.5.9 Rendimento de pó ($Rend$)

Foi obtido após a secagem e estabilização da massa da amostra na temperatura de 60 °C. Foi considerada estável a amostra que apresentou variação da massa inferior a 0,2 % (m/m) medida em uma balança semi-analítica com 3 casa decimais da GEHAKA, modelo BG 400.

O rendimento foi calculado a partir da massa do produto seco e estável e da quantidade do produto que era friável e se tornava pó podendo ser retirado do leito de secagem. O rendimento foi obtido pela Equação 9 que se segue:

$$Rend = \frac{\text{produto friável}(g)}{\text{produto seco}(g)} \times 100\% \quad \text{Equação 12}$$

4.5.10 Curva de Secagem

Para cada tratamento estudado foi feito uma curva de secagem à temperatura de 60 °C. O tempo utilizado foi o necessário para que a amostra atingisse a massa constante com intervalo para pesagem das amostras de 30 minutos. Esses dados foram utilizados para a análise da umidade e cálculo da razão de umidade (RU).

4.5.11 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, onde em cada repetição as análises foram realizadas em duplicatas.

Para as análises de expansão da espuma, estabilidade, sinérese, densidade, umidade da espuma, umidade do pó e rendimento (variáveis dependentes e quantitativas) das formulações testadas (variáveis independentes qualitativas) foi aplicada a ANOVA ao nível

de 95% de confiança. Havendo diferença entre as formulações foi feito um teste de comparações de médias usando o Teste de Tukey com significância de 5% de probabilidade.

Para a curva de secagem das formulações foi estudada a variação da razão de umidade pelo o tempo (variável independente e quantitativa) na temperatura de 60 °C pelo método de análise de regressão, com auxílio dos softwares SAEGD v9.1 e SigmaPlot v8.0.

Para a curva de secagem foi usada a técnica estatística de Regressão Não-linear, realizando o ajuste pelo Modelo Empírico de Page, comumente usado para descrever o fenômeno de secagem de produtos de origem vegetal (AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999; AKPINAR *et al.*, 2003; ERTEKIN & YALDIZ, 2004; LAHSASNI *et al.*, 2004). O coeficiente de determinação (r^2) foi utilizado para verificar se o modelo proposto é adequado ou não para descrever a cinética de secagem, onde r^2 com valores próximos a 1 (um) indica que o modelo é adequado para descrever o fenômeno.

Foi escolhido o tratamento que apresentou as melhores características para secagem de espumas, conforme o conjunto de resultados das análises. Este tratamento foi submetido à outra etapa de seleção: teste de seleção da menor concentração de aditivo.

4.6 Determinação da concentração mínima

Foi feito esse estudo para a redução de concentração de aditivos, baseado na premissa de que quanto menor a quantidade de aditivos, menor seriam as alterações sensoriais.

Nesta parte do experimento foram testadas concentrações de aditivos que variaram entre 1,75 e 5,25%, foram três concentrações do emulsificante Emustab[®], três concentrações do estabilizante superliga neutra[®] e três concentrações do antiemectante carbonato de cálcio, totalizando nove tratamentos: Ta, Tb, Tc, Td, Te, Tf, Tg, Th e Ti, conforme Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Formulações (% m/m) das espumas de caldo de cana que foram usadas no teste de concentração de aditivos.

Trat	Emulsificante (%)	Estabilizante (%)	Antiumectante (%)	Total aditivos (%)	Caldo de cana (%)	Total (aditivos + caldo de cana) (%)
Ta	0,70	0,70	0,35	1,75	98,25	100
Tb	0,70	1,40	0,70	2,80	97,20	100
Tc	0,70	2,10	1,05	3,85	96,15	100
Td	1,40	0,70	0,35	2,45	97,55	100
Te	1,40	1,40	0,70	3,50	96,50	100
Tf	1,40	2,10	1,05	4,55	95,45	100
Tg	2,10	0,70	0,35	3,15	96,85	100
Th	2,10	1,40	0,70	4,20	95,80	100
Ti	2,10	2,10	1,05	5,25	94,75	100

O preenchimento dessa tabela foi obtido pela análise dos resultados do teste de combinação. A proporção de antiumectante foi mantida a mesma do tratamento selecionado no teste de combinação de aditivos, ou seja, obedeceu a relação estabilizante/antiumectante que foi de 2:1 para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T7 e T8.

4.6.1 Estágios de seleção da melhor formulação

Após a criação da Tabela 4, pela escolha da formulação com as melhores características analisadas pelo item 4.5 (Teste de seleção da melhor combinação de aditivos), os Tratamentos Ta, Tb, Tc, Td, Te, Tf, Tg, Th e Ti foram também submetidos às análises propostas no item 4.5.1 para a seleção do tratamento com a menor concentração total de aditivos.

4.6.2 Delineamento experimental e análises estatísticas

Foi usado o mesmo delineamento experimental descrito no item 4.5.11.

4.7 Estudo da espuma da formulação selecionada

A formulação selecionada foi aquela que apresentou as melhores características para secagem em leito de espuma a partir dos testes descritos no item 4.6.1. Após sua determinação, foi feito o estudo da espuma por meio da sinérese em função do tempo de secagem e da cinética de secagem, ambos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C com velocidade do ar de secagem igual a 1,0 m/s.

4.7.1 Estabilidade

O estudo da estabilidade foi realizado conforme metodologia citada no item 4.5.3, diferenciando apenas o tempo de estudo. Nesse tópico foi proposto o estudo da sinérese da formulação selecionada pelo tempo de exposição às condições de secagem. Foram coletados dados do volume de espuma coalescida nos tempos 0, 30, 60, 90, 120 e 150 minutos em cada temperatura proposta mais a temperatura ambiente medida no local e hora da análise. Os dados obtidos foram analisados em um gráfico de estabilidade pelo tempo e ajustados em um modelo matemático pela técnica de análise de regressão conforme o comportamento da resposta da análise observando o coeficiente de determinação (r^2).

4.7.2 Cinética de secagem

A cinética de secagem da espuma de caldo de cana foi realizada nas temperaturas propostas. Optou-se por não testar diferentes velocidades do ar de secagem porque diversas pesquisas já constataram que a velocidade do ar, variando dentro da faixa de 0,5 a 1,5 m/s, que é a usual em secagem convectiva e com fluxo de ar paralelo ao alimento, não resulta em diferenças significativas quanto à eficiência da secagem (SANKAT & CASTAIGNE, 2004 e VERNON-CARTER *et. al.* 2001).

As secagens da espuma foram feitas em leito não perfurado, ou seja, a perda de umidade ocorrerá apenas na parte superior da camada de espuma. Para tal foram usadas lâminas plásticas resistentes às temperaturas do teste.

Optou-se por este tipo de leito porque, embora a secagem não seja tão eficiente quanto seria em um leito perfurado, este sistema traz duas vantagens prioritárias: maior qualidade no sabor do produto final e o maior rendimento do processo.

O sabor poderia ser prejudicado devido ao excesso de aditivos que deveria ser usado para que a viscosidade da espuma fosse alta o suficiente para evitar seu escoamento pelo leito perfurado. Já o rendimento seria prejudicado devido à parte do produto seco ficar aderido à superfície da malha do leito após a secagem.

Para todas as secagens, a espuma foi uniformemente depositada nas lâminas com largura de 14,85 cm e comprimento de 21 cm. Essas lâminas foram todas preenchidas com a mesma massa M igual a 20g de espuma de modo a ocupar todas elas praticamente a mesma superfície de secagem. Como no secador de bandejas a taxa de secagem varia ao longo do perfil vertical da câmara de secagem, o alimento na parte superior secaria mais rápido se não houver rodízio de bandejas. O rodízio de bandejas, entretanto, seria uma grande fonte de erro para pesquisa. Por isso, optou-se por colocar bandejas, em todas as posições verticais do secador e obter a curva de secagem média entre as bandejas.

Na obtenção das curvas de secagem, cada lâmina com espuma foi pesada nos instantes de tempo de 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 e assim até peso constante com variação de massa inferior a 0,2% (m/m), ou seja, quando atingisse a umidade de equilíbrio à temperatura do ar de secagem. As lâminas foram previamente codificadas e pesadas para que depois seus pesos fossem posteriormente subtraídos do valor das pesagens. A curva de secagem foi determinada plotando-se um gráfico de razão de umidade (ambas no eixo y) para cada tempo de secagem (eixo x). A umidade inicial e a umidade final em base seca das espumas foram necessárias para o cálculo da Razão de Umidade, conforme equação abaixo:

$$Ru = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \text{ Equação 13}$$

Em que:

X = umidade em base seca, %

X_e = umidade de equilíbrio base seca, %

X_0 = umidade inicial do produto base seca, %

Além do peso do alimento em cada instante, também foram coletados dados de temperatura de bulbo seco e bulbo molhado do ar de secagem nos três pontos psicrométricos:

ponto de estado 1 (PE1), : ponto de estado 2 (PE2) e ponto de estado 3 (PE3) conforme Figura 2 citada no item 4.3.1. Estes dados foram usados para a modelagem teórica.

4.7.3 Modelagem empírica da secagem

Os dados experimentais foram expressos em gráficos de curva de secagem (Razão de umidade em função do tempo) e ajustados por meio de regressão não-linear, no programa SigmaPlot v.8.0, para 3 modelos empíricos de Page, Henderson e Newton, freqüentemente utilizados para a representação da secagem de produtos agrícolas (AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999; AKPINAR *et al.*, 2003; ERTEKIN & YALDIZ, 2004; LAHSASNI *et al.*, 2004), cujas expressões estão apresentadas na Tabela 2 do item 3.5.3.2.

A qualidade dos modelos testados foi avaliada pelo coeficiente de determinação (r^2).

4.7.4 Modelagem teórica da secagem

A existência do período de taxa constante de secagem foi determinada calculando-se a taxa de secagem (Equação 6) em cada tempo 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 minutos etc. e observando se o valor da taxa permanece constante entre algum intervalo de tempo conforme a Equação 11 citada por PARK *et al.*, 2007.

$$T_x = \frac{dX}{dt} \quad \text{Equação 14}$$

Em que:

T_x = taxa de secagem ($\text{kg}_{\text{água}} / \text{min}$);

dX = variação da umidade em base seca ($\text{kg}_{\text{água}}$);

dt = variação do tempo (min).

4.8 Avaliação dos parâmetros de qualidade do produto caldo de cana em pó

A formulação selecionada foi submetida à secagem a 70 °C e foram feitas análises físico-químicas do produto seco e triturado.

4.8.1 Atividade de água (A_a) do produto

Foi obtida conforme metodologia citada no item 4.1.9.

4.8.2 Umidade do produto em pó ($U_{pó}$)

Foi obtida conforme metodologia citada no item 4.1.8.

4.8.3 Índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado pela adaptação do método usado por Astolfi-Filho, Souza, Reipert & Telis (2005) que determinaram a solubilidade do suco de acerola medindo-se o tempo necessário para a completa dissolução de 10 g do produto em 100 mL de água destilada. A mistura foi agitada manualmente com um bastão de vidro e o tempo, medido em um cronômetro, correspondeu ao momento em que não mais foram observadas partículas sólidas. Para tal, neste trabalho o ISA foi obtido por uma adaptação ao método supracitado, que consistiu em medir o tempo até um minuto, em um cronômetro, da agitação manual da amostra do pó de caldo de cana suficiente para que em 100 mL de água mineral este produto tinha a mesma umidade inicial do caldo de cana pasteurizado usado neste trabalho. Com o auxílio de um balanço de massa, foi possível chegar à quantidade de pó necessária para tal. Depois, pesou-se a solução com um coador fino e o material retido foi pesado para saber quanto de material não foi solúvel em um minuto, calculada em porcentagem pela equação 13. A temperatura usada para o teste foi a temperatura da água ambiente igual 23,0 °C.

$$\% ISA = \frac{\text{massa material retido (g)}}{\text{massa do pó (g)}} \quad \text{Equação 15}$$

4.8.4 Análise sensorial

Foi feita uma pesquisa para se conhecer o Perfil do Consumidor de caldo de cana. Neste perfil foram analisados questionamentos relacionados ao consumo do caldo de cana e realizados 100 testes. A ficha usada nesta pesquisa está demonstrada na Figura 3.

PERFIL DO CONSUMIDOR DE CALDO DE CANA

Data: ____/____/____
Sexo: _____ Idade: _____

Por favor, responda as perguntas abaixo relacionadas ao consumo de caldo de cana:

1 - Você é consumidor de caldo de cana?
 sim não

2 - Você gosta de caldo de cana misturado com sucos ácidos?
 sim não nunca experimentei

3 - Se sim, qual suco você prefere?
 limão abacaxi maracujá
 outro, especifique: _____

4 - Você compraria caldo de cana em pó para preparo em sua casa?
 sim não

Comentários:

Figura 3 - Ficha do perfil do consumidor de caldo de cana.

Para análise sensorial do produto, o pó de caldo de cana foi diluído em água até a umidade inicial do caldo de cana conforme cálculos usados no item 4.8.3 para o ISA e servido a temperatura de 10 °C em copos plásticos descartáveis de 50 mL. O teste usado foi um teste afetivo de aceitação por escala hedônica de 7 pontos, em que “1” representa o termo hedônico desgostei muito e “7” representa o termo hedônico gostei muito, onde foram avaliados os atributos aroma, consistência, cor, sabor e impressão global. O teste foi realizado com 60 julgadores não treinados, contudo consumidores freqüentes do produto em avaliação. A Ficha de Avaliação Sensorial desse teste está demonstrada na Figura 4.

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL DO CALDO DE CANA EM PÓ

Data: ____/____/____

Por favor, leia atentamente as instruções e avalie a amostra do caldo de cana em pó reconstituído em água utilizando a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou do produto em cada atributo específico. Atribua o número que melhor reflita seu julgamento.

7 - Gostei muito
6 - Gostei moderadamente
5 - Gostei ligeiramente
4 - Indiferente
3 - Desgostei ligeiramente
2 - Desgostei moderadamente
1 - Desgostei muito

Aroma: _____
Consistência: _____
Cor: _____
Sabor: _____
Impressão Global: _____
Comentários:

Figura 4 - Ficha do teste afetivo da avaliação sensorial do caldo de cana em pó.

4.8.5 Delineamento experimental e estatístico

As análises de atividade de água, umidade e índice de solubilidade em água do pó foram conduzidas por um delineamento inteiramente casualizado em quatro repetições e cada repetição feita em duplicata.

A análise sensorial foi conduzida em um delineamento inteiramente casualizado.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da Matéria-prima

Foi coletado o preço de custo da garapa comercializada na cidade de Itapetinga, sendo seu custo médio igual a R\$/litro 2,75.

Após a extração, o caldo de cana comprado no comercio local começou a apresentar-se com coloração mais escura e sedimentação, sendo mais evidentes após o tratamento térmico. Este escurecimento após extração e tratamento térmico tem sido motivo de vários estudos de clarificação de caldo de cana (FERREIRA *et al.* 2005, MORENO *et al.*, 2005 PRATI & MORETTI 2002, SILVA 2004, SINGH *et al.* 2002; BHUPINDER *et al.* 1991) com o objetivo de conferir ao produto estabilidade química e microbiológica e bom índice de aceitação entre provadores.

Tabela 5 - Caracterização físico-química do caldo de cana pasteurizado.

Caldo de cana	média ± erro-padrão
pH	5,46 ± 0,09
ATT (%)	0,44 ± 0,093
Densidade (g/ml)	1,086 ± 0,006
TSS (° Brix)	18,25 ± 0,10
U _{bu} (%)	81,48 ± 0,04
U _{bs} (%)	438,43 ± 1,16
A _a	0,976 ± 0,002
Temperatura (°C)	22,9 ± 0,7

Onde: ATT – acidez total titulável, TSS – teor de sólidos solúveis, U_{bu} – umidade da garapa em base úmida, U_{bs} – umidade da garapa em base seca e A_a – atividade de água.

O valor de pH de 5,46 obtido neste trabalho foi próximo aos valores obtidos por Prati & Moretti (2005), pH de 5,46 e Silva (2004), pH de 5,30.

Na pesquisa realizada por Silva (2004) os resultados mostram uma pequena variação do pH no caldo de cana de diferentes variedades estudadas que, no entanto, apresentam grandes diferenças em relação à acidez titulável. Silva (2004) relata que a grande variação

entre os valores de acidez pode ser explicada pelo fato dos ácidos presentes na cana-de-açúcar serem ácidos orgânicos e, por isso, considerados ácidos fracos. Desta forma, mesmo presentes em grandes quantidades, não são suficientes para reduzir o pH do caldo de cana. O estágio de maturação da cana de açúcar também influencia na concentração destes ácidos. Quanto mais avançado o estágio de maturação, menor a concentração de ácidos, conforme trabalhos publicados por Qudsieh et al. (2001, 2002) citado por Silva (2004).

A acidez total titulável, ATT, é uma análise que, quando, realizada em produtos de origem vegetal, auxilia na determinação da qualidade e maturação da matéria-prima. O produto em estudo apresentou valores de ATT iguais a $0,44 \pm 0,09$ % de ácido cítrico. Para Prati & Moretti (2005) os valores de ATT foram de 0,15 % de ácido cítrico, para Silva (2004) de 0,56 % de ácido cítrico e para Oliveira *et al.* (2007) 0,04 % de ácido cítrico.

Para o teor de sólidos solúveis, TSS, a garapa apresentou valores de 18,25 °Brix. Este valor foi inferior aos encontrados por Prati & Moretti (2005) que foram de 22,80 °Brix, por Silva (2004) de 19 °Brix e Martins (2004) com valores de 22 a 23,7 °Brix em diferentes variedades.

A densidade do caldo de cana foi de 1,086 mg/mL. Não foi encontrada na literatura esse dado, que pode ser útil para averiguação de adulteração da bebida pela adição de água ou sacarose, pois quanto maior a quantidade de água mais próximo estaria esse valor da densidade da água e quanto maior a quantidade de sacarose mais alto seria o valor da densidade.

A umidade do caldo de cana usado neste trabalho foi de $81,48 \pm 0,04\%$, com valor superior ao encontrado por Prati & Camargo (2008) com umidade igual a $72,0 \pm 1,53\%$. Oliveira *et al.* (2007) encontraram valores iguais a $81,14 \pm 1,14\%$ para a umidade do caldo de cana *in natura* e $80,39 \pm 1,32\%$ para a garapa pasteurizada a 70 °C por 25 minutos.

O valor de A_a encontrado no caldo de cana em estudo foi de $0,976 \pm 0,002$. Nenhum outro trabalho relatou valores de A_a de caldo de cana.

5.2 Estudo da combinação de aditivos

Nos tratamentos testados, os resultados obtidos para a formação de espuma foram positivos, mostrando que realmente é necessário a adição de um aditivo emulsificante para que se obtenha a formação de espumas no caldo de cana. Sendo assim, somente o T0, que não

possuía aditivos, não formou espuma e todos os demais tratamentos formaram. Devido a esse fato, o tratamento T0 foi descartado das análises.

O teste de ANOVA aplicado demonstrou que não houve variação significativa entre os tratamentos para as variáveis: umidade da espuma (U_{esp}), umidade do pó ($U_{pó}$), sinérese e estabilidade. Contudo todos os outros parâmetros foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade e os resultados expressos na Tabela 6.

Soares *et al.* (2001) em estudos com a espuma de acerola, observaram a importância da densidade da espuma para a secagem, propondo valores de densidades entre 0,1 e 0,6 g/mL. Neste trabalho todos os tratamentos testados tiveram a densidade no intervalo de tempo recomendado por Soares *et al.* (2001).

Tabela 6 - Médias dos parâmetros do caldo de cana e da espuma submetidos ao teste de combinação de aditivos.

Trat	Densid (g.mL ⁻¹)	Exp (%)	Estab (mL)	Sinér (%)	U _{esp} (% _{bs})	U _{pó} (% _{bs})	Rend (%)
T0	1,086	-	-	-	440,181	-	-
T1	0,513 ^{ab}	118,50 ^{abc}	0	0	345,548	208,5	97,5 ^a
T2	0,560 ^a	96,91 ^c	0	0	545,838	213,9	94,3 ^a
T3	0,390 ^{bc}	179,66 ^{ab}	0	0	495,447	260,2	91,5 ^a
T4	0,409 ^{bc}	168,53 ^{ab}	0	0	401,655	233,3	96,8 ^a
T5	0,363 ^c	200,79 ^a	0	0	338,545	216,5	73,9 ^b
T6	0,386 ^{bc}	182,25 ^{ab}	0	0	338,962	278,1	86,0 ^{ab}
T7	0,512 ^{ab}	113,76 ^{bc}	0	0	345,380	228,1	92,5 ^a
T8	0,490 ^{abc}	125,56 ^{abc}	0	0	345,038	196,5	85,5 ^{ab}

Médias seguidas das mesmas letras na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Onde: Trat – tratamento, Densid – densidade, Exp – expansão de espuma, Estab – estabilidade da espuma, Sinér – sinérese, U_{esp} – umidade em base seca da espuma, U_{pó} – umidade em base seca do pó e Rend – rendimento de pó.

Os valores de densidade apresentados pelos tratamentos T1, T2, T7 e T8 foram elevados e, portanto, indesejados segundo Soares *et al.* (2001). Os tratamentos T3, T4, T5 e T6 apresentaram os menores valores e não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observa-se que os tratamentos T5 e T6 possuíam em sua composição o Emustab (E) como maior componente e os tratamentos T3 e T4 possuíam em combinação com o Super-Liga-Neutra (SLN). O tratamento T8 possuía além da combinação E-SLN, o

estabilizante Carragena (C) e o antiuementante Carbonato de Cálcio (CC). Esses resultados mostram uma possível relação entre a combinação E-SLN e o uso do E, que está presente em todos os tratamentos, para se obter baixas densidades em espumas.

Quanto à expansão de espuma, não foram encontradas recomendações para produtos alimentícios que são submetidos à secagem em leito de espuma. Neste trabalho, observou-se a variação da expansão da espuma de caldo de cana de 96,91% a 200,79%, com valores do volume quase três vezes maior que o do caldo de cana antes da bateção.

Os tratamentos T1, T3, T4, T5, T6 e T8 não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% e apresentaram os maiores valores de expansão de espuma. Observa-se que estes tratamentos possuem na sua formulação os aditivos E e a combinação E-SLN e que a espuma produzida por estes aditivos apresenta uma maior expansão. O T8 possuía a combinação E-C-SLN.

No estudo do rendimento do pó, todos os tratamentos testados formaram pó na temperatura de 60 °C. Os tratamentos T5, T6 e T8 não diferiram entre si e apresentaram os menores valores de rendimento. Os demais tratamentos, T1, T2, T3, T4 e T7, apresentaram os maiores valores de rendimento e não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%, sendo assim os recomendados para secagem.

Na formulação dos tratamentos em teste observa-se que os tratamentos T7 e T8 possuem quatro aditivos (E, C, SLN e CC ou FC) sendo uma formulação mais elaborada e com maior custo em relação às demais. Os tratamentos T5 e T6 possuem apenas dois aditivos, E-CC e E-FC respectivamente, e conseqüentemente o menor custo em relação às demais. Entretanto, a espuma obtida a partir desses tratamentos apresentou bons valores para os testes de expansão e densidade, mas com rendimento do pó não satisfatório. Os tratamentos T1 e T2 apresentaram bons valores quanto à análise de rendimento do pó, contudo as densidade e expansão da espuma não foram satisfatórias, com médias superiores e inferiores, respectivamente, em relação aos demais tratamentos. Assim, os tratamentos T3 e T4 apresentaram as melhores características de expansão de espuma, densidade e rendimento nos testes realizados.

O tratamento T3 não apresentou diferença estatística do T4 tanto para o rendimento quanto para a densidade e a expansão. Ambos os tratamentos T3 e T4 possuíam basicamente a mesma combinação de aditivos, E-SLN, com diferença apenas no antiuementante. Para a formulação do T4, usou-se o carbonato de cálcio (CC), que é mais comum, e para a formulação do T3 usou o fosfato de cálcio (FC), menos comum e de maior custo em relação ao CC.

Assim, conclui-se que o tratamento T4, com um total de 5% de aditivos sendo 2% de Emustab, 2% de Super-Liga-Neutra e 1% de carbonato de cálcio, apresentou as melhores características econômicas e tecnológicas para uma secagem em leito espuma: baixa densidade, alto rendimento, alta expansão de espuma, aditivos comumente usados na indústria de alimentos e com custos mais baixos.

5.3 Seleção da concentração de aditivos

5.3.1 Caracterização da espuma

Após a seleção do tratamento T4, elaborou-se uma nova tabela (Tabela 4, item 4.6), com concentrações que variaram entre 1,75 a 5,25% e realizou-se o teste de concentração mínima. A partir dela prosseguiu-se com as análises propostas de formação de espuma, densidade, expansão de espuma, estabilidade/sinérese, umidade da espuma, formação de pó, umidade do pó e rendimento de pó para caracterização da espuma e do pó do caldo de cana, conforme mostra a Tabela 7 para os diferentes tratamentos.

Tabela 7 - Médias dos parâmetros do caldo de cana e da espuma submetidos ao teste de concentração de aditivos.

Trat	Densid (g.mL⁻¹)	Exp (%)	Estab (ml)	Sinér (%)	U_{esp} (%)	U_{pó} (%)	Rend (%)
Ta	0,369 ^{ab}	194,62 ^{ab}	5,750 ^{ab}	28,75 ^{ab}	282,203	415,98	89,08 ^{ab}
Tb	0,432 ^{ab}	149,70 ^{ab}	6,625 ^a	33,13 ^a	286,884	459,79	74,77 ^b
Tc	0,464 ^a	139,76 ^b	5,500 ^{ab}	27,19 ^{ab}	271,081	412,31	95,72 ^a
Td	0,379 ^{ab}	187,09 ^{ab}	5,500 ^{ab}	27,50 ^{ab}	281,818	329,44	91,03 ^{ab}
Te	0,389 ^{ab}	180,39 ^{ab}	4,688 ^{abc}	22,92 ^{abc}	294,122	372,49	96,73 ^a
Tf	0,452 ^{ab}	142,84 ^{ab}	1,875 ^{bc}	10,83 ^{abc}	279,493	275,93	100,31 ^a
Tg	0,373 ^{ab}	192,82 ^{ab}	4,063 ^{abc}	20,42 ^{abc}	304,277	336,01	98,29 ^a
Th	0,397 ^{ab}	175,15 ^{ab}	2,625 ^{abc}	14,17 ^{abc}	295,180	314,69	99,96 ^a
Ti	0,351 ^b	214,93 ^a	0,500 ^c	3,33 ^c	272,427	298,49	96,23 ^a

Médias seguidas das mesmas letras na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Onde: Trat – tratamento, Densid – densidade, Exp – expansão de espuma, Estab – estabilidade da espuma, Sinér – sinérese, U_{esp} – umidade em base seca da espuma, U_{pó} – umidade em base seca do pó e Rend – rendimento de pó.

Conforme testes anteriores, as análises de umidade da espuma em base seca (U_{esp}) e umidade do pó em base seca ($U_{pó}$) não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo Teste F para as formulações testadas.

Na análise de densidade, o tratamento Ti, com 0,351 g/mL, apresentou o menor valor absoluto e não diferiu estatisticamente dos tratamentos Ta, Tb, Td, Te, Tf, Tg e Th, contudo frisa-se que todos os tratamentos testados estiveram na faixa de densidade citada por Soares *et al.*(2001). Observa-se que os tratamentos que obtiveram as menores médias de densidade foram aqueles que possuíam maiores quantidades de aditivos, ou seja, o aumento da concentração de aditivo até 5,25% influi na redução da densidade.

Nesta etapa pode-se observar uma amplitude menor da expansão da espuma em relação ao teste de combinação de aditivos, com valor mínimo de 139,76% e máximo de 214,93%, para o tratamento Tc e Ti, respectivamente. Os tratamentos Ta, Tb, Td, Te, Tf, Tg, Th e Ti apresentaram as maiores médias de expansão de espuma de caldo de cana e não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se no tratamento Tc uma menor expansão de espuma em relação aos demais e que a concentração E foi menor que a de SLN. Contudo observou-se que quando a concentração de E é muito inferior à da SLN a expansão da espuma é pequena, como ocorrido no tratamento Tc. O que de fato já era esperado porque o E foi o aditivo usado para que houvesse a formação de espuma.

A estabilidade, que foi demonstrada pelo volume de espuma coalescido, revelou-se com médias bastantes diferentes entre os tratamentos. Os tratamentos Te, Tf, Tg, Th e Ti apresentaram a maior estabilidade em relação aos demais e não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A menor estabilidade encontrada foi a do tratamento Tb com média de 6,625 mL. Uma menor a quantidade de aditivos favorece uma menor estabilidade da espuma. Nas duas maiores médias de estabilidade encontrada, Ti e Tf, observa-se a maior concentração de SLN, mostrando a importância deste aditivo na formulação, já que foi adicionado para conferir maior estabilidade à espuma.

Para a sinérese em 60 minutos, o tratamento Tb diferiu de todos os tratamentos com a maior % de sinérese, enquanto o tratamento Ti apresentou-se mais estável dentre os demais.

Yasumatsu *et al.* (1972) disse que propriedades espumantes podem ser representadas pela expansão e estabilidade da espuma. O volume e a sinérese de espuma são usados, segundo Dench *et al* (1981), como índices da estabilidade de espuma, sendo que a sinérese é o inverso da estabilidade. O aumento na sinérese de espuma nem sempre é acompanhado pela correspondente diminuição no volume de espuma devido à aderência de espuma na superfície do vasilhame usado na determinação. Portanto, conforme James &

Sloan, a sinérese é uma medida mais adequada do que a determinação do volume de espuma para verificar a estabilidade de espumas.

O comportamento das formulações na análise de sinérese foi muito parecido com o comportamento da estabilidade, devido à relação existente entre ambos com o volume de espuma coalescido como pode ser visto na Equação 5 (item 4.5.1.2). Assim, o aumento da concentração de aditivos e maiores concentrações de SLN nas formulações conferiu uma menor sinérese.

A análise do rendimento de pó apresentou respostas questionáveis com valores de rendimento de pó maiores que 100%, podendo ter sido gerado por erros durante a execução da análise, como pesagem da amostra incorreta, absorção de umidade durante a análise e erros de calibração dos instrumentos usados.

Descartada a possibilidade de descalibração do equipamento, já que o uso da balança foi feito sob recomendações obtidas no manual do fabricante, a pesagem com uso de técnicas gravimétricas incorretas afetaria o rendimento de pó. Se o tempo de pesagem for prolongado, acarretaria em absorção de umidade pela amostra, por ser este um produto seco e higroscópico. Contudo nesse trabalho, o valor do coeficiente de variação das massas das amostras foi inferior a 10 % que é considerado baixo pelo estatístico Gomes (1985).

Como mostra as Figuras 5 e 6, o rendimento foi muito alto. Fato este que foi comprovado na remoção da amostra do leito de secagem, onde esta foi quase que completamente removida do leito. Nessas figuras pôde-se observar que a camada de espuma seca foi muito fina e que a cor apresentada pelo produto foi bege.

Os tratamentos Ta, Tb, Tc, Te, Tf, Tg, Th e Ti apresentaram as maiores médias de rendimento de pó e diferiram do tratamento Tb, com a menor média de 74,77% de rendimento, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se que durante a retirada de alguns tratamentos, especialmente o Tb, partes secas da amostra ainda permaneciam no leito de secagem e quando usada a técnica de raspagem a amostra retirada não se transformava em pó, apresentando uma característica de “borracha”. Observou-se que a menor estabilidade e maior sinérese também foram encontradas no tratamento Ti, demonstrando uma possível relação ente espuma coalescida e rendimento de pó.



Figura 5 - Espuma do caldo de cana seca desprendida completamente do leito de secagem.



Figura 6 - Leito de secagem após a retirada da espuma seca de caldo de cana.

5.3.2 Secagem da espuma de caldo de cana

O comportamento das curvas de secagem obtidas nos tratamentos estudados foi típico de um processo de secagem (PARK *et. al.*, 2007) e estão na Figura 7.

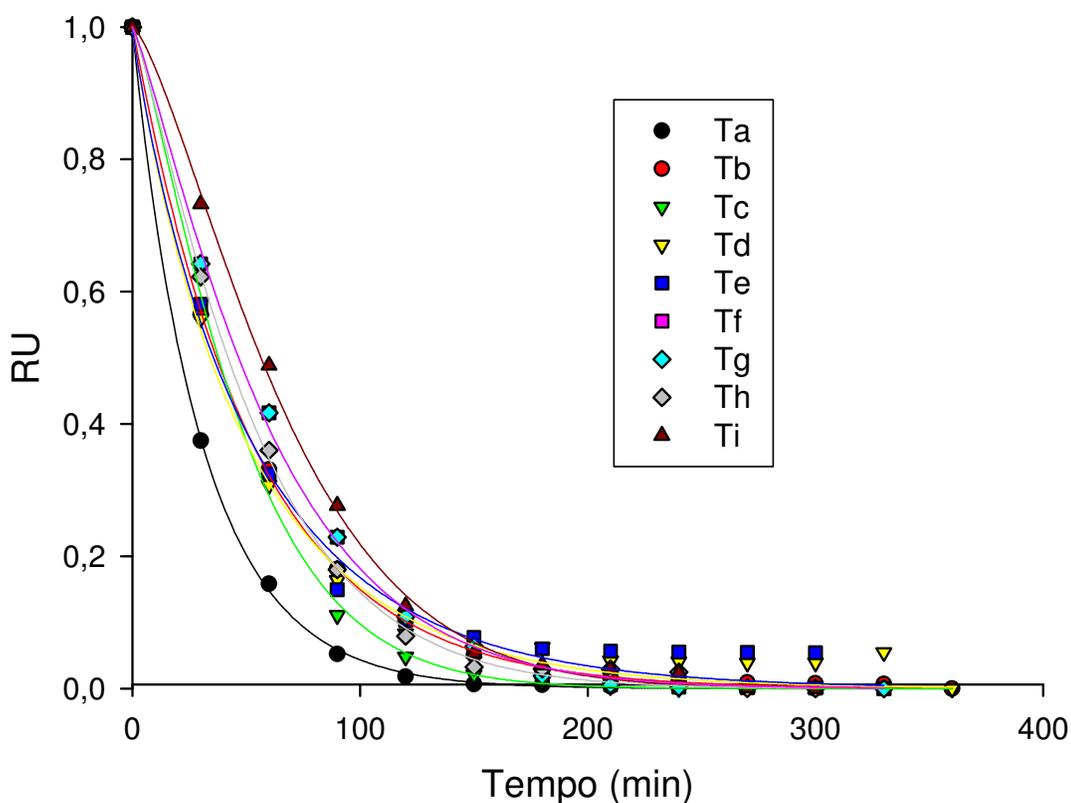


Figura 7 - Ajuste empírico do Modelo de Page para secagem à temperatura de 60 °C.

A Figura 7 mostra que em 100 minutos de secagem o tratamento Ta apresentou secagem mais rápida seguido do tratamento Tc e que para o tratamento Ti a secagem foi mais lenta.

O modelo de Page foi escolhido para o ajuste das curvas de RU x Tempo (min). Analisou-se somente o coeficiente de determinação r^2 para o ajuste da curva, como está sendo mostrado na Tabela 8 junto com os dados de RU e os parâmetros “ k ” e “ a ” usados no Modelo de Page.

Os coeficientes de determinação de todos os tratamentos foram excelentes.

Com base nos modelos obtidos, os tratamentos Tg, Th e Ti atingiram a razão de umidade igual 0 quando o tempo foi de 300 minutos. Esses tratamentos possuíam na sua

composição a maior concentração de E (2,10 % de Emustab[®]), o que pode ter influenciado na secagem mais rápida, já que este aditivo promove a formação de espumas e, conseqüentemente, aumenta a área de secagem. Além disso, observa-se também maiores concentrações totais de aditivos nesses três tratamentos.

Tabela 8 - Dados da curva e Secagem, RU x Tempo, dos tratamentos submetidos ao teste de concentração de aditivos e os parâmetros do Modelo de Page e coeficiente de determinação.

Tempo (min)	Ta	Tb	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
30	0,375	0,566	0,582	0,559	0,581	0,642	0,676	0,622	0,733	
60	0,158	0,331	0,319	0,307	0,325	0,417	0,389	0,360	0,489	
90	0,052	0,181	0,111	0,164	0,150	0,229	0,225	0,180	0,277	
120	0,018	0,103	0,048	0,083	0,103	0,109	0,079	0,079	0,125	
150	0,007	0,051	0,021	0,054	0,078	0,064	0,016	0,033	0,053	
180	0,006	0,027	0,011	0,062	0,060	0,019	0,006	0,030	0,036	
210	0,003	0,016	0,003	0,042	0,057	0,006	0,026	0,029	0,029	
240	0,002	0,012	0,000	0,041	0,055	0,002	0,025	0,025	0,024	
270	0,001	0,009	0,000	0,039	0,055	0,001	0,001	0,001	0,001	
300	0,000	0,008	0,000	0,039	0,054	0,001	0,000	0,000	0,000	
330	0,000	0,007	0,000	0,055	0,000	0,000				
360	0,000	0,000	0,000	0,000						
Parâmetros do Modelo de Page	k	0,036	0,018	0,008	0,026	0,026	0,007	0,004	0,008	0,003
	a	0,972	1,013	1,245	0,926	0,917	1,183	1,320	1,180	1,378
	r ²	1,000	1,000	0,999	0,996	0,995	0,999	0,999	0,999	0,999

Partindo da premissa inicial de que quanto maior a quantidade de aditivos maior seria a interferência na qualidade sensorial do produto final, concluiu-se pela seleção do tratamento Tg em relação aos Ti. Pelos resultados, foi observado que ambos reuniram as características ideais para secagem em leito de espuma, como formação de espuma com alta expansão, densidade na faixa desejada, boa estabilidade, formação de pó com alto rendimento e um menor tempo de secagem para atingir a umidade de equilíbrio. Contudo, o tratamento Tg em relação ao Ti possui menor quantidade total de aditivo.

5.4 Estudo da formulação selecionada

5.4.1 Estabilidade da espuma

O estudo da estabilidade demonstrou a influência do tempo e da temperatura em seus valores. Os dados da estabilidade estão no gráfico mostrado na Figura 8. Pode-se observar claramente que quanto maior a temperatura do ar de secagem menor foi a estabilidade da espuma, ou seja, maior ocorrência de espuma coalescida. Observa-se que durante a secagem o volume de coalescência é crescente com o tempo e uma exposição prolongada da espuma do caldo de cana às condições de secagem, faz com que esta pare de coalescer e seu volume não aumenta mais. Isso acontece devido o tempo que a amostra leva para chegar até a temperatura do ar de secagem (PARK *et al.*, 2007). Esse tempo de aquecimento, e conseqüente elevação da temperatura da amostra, foi mencionado por Park *et al.* (2007) quando explicou o comportamento da temperatura na amostra durante a secagem por meio de um gráfico de Temperatura da amostra x Tempo.

Para explicar a estabilidade foi proposto um modelo sigmoidal com três parâmetros mostrados na Equação 13 abaixo. O coeficiente de determinação (r^2) foi usado para observar os ajustes dos dados e seus valores estão na Tabela 9.

$$V_c = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \quad \text{Equação 16.}$$

Observa-se que os valores do coeficiente de determinação foi acima de 0,9918 para as temperaturas estudadas, demonstrando que este modelo matemático é adequado para descrever o comportamento da variável estabilidade com o tempo.

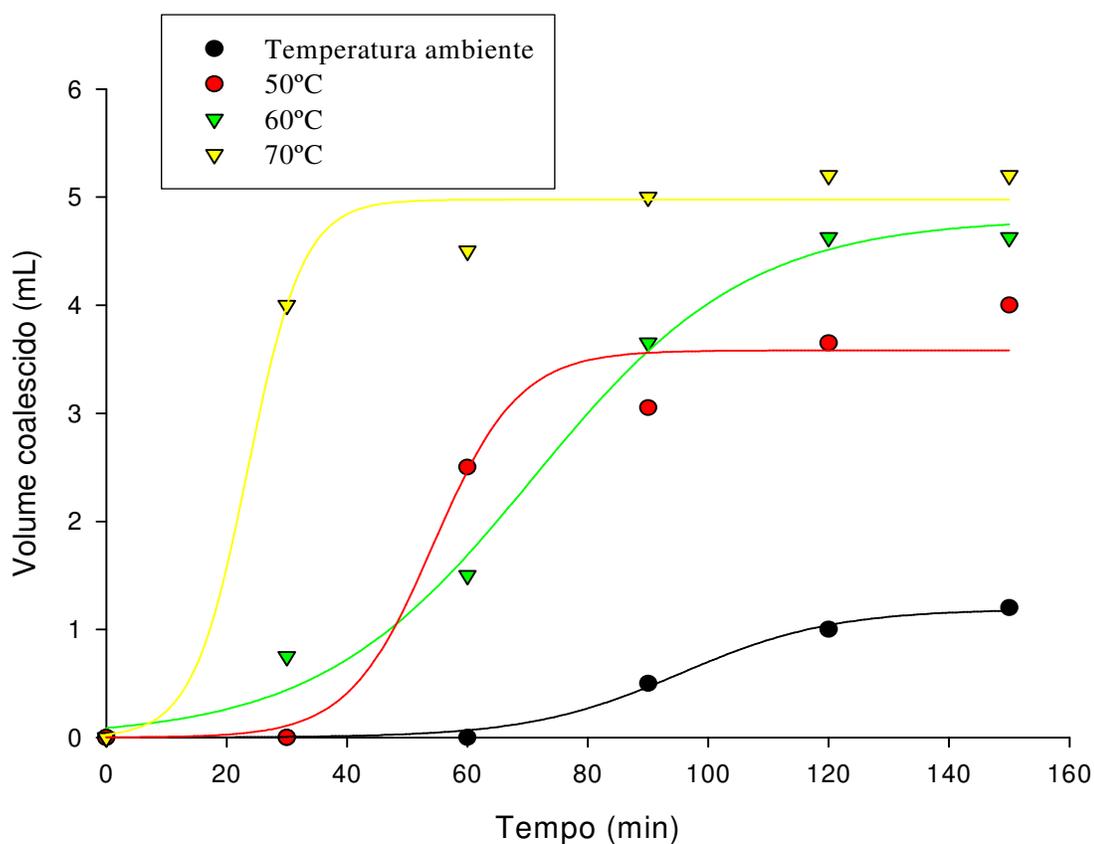


Figura 8 - Volume coalescido da espuma do caldo de cana à temperatura ambiente (27 °C), 50, 60 e 70 °C com ajustes matemáticos para o modelo sigmoidal.

Tabela 9 - Parâmetros do ajuste Sigmoidal para a estabilidade na temperatura ambiente (27 °C), 50, 60 e 70 °C.

Temperatura	Parâmetros			r ²
	a	b	X ₀	
Ambiente (27 °C)	1,189	12,6291	95,4592	0,9972
50 °C	3,5814	7,0462	54,3815	0,9856
60 °C	4,8029	17,8553	70,9116	0,9958
70 °C	4,9759	4,5843	23,5477	0,9918

5.4.2 Cinética de secagem da formulação selecionada

Definido o tratamento Tg como sendo a formulação selecionada, foi estudada a cinética de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e analisada pelo gráfico da curva de secagem Razão de umidade x Tempo e ajustado pelos três modelos matemáticos propostos. As Figuras 9, 10 e 11 mostram os ajustes obtidos para cada modelo empírico e as Tabelas 10, 11 e 12 mostram as equações e seus parâmetros para os Modelos de Page, de Henderson e de Newton, respectivamente.

Observa-se na Figura 9 o ótimo ajuste obtido pelo Modelo de Page para a espuma do caldo de cana nas três temperaturas em estudo. Vê-se que o tempo de secagem da espuma a 50 °C é maior que o tempo de secagem de 70 °C, o que já era esperado. Observa-se também que o parâmetro k do Modelo de Page decresce com o aumento da temperatura de 50 °C para 60 °C e para 70 °C. Mas para o parâmetro a observa-se aumento do valor com aumento da temperatura de secagem.

El-Elouar (2005) ao secar mamão formosa *in natura* conseguiu ajustes de 0,9994, 0,9996 e 0,9994 para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, e observou um comportamento inverso para o parâmetro k que decrescia com o aumento da temperatura. Na secagem em camada fina do malte verde de cevada, Santos, Couto & Andrade (2001) encontraram valores do coeficiente de variação para o Modelo de Page de 0,98. Silva *et. al.* em banana da terra tratada osmoticamente com três soluções diferentes, encontrou valores para o coeficiente de determinação entre 0,987 e 0,998. Na modelagem para descrição do processo de secagem de feijão Afonso Júnior e Corrêa (2007) encontrou para a temperatura de 55 °C um coeficiente de 0,9996 para este mesmo modelo. Em raiz de chicória Park *et. al.* encontrou o valor igual a 1.

Os ajustes para o Modelo de Henderson, Figura 10, também foram bons e teve coeficientes de determinação superiores a 0,9930. Foi possível observar que com o aumento da temperatura de 50 para 60 °C o parâmetro k aumentou e depois diminuiu quando a temperatura usada passou a ser de 70 °C. Já com o parâmetro a o que ocorre é a redução do seu valor para o aumento da temperatura de 50 para 60 °C e depois aumenta quando a temperatura de secagem usada passa a ser de 70 °C. Afonso Júnior e Corrêa (2007) encontraram para secagem de feijão a 55 °C um coeficiente de determinação para este modelo igual a 0,9877.

Como mostra a Tabela 12, o modelo de Newton apresentou bom ajustes com coeficientes de determinação superiores a 0,9929. Nesse modelo observa-se claramente que quanto maior a temperatura de secagem maior é o valor do parâmetro a . Afonso Júnior e Corrêa (2007) na secagem de feijão a 55 °C encontrou, para este modelo, um coeficiente de determinação igual a 0,9853.

Tabela 10 - Equações matemáticas e parâmetro do Modelo de Page na temperatura de 50, 60 e 70 °C.

Temperatura	Equações	r^2
50 °C	$RU = \exp(-0,0054t^{1,2207})$	0,9975
60 °C	$RU = \exp(-0,0043t^{1,3200})$	0,9988
70 °C	$RU = \exp(-0,0022t^{1,7461})$	0,9999

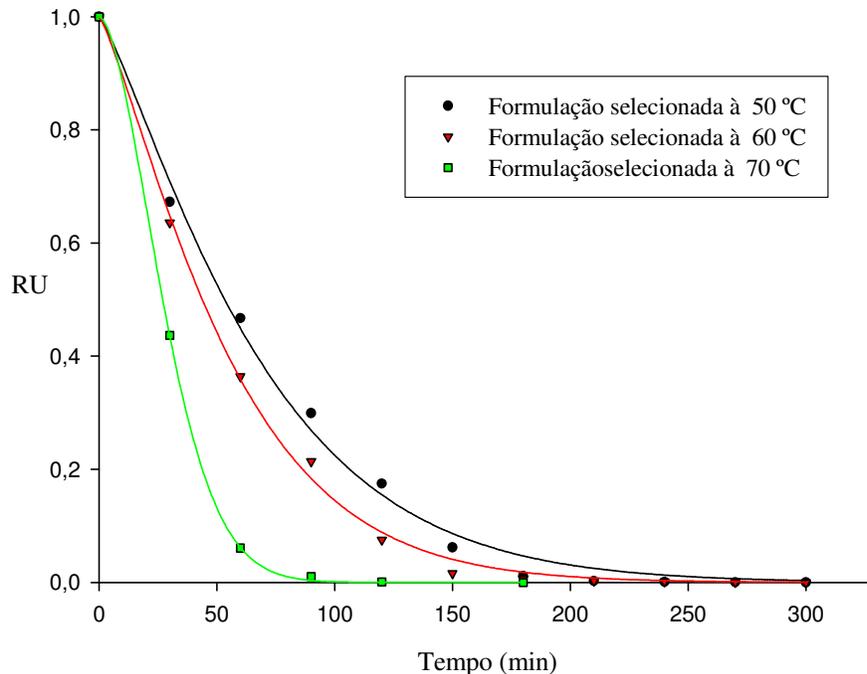


Figura 9 - Ajuste empírico do Modelo de Page da formulação selecionada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 11 - Equações matemáticas e parâmetro do Modelo de Henderson na temperatura de 50, 60 e 70 °C.

Temperatura	Equações	r ²
50 °C	$RU = 1,0247 \exp(-0,0339t)$	0,9930
60 °C	$RU = 1,0254 \exp(-0,0149t)$	0,9942
70 °C	$RU = 1,0139 \exp(-0,0182t)$	0,9959

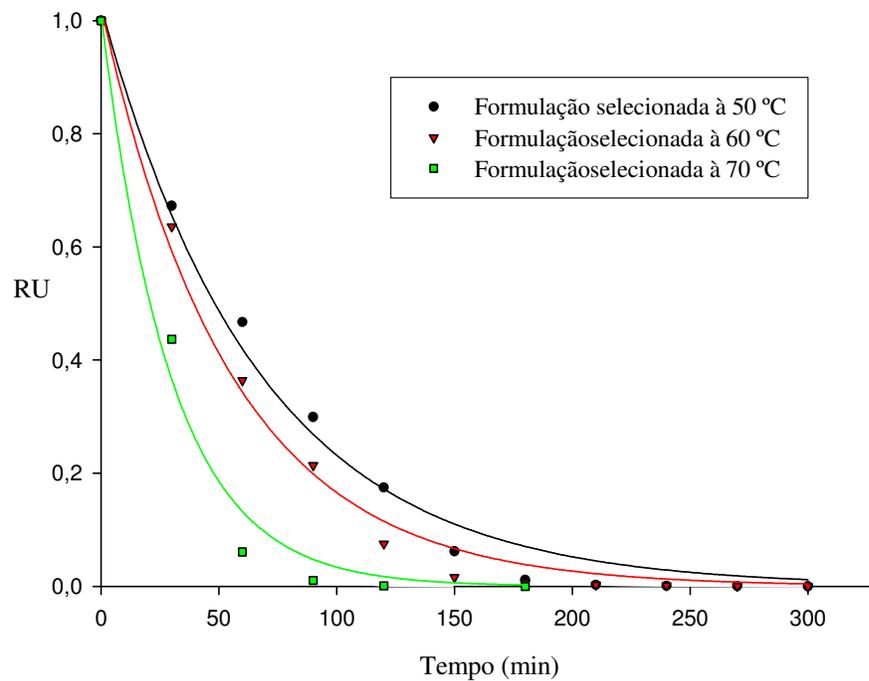


Figura 10 - Ajuste empírico do Modelo de Henderson da formulação selecionada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 12 - Equações matemáticas e parâmetro do Modelo de Newton na temperatura de 50, 60 e 70 °C.

Temperatura	Equações	r^2
50 °C	$RU = \exp(-0,0146t)$	0,9939
60 °C	$RU = \exp(-0,0178t)$	0,9956
70 °C	$RU = \exp(-0,0336t)$	0,9929

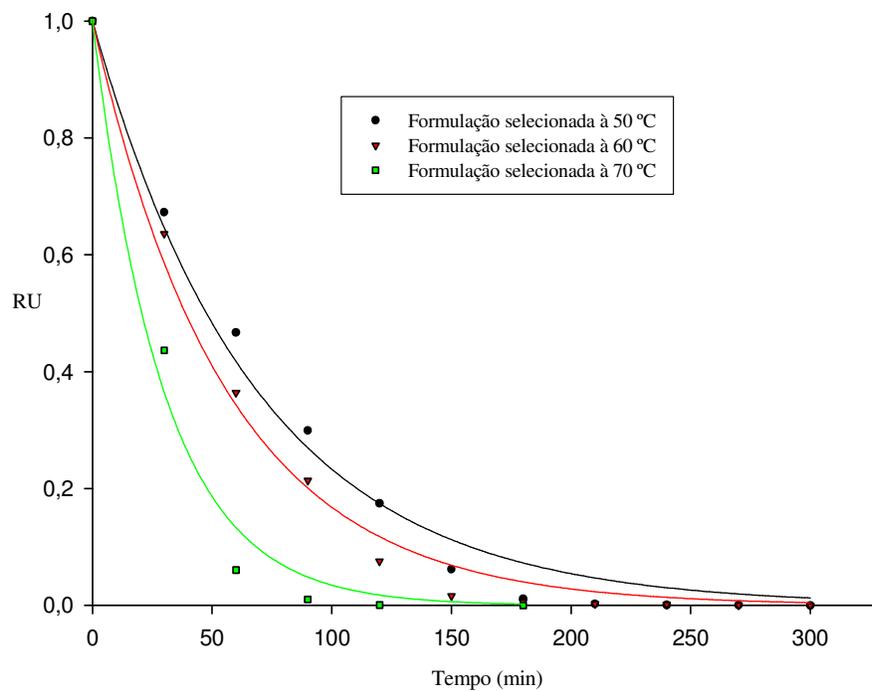


Figura 11 - Ajuste empírico do Modelo de Newton para formulação selecionada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

5.4.3 Modelagem teórica

A taxa de secagem à temperatura de 70 °C da espuma de caldo de cana foi calculada e está demonstrada na Figura 12 em função do tempo de secagem. Conforme descrito por Park *et. al.* (2007) e observado na curva de secagem da espuma do caldo de cana, vê-se que a espuma possui apenas o Período 2 de uma curva de secagem, onde a velocidade de secagem foi decrescente e finalizada quando o produto esteve em equilíbrio com o ar de secagem ($U_{ar} = U_{eq}$), momento este em que a velocidade de secagem é nula para a temperatura estudada.

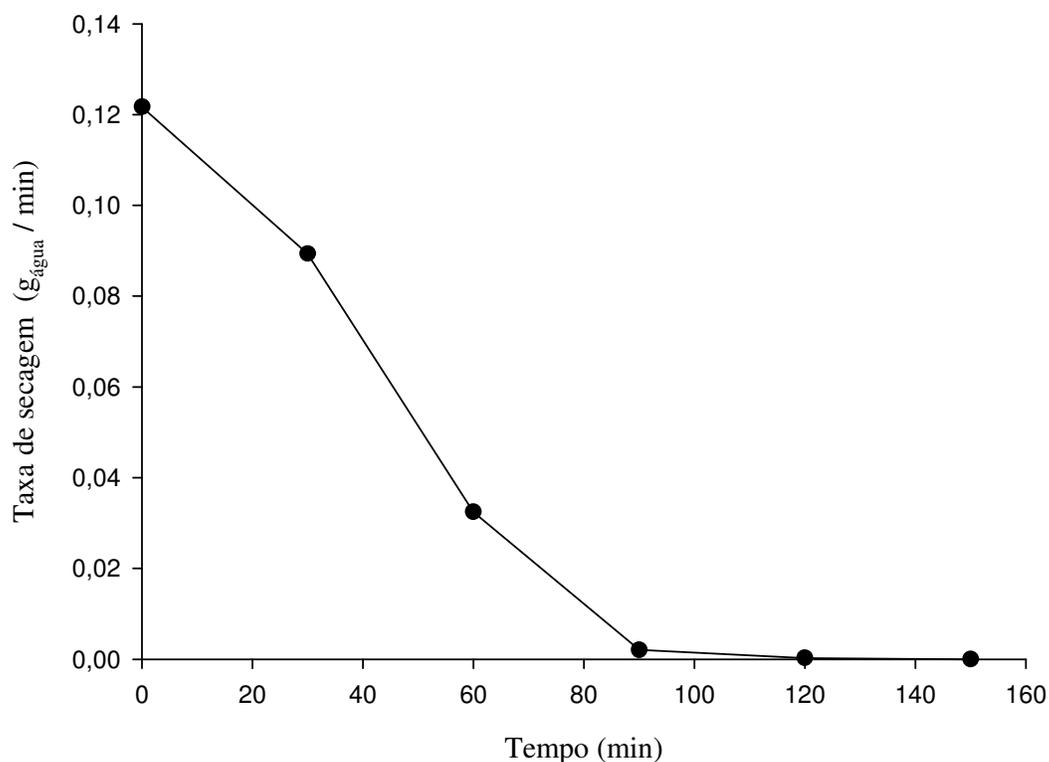


Figura 12 - Evolução da taxa de secagem da espuma do caldo de cana a 70°C no tempo.

Observa-se no gráfico que a espuma de caldo de cana não possui período de taxa constante. Fellows (2000) relatou que em alguns alimentos, como em grãos, o teor de umidade inicial está abaixo do teor crítico de umidade e o período de taxa decrescente é a única parte da curva de secagem que é observada. Já Park *et. al.* (2007) foi contundente em afirmar que o período 2 é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios

Também foi feito o estudo em torno da curva característica de secagem da espuma de caldo de cana, como mostra a Figura 13. Park *et. al.* (2007) cita o autor Van Meel (1957) como o primeiro a definir uma curva característica de secagem sem dimensão para um produto dado. Ele admitiu que o teor de água crítica de um produto é constante, e que as curvas de taxa de secagem, $dX/dt = f(X)$, obtidas para condições variadas de ar de secagem, apresentam semelhanças nas suas formas. Park *et. al.* (2007) sugeriu que o estudo em laboratório, em condições bem definidas, das cinéticas de secagem do produto, permite minimizar os altos custos envolvidos em estudo efetuado diretamente sobre um secador de grande porte. Então, o uso do estudo da curva característica de secagem de um produto mostrará de forma mais eficaz a sensibilidade do fenômeno em relação à temperatura do ar do que a mudança das propriedades do ar de secagem, como revelou esse estudo em espumas de caldo de cana. Nas temperaturas do ar de secagem de 50 e 70°C as curvas de características de secagem convergiram para um mesmo ponto, como mostra a Figura 13. A curva do ar de secagem a 60 °C não convergiu com as demais. Este resultado foi parecido com o resultado dos autores Fornell (1979) para milho e pedaços de alho-porro, Daudin (1979) para salsa e Gupta & Reddy (1980) para pétalas de rosa, todos estes citados por Park *et. al.* (2007).

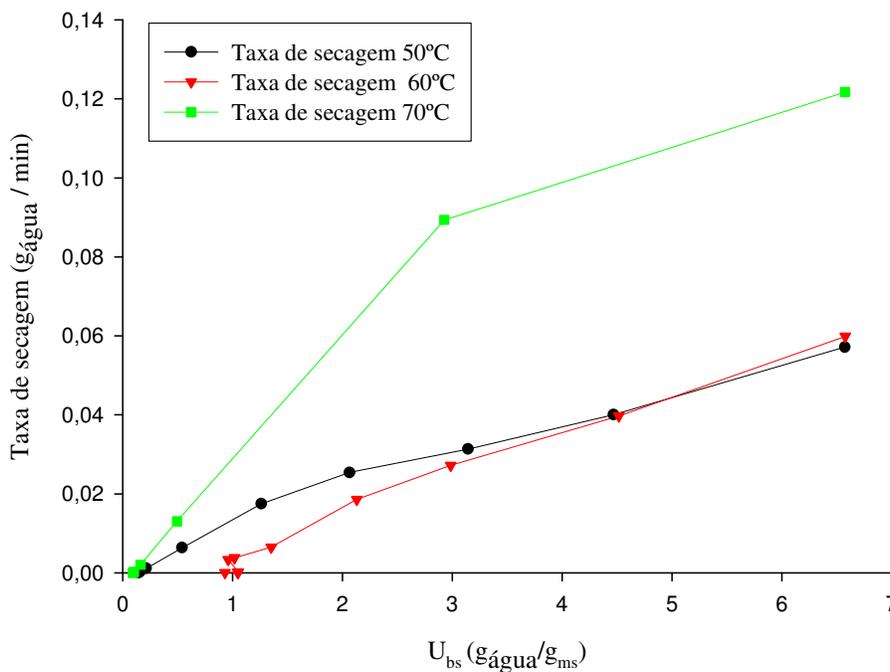


Figura 13 - Curva Característica de Secagem da espuma do caldo de cana nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

A temperatura de 70 °C apresentou a maior curva da taxa de secagem em relação aos outros dois tratamentos (Figura 13). A maior taxa de secagem obtida foi em 70 °C com valor de 0,122 g de água / min, enquanto a 50 °C e 60 °C foram 0,057 g de água / min e 0,060 g de água / min, respectivamente. Pode ser visto a influência da temperatura alta sobre a taxa de secagem em comparação com temperaturas mais baixas. Esses mesmos resultados foram observados em pesquisas com sementes de cacau por Hii *et. al* (2009).

O início do período 2 foi caracterizado no instante em que a remoção da água do interior da espuma do caldo de cana para superfície não era rápida o suficiente para manter a superfície da espuma úmida para que a taxa de secagem se mantivesse constante. Assim, as taxas de secagem para as três temperaturas neste período diminuíram rapidamente junto com redução da umidade da espuma. Este mesmo comportamento foi verificado por Karim e Wai (1999) com a espuma de purê de carambola e por Rajkumar *et. al.* (2007) com a espuma de purê de manga. Porém, Thuwapanichayanan *et. al.* (2007) relatou que na pesquisa realizada ocorreu um período de taxa de secagem constante na secagem de purê de banana. Neste trabalho foi observado que quanto maior a temperatura de secagem usada maior era a taxa de secagem apresentada pela espuma de caldo de cana. Thuwapanichayanan (2007) também observou essa característica na espuma de banana.

5.4.4 Caracterização do produto caldo de cana

O aspecto visual do produto, em flocos ou em pó (flocos moídos), pode ser observado na Figura 14. O produto em floco é mais fácil de dissolver e reconstituir em água que a forma em pó. Sua produção economiza moagem, mais exige etapa adicional de peneiramento classificatório para padronizar o tamanho dos flocos no produto final.



Figura 14 - Flocos (esquerda) e pó de caldo de cana desidratado em leito de espuma.

5.4.4.1 Atividade de água

Os valores de A_a do pó de caldo de cana seco à temperatura de 70 °C foi de 0,360 a 25 °C. Como o pó de caldo de cana é um produto seco, sua atividade de água é baixa. Muitos autores também acharam valores baixos para atividade de água para produtos secos e desidratados, como 0,112 para folhas de Melissa seca (PARK, SANDRINI E BROD, 2000), 0,466 ao secar mamão a 70 °C (EL-ELOUAR, 2007), em maçãs pré-tratadas osmoticamente e depois submetida a secagem convectiva a 60 °C, Córdova (2006) encontrou o valor de A_a igual a 0,534. Para café em pó, Anjos (2005) encontrou 0,32 e para grãos de soja secos Souza (2005) encontrou 0,542. Em berinjela (*Solanum melongena*) seca a 70 °C Cruz & Menegalli encontrou A_a igual a 0,393.

5.4.4.2 Índice de Solubilidade em Água

Encontrou-se o Índice de Solubilidade em Água do produto seco em forma de escamas igual a 100% e em forma de pó em 90,53%. Observa-se que os valores do ISA encontrados neste trabalho foram valores superiores aos valores encontrados por WANG (2000) em extratos hidrossolúveis de soja e arroz (50:50), ISA = 22,28 %, que chegaram a esse resultado com o uso de uma metodologia a partir do volume de resíduos sólidos obtidos após reconstituição do pó, centrifugação e secagem em estufa. Astolfi-Filho *et. al* (2005) determinaram a solubilidade de suco de acerola medindo-se o tempo necessário para a completa dissolução de 10 g do produto em 100 mL de água destilada a 25 °C. A mistura foi

agitada manualmente com um bastão de vidro e o tempo, medindo em um cronômetro, correspondeu ao momento em que não mais foram observadas partículas sólidas. Dacanal (2005) usou uma metodologia para avaliar suco de acerola granulado em que, após 1 minuto de agitação, a solução foi filtrada e seca à temperatura de 60 °C, por 24 horas. A massa seca de amostra retida no filtro foi então determinada e o percentual de material não-solubilizado calculado.

5.4.4.3 Análise sensorial

As Figuras 17, 18, 19 e 20 mostram o Perfil do consumidor de caldo de cana e avaliação sensorial do caldo de cana em pó reconstituído em água.

Na pesquisa, observa-se que a maioria das pessoas gostam de caldo de cana, respostas obtidas pela Perg-01 com 80,36 % dos participantes da pesquisa, conforme Figura 14. A maioria dos participantes da pesquisa foram mulheres, Figura 16, com 62,5 % do total e a maioria dos provadores possuía idade entre 20 e 23 anos numa frequência de 35,71 %, conforme Figura 17, isso se exemplifica pelo fato de ter sido uma pesquisa realizada em uma universidade. A menor idade encontrada entre os provadores foi 16 anos e a maior idade foi 53 anos. Houve uma pequena diferença das pessoas que gostam do caldo de cana misturado com sucos ácidos e das que não gostam, Perg-03 com a análise na Figura 15. Um percentual de 41,07 % não gostam de beber caldo de cana com sucos ácidos e 39,29 % gostam desse tipo de mistura, o resto dos participantes responderam que nunca experimentaram. Dos que gostam, a maioria, com 91 % das respostas, prefere o suco de limão, 9 % prefere suco de abacaxi e não houve provador que gostasse de suco de maracujá misturado com caldo de cana, como mostra a Figura 15. Pratti, Moreti e Cardello (2005) considerando os resultados do teste de aceitação e do teste de atitude de Compra realizado em seu trabalho, elegeu a amostra de garapa parcialmente clarificada-estabilizada com 5% de suco de maracujá como o produto preferido em termos de características sensoriais com alto percentual de atitude de compra, comparada com garapa parcialmente clarificada-estabilizada com 10% de suco de abacaxi, garapa parcialmente clarificada-estabilizada com 7,5% de suco de limão e garapa parcialmente clarificada-estabilizada acidificada com solução 10% de ácido cítrico.

Para a intenção de compra de caldo de cana em pó 82,14 % dos provadores informaram que comprariam o produto caso ele viesse a ser comercializado. Inclusive, uma

parcela dos comentários realizados por eles havia um questionamento da possibilidade de comercialização do produto por ser mais prático e confiável em termos de qualidade.

Na Ficha de avaliação sensorial foram analisados cinco atributos sensoriais: aroma, consistência, cor, sabor e impressão global. Quando Pratti, Moreti e Cardello (2005) fizeram estudo sensorial em bebida composta por mistura de garapa, avaliaram também cinco atributos: aroma, aparência, cor, sabor e impressão global. No trabalho desenvolvido por Silva & Faria (2006) em caldo de cana envasado à quente foram avaliados três atributos sensoriais: aparência, aroma e impressão global.

Todos os parâmetros avaliados tiveram excelentes notas, com médias superiores a 5,45 numa escala hedônica de 7 pontos, com destaque para o parâmetro impressão global que obteve a maior média com 5,88 como mostra a Figura 18.

Conforme mostra a Figura 19, no teste de aceitabilidade a frequência da nota 7 para os atributos aparência e impressão global foi de 37,5%, para o atributo aroma foi 36,36%, para o atributo sabor foi 34,55 % e para o atributo cor 26,79 %.

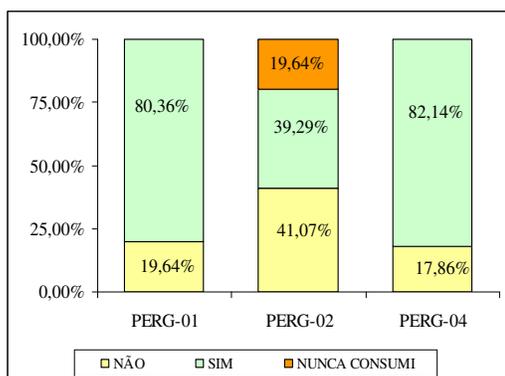


Figura 15 - Análise do Perfil Sensorial dos consumidores de caldo de cana que participaram do julgamento do caldo de cana em pó reconstituído em água.

PERG-01: Você é consumidor de caldo de cana?

PERG-02: Você gosta de caldo de cana misturado com sucos ácidos?

PERG-04: Você compraria caldo de cana em pó para preparo em sua casa?

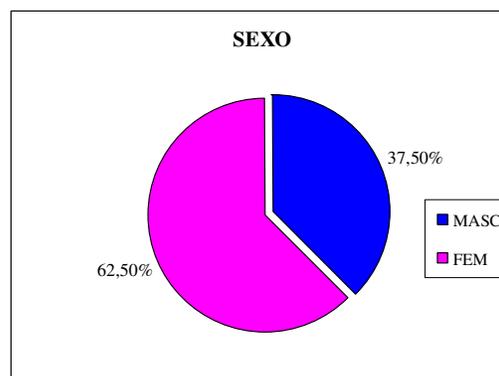


Figura 17 - Sexo dos provadores desta pesquisa.

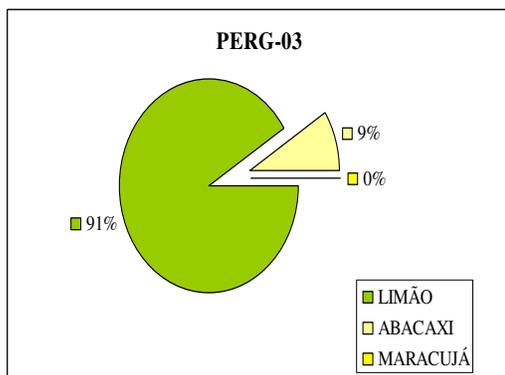


Figura 16 - Preferência do consumo de suco ácido com caldo de cana.

PERG-03: Se sim, qual suco você prefere?

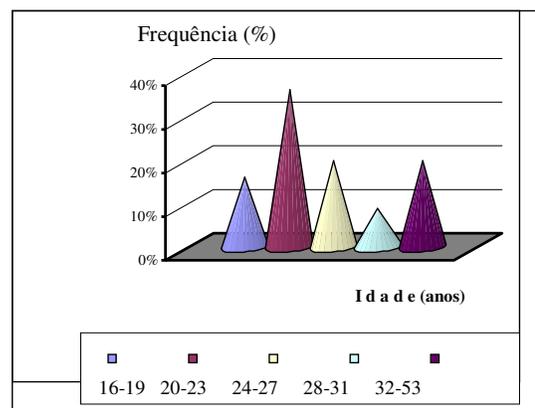


Figura 18 - Idade (anos) dos provadores de caldo de cana.

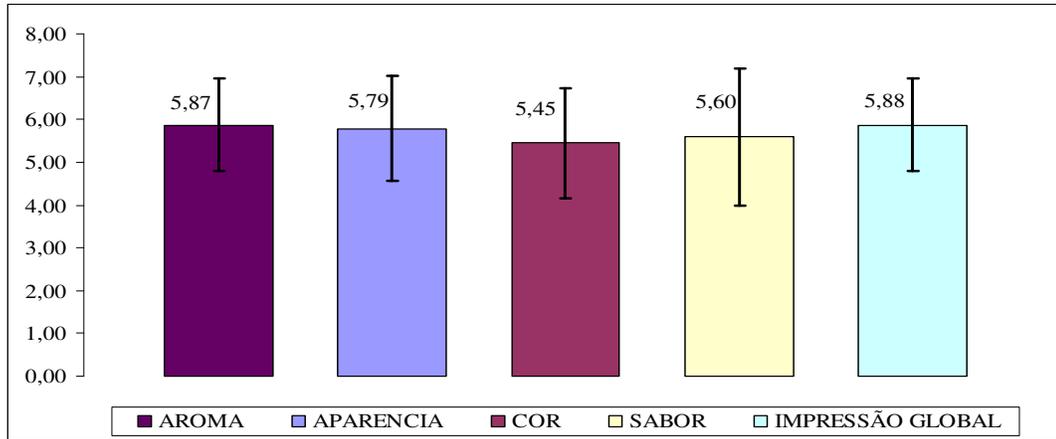


Figura 19 - Médias das notas para cada atributo avaliado obtidas pela análise sensorial.

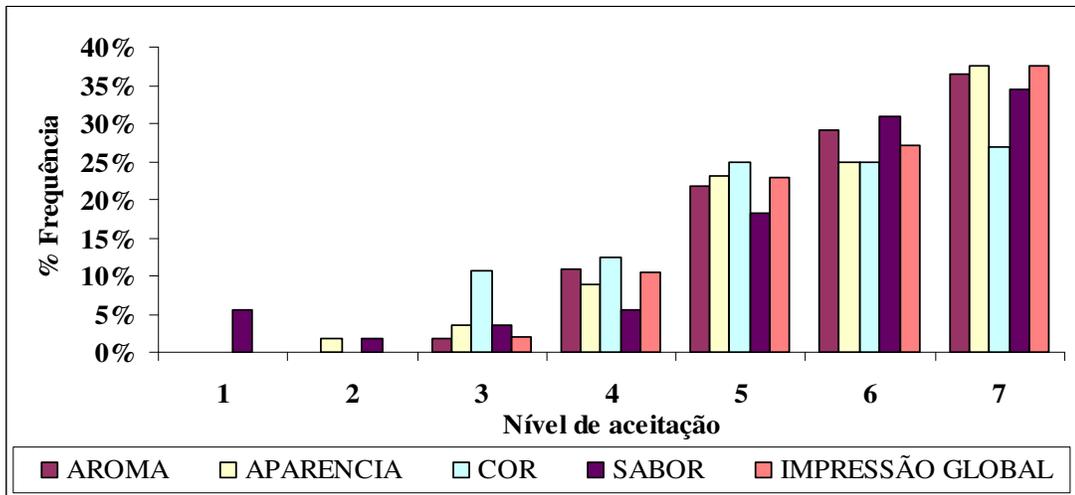


Figura 20 - Histograma de freqüência das notas da análise sensorial para cada atributo analisado.

6 CONCLUSÃO

As combinações de aditivos testadas mostraram-se eficazes para a formação de espumas de caldo de cana com excelentes propriedades para secagem, como expansão de espuma de até 200,79 %, densidade baixa entre 0,363 a 0,560 g/mL, com 0 % de sinérese e estabilidade 100%. A combinação Emustab[®] - Super Liga Neutra[®] - Carbonato de Cálcio demonstrou as melhores características além de formação de pó quando submetida a secagem.

O estudo da concentração de aditivos revelou sua importância onde se pode reduzir a quantidade de aditivos em 37% menos, sem alterar as características da espuma do caldo de cana. Contudo, o tempo de secagem da espuma com menor concentração de aditivos foi maior e o rendimento de pó da espuma seca dos tratamentos testados não foi influenciado pela concentração de aditivos.

A sinérese e a estabilidade são altamente influenciadas pelas diferentes concentrações de cada aditivo. O uso de maiores concentrações de SLN concede à espuma maior estabilidade e, conseqüentemente, menor sinérese.

Para a secagem de espumas é necessária uma grande área de secagem, fato atribuído a fina camada usada para a secagem que demanda maior área de secagem. O uso das lâminas de plástico como leito para esse tipo de secagem propiciou altos rendimentos de secagem, com desperdício quase nulo de pó de caldo de cana, além de evitar a coalescência e perda do material que poderia ser escoado do leito durante a secagem ou perdido durante a extração do leito de secagem.

A alta temperatura é preponderante para uma secagem mais rápida da espuma, mas não influencia no comportamento de secagem que é típico de um comportamento exponencial. No estudo realizado não foi identificada taxa de secagem constante para a espuma do caldo de cana. Para as temperaturas de secagem em estudo o Modelo de Page foi o que mais se adequou com ajustes dos dados de no mínimo 99,75 %.

A atividade de água reduziu em média 63,62 % e a umidade em base seca reduziu cerca de 99,23 %, características essas que conferirão ao produto seco uma boa estabilidade microbiológica e química. A solubilidade em água à temperatura ambiente foi maior e melhor quando o caldo de cana seco estava na forma de flocos.

A análise sensorial mostrou que a maioria das pessoas é consumidora de caldo de cana e que o suco de limão misturado ao caldo de cana é preferível em relação ao suco de

abacaxi ou maracujá. Em relação à atitude de compra do caldo de cana em pó as porcentagens de intenção foram elevadas com média maior que 82 %.

Quanto aos atributos analisados, destaca-se a impressão global com nota média 5,88, seguido de aroma 5,87, aparência 5,79, sabor 5,60 e cor 5,45.

Pode-se concluir que a técnica de secagem em leito espuma é eficaz para a secagem de caldo de cana até transformá-lo em pó com um alto índice de solubilidade em água e excelente aprovação sensorial.

7 REFERÊNCIAS

- AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.349-53, 1999.
- AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**. Mechanical Engineering Department, Firat University, Turkey, 2005.
- AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, London, v.59, n.1, p.99-104, 2003.
- ANJOS, V. D. DE A. Estudo do acondicionamento de café torrado e moído em sistemas unitizados. Campinas, SP: [s.n.], 2005. (Tese de Doutorado)
- ASTOLFI-FILHO, Z., SOUZA, A. C.; REIPERT, E. C. D.; TELIS & V. R. N. Encapsulação de suco de maracujá por co-cristalização com sacarose: cinética de cristalização e propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos Campinas**, out.-dez./2005.
- BAINI, R. & LANGRISH, T.A.G. Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. Department of Chemical Engineering, The University of Sydney, Australia, NSW 2006.
- BASTOS, D. da S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. de L. & VERRUMABERNARDI, M. R. Desidratação da polpa de manga “Tommy Atkins” Utilizando a técnica de Foam Mat Drying. Avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. **Brazilian Journal Food Technology**, v.8, n.4, p. 283-290, out.-dez./2005.
- BERISTAIN, C.I.; CORTÉS, R.; CASILLAS, M.A.; DÍAZ, R. Obtención de jugo de piña en polvo por el método desecado por espumas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.41, n.2, p.238-245, 1991.
- BHUPINDER, K.; SHARMA, K.P.; HARINDER, K. Studies on the development and storage stability of ready to serve bottled sugarcane juice. **International Journal of Tropical Agriculture**, v.9, n.2, p.128-134, jun./1991.
- BOERI, C. N.; KHATCHATOURIAN, O. Um modelo matemático para simulação de secagem de grãos de soja. [s/local]: [s/Ed], [s/data].
- BRENNAN, J. G. Food Dehydration: a dictionary and guide. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1994. 189p.
- BUCHELI, C.S.; ROBINSON, S. P. Contribution of enzymatic browning to color in sugarcane juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.42, n.2, p.257-261, fev./1994.

- CALIL, R. M.; AGUIAR, J. A. Aditivos nos alimentos. São Paulo: [s/Ed.], 1999.
- CAPITANI, C. D. Interação de proteínas do soro de leite com polissacarídeo: fracionamento e estudo das propriedades funcionais dos complexos. Campinas-SP: 2004. (Dissertação de mestrado).
- CARLESSO, V. DE O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F. DA; DETMANN, E. Avaliação de modelos de secagem em camada fina de sementes de maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, n.2, p.28-37, 2007.
- CÓRDOVA, K. R. V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã fuji comercial e industrial. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. (Dissertação de mestrado).
- DACANAL, G. C. Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leite fluidizado. Campinas-SP: UNICAMP, 2005. (Dissertação de Mestrado).
- DAVANÇO, T.: Desenvolvimento e caracterização de biofilmes à base de gelatina, triacetina, ácido esteárico ou ácido capríco e surfactantes. Campinas-SP: 2006. (Dissertação de mestrado).
- DEMIREL, D.; TURHAN, M. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. **Journal of Food Engineering**, n.59, p.1-11, 2003.
- DENCH, J. E.; RIVAS, R. N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesamun indicum L.*) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.32, n.6, p.557-564, 1981.
- EL-AOUAR, Â. A. Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya L.*) fresco e pré-tratado osmoticamente. Campinas-SP, 2005. (Tese de doutorado).
- ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, London, v.63, n.3, p.349-59, 2004.
- FELLOWS, P. Food Processing Technology. Principles and Practice. 2 Ed. New York: CRC Press., 2000, 562p.
- FERREIRA, L. R.; CONSALTER, R. C.; GASCHI, P. S.; PEREIRA, N. C. Clarificação do caldo de cana-de-açúcar por ultra filtração. **In VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Campinas-SP: UNICAMP, 2005.
- FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. DE M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, [s/n], jan.-abr./2001.
- FRANCIS, F. J. Encyclopedia of Food Science and Technology. 2 Ed., New York: John Wiley & Sons, v.1, 2000. 2907p.
- FURTADO, G. F.; PORTO, A. G.; ZELA, S. P. Avaliação físico-química do pequi submetido a secagem em camada delgada. **In: IV Congresso Interno de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/PROBIC - UNEMAT**, 2008, Cáceres - MT. *Anais do IV Congresso Interno de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/PROBIC - UNEMAT*, 2008.

- GARCIA-CRUZ, C. H. Uso de hidrocolóides em alimentos: revisão. **Higiene Alimentar**, v.15, p.19-28, 2001.
- GLICKSMAN, M. The role of hydrocolloids in food processing: cause and effect. *In: Gums and stabilizers for the food industry*. Oxford: Pergamon Press, v.2, p.297-320, 1983.
- GOUVEIA, J. P. G. DE; MOURA, R. S. F. DE; ALMEIDA, F. DE A. C.; OLIVEIRA, A. M. DE V.; SILVA, M. M. DA. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.6, n.3, p.471-474, 2002.
- GREENSRNITH, M. **Practical dehydration**. 2 Ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1998, 302p.
- GURJÃO, K. C. DE O.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. DE A. C.; BRUNO, R. DE L. A.; PEREIRA, W. E. Cinética de secagem da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma ("foam-mat drying"). *In XX Congresso Brasileiro de Fruticultura*. 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture. Centro de Convenções, Vitória-ES, 2008.
- HENDERSON, S.M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficients. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, GB, v.6, n.3, p.169-174, 1961.
- HIL, C. L.; LAW, C. L. & CLOKE, M. Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. **Journal of Food Engineering**, [s/vol.], [s/p.], 2009.
- IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3 ed. São Paulo: IAL, 1985.
- KARIM, A. A.; WAI, C. C. Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola L.*) puree by using methyl cellulose. **Food Technology Division**, School of Industrial Technology, University Saints Malaysia, Penang, Malaysia, [s/vol.], [s/p.], 1999.
- KOKINI, J.; AKEN, G. V. Discussion session on food emulsions and foams. **Discussion Food Hydrocolloids**, v.20, p.438-445, 2006.
- LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J.T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, London, v.61, 2004.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Metodologia Científica. São Paulo: Atlas, 1991, 249p.
- LAWHON, J.T.; CATER, C.M.; MATIL, K.F. A comparative study of the whipping potential of an extract from several oilseed flours. **Cereal Science Today**, Saint. Paul, v.17, n.4, p.240-294, 1972.
- LIMA, A. da S.; FIGUEIREDO, R. W. de; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUSA, P. H. M. de. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. Jaboticabal-SP, **Revista Brasileira Fruticultura**, v.26, n.1, 2004.

- MARTINS, N. G. S. Dissertação: Os fosfatos na cana de açúcar. Piracicaba-SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
- MATTA, V. M. da; CABRAL, L. M. C.; SILVA, L. F. M. Suco de acerola microfiltrado: avaliação da vida-de-prateleira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.24, n.2, 2004.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAZ, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v.20, n.7, p.1503-1513, 2002.
- MORENO, T.; STÁBILE, D. D. M.; CORSO, L. C.; BARROS, S. T. D. DE & MENDES, E. S. Clarificação do caldo de cana-de-açúcar por microfiltração utilizando membranas cerâmicas. *In VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*. UNICAMP, Campinas, SP. 2005.
- MORGAN, A. I. Jr; GINETTE, L. F.; RANDALL, J. M.; GRAHAM, R. P.; Technique for improving instant foods. **Food Engineering**, v.31, n.9, p.89-94. 1959.
- NETER, J; WASSERMAN, W.; KUTNER, M.H. Applied Linear Statistical Models. 2 Ed. Illinois: Richard D. Irwin Inc., 1985. 1.127p.
- NOBRE, L. N.; BRESSAN, J.; SOBRINHO, P. DE S. C.; COSTA, N. M. B.; MININ, V. P. R.; CECON, P. R.; Volume de iogurte *light* e sensações subjetivas do apetite e homens eutróficos e com excesso de peso. **Revista de Nutrição**, Campinas, set.-out./2006.
- OLIVEIRA, A. C. G. de.; Efeito do tratamento térmico e da radiação gama na estabilidade físico-química, microbiológica e sensorial do caldo de cana puro e adicionado do suco de frutas, armazenado sob refrigeração. Piracicaba-SP: USP, 2007. (Dissertação de mestrado Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”).
- OLIVEIRA, A. C. G. de; SPOTO, M. H. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SOUSA, C. P. de; GALLO, C. R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Ciência e Tecnologia Alimentos, Campinas**, out.-dez./2007.
- PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. & PARK, K. J. B. Conceitos de processo e Equipamentos de secagem. Obtido no site: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>. Acessado em setembro de 2007.
- PARK, K. J.; SANDRINI, D.; BROD, F. P. R. Avaliação dos parâmetros de secagem da melissa (*Melissa officinallis* L.). **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.20, n.2, p.179-187, maio/2000.
- PINTO, E. S. L. Cana-de-açúcar: estudos brasileiros n°22. Brasília: Ministério da Agricultura, 1965.
- PINTO, W. da S.; DANTAS, A. C. V. L.; FONSECA, A. A. O.; LEDO, C. A. da S. L.; JESUS, S. C. de; CALAFRANGE, P. L. P.; ANDRADE, E. M. Caracterização física, físico-química de frutos de genótipos de cajazeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1.059-1.066, set./2003.

- PRATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: review. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.49, n.2, p.311-319, 2001.
- PRATI, P.; CAMARGO, G. A. Característica do caldo de cana e sua influencia na estabilidade da bebida. **BioEng**, Campinas-SP, v.2, n.1, p.37-44, jan.-abr./2008.
- PRATI, P.; MORETTI, R. H. Desenvolvimento de processo para clarificação de caldo de cana para consumo. **Anais XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Porto Alegre, 2002.
- PRATI, P., MORETTI, R. H.; CARDELLO, H. M. A. B. Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e sucos de frutas ácidas. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, [s/pg.], jan.-mar./2005.
- QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R. A. Effect of maturity on chlorophyll, tannin, color and poliphenol oxidase (PPO) activity of sugarcane juice (*Saccharum officinarum* var. yellow cane). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, vol.50, n.6, p.1615-1618, 2002.
- RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISHWANATHAN, R.; K.PARVATHI, RAGHAVAN, G.; ORSAT, V. Thin Layer Drying Study on Foamed Mango Pulp. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript**. vol.9, março/2007.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa-MG: UFV, 2001, 301 p.
- RODRIGUES, M. E. DE A.; ALMEIDA, F.O DE A. C.; GOUVEIA, J. P. G. DE; SILVA, M. M. DA. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.141-147, 2002.
- SABADINI, E.; HUBINGER, M. D.; SOBRAL, P. J. do A.; CARVALHO Jr., B. C. Alterações da atividade de água e da cor da carne no processo de elaboração da carne salgada desidratada. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, jan.-abr./2001
- SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behavior of ripe bananas. *Technologie*, 2004.
- SATTERLEE, L.D.; BEMBERS, M.; KENDRICK, J.G. Functional properties of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris*) protein isolate. **Journal of Food Science**, Chicago-USA, v.40, p.81-84, 1975.
- SANTOS, I. J. DOS; COUTO, S. M.; ANDRADE, E. T. DE. Cinética de secagem em camada fina do malte verde de cevada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.3, n.1, p.53-59, 2001.
- SGARBIERI, V. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradação e modificação**. São Paulo: Varela, 1996, 84p.
- SILVA, K. S. DA; Avaliação de processo de industrialização de caldo de cana-de-açúcar (*Sacharum ssp*) por enchimento a quente e sistema asséptico. Campinas-SP: 2004. (Dissertação de mestrado).

SILVA, K. S. da; FARIA, J. de A. F.; Avaliação da qualidade de caldo de cana envasado a quente e por sistema asséptico. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. Campinas-SP, out.-dez./2006.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.35, n.5, p.1179-1184, 2005.

SINGH, D.; CHAUHAN, O. P.; TYAGI, S. M.; BALYAN, D. K. Studies on Preservation of Sugarcane Juice. **International Journal of Food Properties**, v.5, p.217-229, 2002.

SIVASUBRAMANIAN, C.G.;PAI, J.S. Effect of heat treatments on the quality of sugarcane juice. **Indian Food Packer**, v.48, p.51-54, 1994.

SOARES, E. B.; GOMES, R. L. F.; MELLO E CARNEIRO, J. G. DE; NASCIMENTO, F. N. DO; SILVA, I. C. V. COSTA; J. C. L. DA; Comunicação científica: caracterização física e química de frutos de cajazeira. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v.28, n.3, p.518-519, dez./2006.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F. DE; MAIA, G. A.S; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA JR., A.; SOUZA FILHO, M. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia Emarginata* D.C.) pelo processo "foam-mat". **Ciência Tecnologia de Alimentos**. v.21, n.2, p.164-170, Ago./2001

SOARES, S. C. **Estudos comparativos de métodos para enumeração de coliformes em alimentos**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1999, 52p. (Trabalho de Conclusão de Curso - Especialização em Tecnologia de Alimentos).

SOCOL, C. R.; SCHWAB, A.; KATAOKA, C. E. Avaliação microbiológica do caldo de cana (garapa) na cidade de Curitiba. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.8, n.2, p.116-125, jul.-dez./1990.

SOLER, M. P.; VEIGA, P. G. Especial: Sorvetes. Série publicações técnicas do centro de informação em alimentos - N.1. [s/local]: ITAL/CIAL, 2001. (ISSN: 1519-524).

SOUSA, C. R. DE. Avaliação de processo de produção de água de coco (*Cocos nucifera*) por ultra filtração e envase asséptico em garrafas de vidro. Campinas-SP: 2006.

SOUSA, M. B. DE; J PEDROZA, DE P.; BELTRÃO, N. E. DE M.; L. S. SEVERINO. **Cinética de secagem da torta de mamona**. In III congresso brasileiro de mamona: energia e ricinoquímica. [s/local]: [s/data].

SOUZA, A. S. DE. Efeitos da irradiação na composição e propriedades funcionais da soja. Campinas-SP: 2006. (Tese de doutorado).

SOUZA NETO, M. A. DE; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W. DE; SOUZA FILHO, M. DE S. M. DE; LIMA, A. DA S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. **Ciência agrotécnica**. Lavras-MG, v.29, n.5, p.1021-1028, set.-out./2005.

SPENCER, E. F. Cane sugar handbook: A manual for cane sugar manufactures and their chemists. New York: J. Wiley, 1963, 845p.

STUPIELLO, J. P. **A cana-de-açúcar como matéria-prima.** In: PARANHOS, S. B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas-SP: Fundação Cargill, v.2, 1987.

TEIXEIRA, G. H. de A. Frutos do bacurizeiro (*Platonia insignis*): caracterização, qualidade e conservação. Jaboticabal-SP: Universidade Estadual Paulista, 2000. (Dissertação da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da Universidade Estadual Paulista).

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, [s/n], 2007.

TRUDA, L. A defesa da produção açucareira. Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comercio / Instituto do Açúcar e do Alcool, 1971. (Coleção Canavieira nº6).

UBOLDI, M. Desidratação por camada de espuma (foam-mat) de suco de tomate. Campinas-SP: Universidade Estadual de Campinas, 1971. (Dissertação da Faculdade de Engenharia de Alimentos).

VERNON-CARTER, E.J.; ESPINOSA-PAREDES, G.; BERISTAIN, C.I.; ROMERO-TEHUITZIL, H.R. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavor retention of tamarind foam-mats. **Food Research international**, n.34, p.587-598, 2001.

VIEIRA, H.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.7, n.1, 2007.

VITALI, A. de A.; NETO, T. R. O.; JARDIM, D. C. P.; QUAST, G. D.; PADULA, M. e MORI, E. E. M. M. Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados. Manual Técnico – N.6. 2 ed.. Campinas-SP: ITAL, 1996.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and emulsifying properties of soybean products. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v.36, n.5, p.719-727, maio/1972.

YUSOF, S.; SHIAN, L. S.; OSMAN, A. Changes in quality of sugar-cane juice upon delayed extraction and storage. **Food Chemistry**, v.68, p.395-401, 2000.

WANG, S. H.; CABALLERO-CÓRDOBA, G. M.; SGARBIERI, V. C. Propriedades funcionais de misturas de farinhas de trigo e soja desengordurada, pré-tratadas por microondas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v.12, n.1, p.14-25, 1992.

WANG, S. H.; FERNANDES, S. M.; CABRAL, L. C.; ARAUJO, F. B. Absorção de gordura, solubilidade e propriedades espumantes dos extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v.20, n.2, maio-ago./2000.

WILDE, P.J.; CLARK, D.C. Foam formation and stability. In: HALL, G.M. (Ed), *Methods of Testing Protein Functionality*. London: Chapman e Hall, cap.5, p.110-152, 1996

ZANOELO, E.F.; CELSO, G.M. DI; KASKANTZIS, G. Drying Kinetics of Mate Leaves in a Packed Bed Dryer. Biosystems Engineering, 2007.

ZHANG, Q.; LITCHFIELD, J.B. An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. [s/local]: [s/ed.], [s/data].