

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

POLLYANNA CRISTINA GOMES E SILVA

**SECAGEM DA FOLHA DE GUAJIRU (*Chrysobalanus icaco* L.) PELO
MÉTODO DE CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)**

JOÃO PESSOA
2020

POLLYANNA CRISTINA GOMES E SILVA

SECAGEM DA FOLHA DE GUAJIRU (*Chrysobalanus icaco* L.) PELO MÉTODO DE
CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)

JOÃO PESSOA
2020

POLLYANNA CRISTINA GOMES E SILVA

SECAGEM DA FOLHA DE GUAJIRU (*Chrysobalanus icaco* L.) PELO MÉTODO DE
CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a Dra. Josilene de Assis Cavalcante

Coorientadora: Prof^a Dra. Julice Dutra Lopes

JOÃO PESSOA
2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586s Silva, Pollyanna Cristina Gomes e.
Secagem da folha de guajiru (*Chrysobalanus icaco* L.)
pelo método de camada de espuma (FOAM-MAT DRYING) /
Pollyanna Cristina Gomes e Silva. - João Pessoa, 2020.
90 f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.
Coorientação: Julice Dutra Lopes.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia química. 2. Atividade de água. 3. Ajuste matemático. 4. Medicina tradicional. I. Cavalcante, Josilene de Assis. II. Lopes, Julice Dutra. III. Título.

UFPB/BC CDU 66.0(043)

POLLYANNA CRISTINA GOMES E SILVA

SECAGEM DA FOLHA DE GUAJIRU (*Chrysobalanus icaco* L.) PELO MÉTODO DE
CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovado em: 31 de agosto de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Josilene de Assis Cavalcante – PPGEQ/CT/UFPB
(Orientadora)



Prof. Dra. Julice Dutra Lopes – DEQ/CT/UFPB
(Coorientadora)



Prof. Dr. Carlos Alberto Bispo de Sousa – PPGEQ/CT/UFPB
(Examinador Interno)



Prof. Dra. Melânia Lopes Cornélio – DEQ/CT/UFPB
(Examinadora Externa)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Eu superior pela minha vida e por ter me sustentado durante cada passo da minha vida acadêmica.

A todos os meus familiares em especial: à minha mãe Iracema e ao meu pai Ibelmon por todo amor que compartilhamos nesta vida, por serem meus maiores incentivadores, sempre acreditando no meu potencial e me apoiando tanto emocionalmente, bem como financeiramente. Ao meu irmão Raphaell, meu grande professor desta vida, que nasceu com um grande retardamento mental e desafiou a ciência ao viver até os 27 anos com toda sua força e garra, sempre me apoiando com seu amor e carinho e me dando forças para continuar seja fisicamente ou como minha estrelinha. A minha avó Romilda que me ensinou que o céu é o meu limite, me incentivando a ter coragem sempre e nunca desistir dos meus sonhos. As minhas tias queridas Rosicleide, Rosângela e Rosineide pelo apoio, carinho e dedicação.

A minha orientadora Josi, por aceitar o desafio de me orientar e por ter acreditado no meu trabalho e potencial. Muita gratidão pela paciência, carinho, apoio e por todo aprendizado compartilhado.

A minha coorientadora Prof^ª Dra. Julice Dutra Lopes pela atenção e ajuda dada durante todo decorrer da pesquisa.

A Prof^ª Melânia Lopes Cornélio, pela disponibilidade em participar da banca, por ter me aceitado como sua aluna no estágio docência e por ter me incentivado a não desistir nos momentos de dificuldade. Gratidão também pelas valiosas contribuições no decorrer desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Bispo de Sousa, pela disponibilidade em participar da banca e pelas valiosas contribuições que aprimoraram os resultados da pesquisa.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química por todo saber compartilhado, em especial ao professor Nagel pela atenção e dedicação durante o decorrer do mestrado.

Aos meus irmãos de coração: Rayssa, Ramísio e Jandiara. Por todo amor, amizade e incentivo em todos os momentos da minha vida. Amo vocês!

Aos meus amigos e primos queridos pela amizade e apoio durante a pesquisa em especial para: Ibernon, Cristina, David, Simão, Thayana, Ana Carolina, Wanessa, Cícera e Aparecida.

Aos colegas da graduação e do mestrado que foram verdadeiros parceiros no decorrer do curso: Geniellen, Quissi, Claudiana, Palloma, Anna Caroline, Mariana e Jéssica. Muita gratidão!

Aos técnicos de laboratório Clediana, Rafael e Débora por disponibilidade e atenção.

A Fabrício, secretário do PPGEQ por toda dedicação, profissionalismo e disposição sempre.

E a todos aqueles que passaram pela minha vida e me ajudaram de maneira direta e indireta na concretização desse sonho.

RESUMO

O *Chrysobalanus icaco* L., popularmente chamado no Brasil por guajiru, abajerú, guajuru, entre outros, é uma planta que vem sendo utilizada na medicina tradicional há alguns anos. Da planta são utilizadas suas diferentes partes, desde as folhas, bem como o fruto e sua casca. O uso das folhas é tradicional em algumas regiões do Brasil e do México devido a sua utilização na forma de chás. Uma vez coletadas as folhas, o seu tempo de vida útil é curto. Desta forma se pode utilizar o método de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) a fim de melhorar a conservação das mesmas. Logo, este trabalho teve por objetivo produzir o pó da folha de guajiru pelo método de secagem em camada de espuma. Elaborou-se um planejamento experimental fatorial completo 2^3+3 pontos centrais com o intuito de analisar as influências das variáveis independentes: concentração de emulsificante (3, 4 e 5%), temperatura de secagem (50, 60 e 70 °C) e tempo de agitação (3, 5 e 7 min) com variável dependente tempo de secagem durante o processo e na caracterização do pó obtido, por meio de análise estatística. Foram realizadas as caracterizações físicas e físico-química da espuma formada: capacidade de incorporação de ar (*over run*), percentual de expansão, densidade, estabilidade e umidade em base úmida. Através dos dados da cinética foram apresentadas as curvas de secagem e curvas para as taxas de secagem. Os resultados mostraram curva típica de secagem em dois períodos, um período longo de taxa constante seguido por um período curto de taxa decrescente. Constatou-se também que a medida em que a temperatura de secagem aumentou houve redução no tempo de secagem. A variável que mais influenciou no processo de secagem foi a de temperatura. Observou-se menor tempo de secagem de 40 minutos e tempo de máximo de 140 minutos. Verificou-se que as maiores taxas de secagem foram apresentadas nos experimentos à temperatura de 70 °C, já as menores taxas foram à 50 °C. Os modelos matemáticos que melhores se ajustaram aos dados da cinética foram os de Page Modificado e Page para todas as temperaturas (50, 60 e 70 °C). As amostras de pó mostraram atividade de água em média de 0,290 dentro dos parâmetros exigidos pela legislação. Nos 11 ensaios o pó produzido apresentou média de pH de 5,49. Para característica físico-química (macronutrientes) o pó da folha de guajiru mostrou teor de cinzas com média de 7,20 % e apresentou altos valores de compostos bioativos. A secagem em camada de espuma é considerada uma técnica eficaz para obtenção do pó da folha de guajiru pois é capaz de preservar as propriedades presentes na folha.

Palavras-chave: medicina tradicional, atividade de água, ajuste matemático

ABSTRACT

The *Chrysobalanus icaco* L. popularly called in Brazil by guajiru, abajerú, guajuru, among others, is a plant that has been used in traditional medicine for some years. The plant uses its different parts, from the leaves, as well as the fruit and its peel. The use of leaves is traditional in some regions of Brazil and Mexico due to its use in the form of teas. Once the leaves are collected, their useful life is short. In this way, the foam-mat drying method can be used in order to improve their conservation. Therefore, this work aimed to produce the powder of the guajiru leaf by the method of drying in a foam layer. A complete factorial experimental design $2^3 + 3$ central points was elaborated in order to analyze the influences of the independent variables: emulsifier concentration (3, 4 and 5%), drying temperature (50, 60 and 70 °C) and drying time. agitation (3, 5 and 7 min) with dependent variable drying time during the process and in the characterization of the obtained powder, by means of statistical analysis. The physical and physical-chemical characterizations of the formed foam were carried out: capacity to incorporate air (over run), percentage of expansion, density, stability and humidity on a wet basis. Through the kinetics data, drying curves and curves for drying rates were presented. The results showed a typical drying curve in two periods, a long period of constant rate followed by a short period of decreasing rate. It was also found that as the drying temperature increased, there was a reduction in drying time. The variable that most influenced the drying process was temperature. A shorter drying time of 40 minutes and a maximum time of 140 minutes were observed. It was found that the highest drying rates were presented in the experiments at 70 ° C, while the lowest rates were at 50 ° C. The mathematical models that best fit the kinetics data were those of Modified Page and Page for all temperatures (50, 60 and 70 ° C). The powder samples showed water activity on average of 0.290 within the parameters required by law. In the 11 tests, the powder produced showed an average pH of 5.49. For physical-chemical characteristics (macronutrients) the powder of the guajiru leaf showed an ash content with an average of 7.20%. and presented high values of bioactive compounds. Foam layer drying is considered an effective technique for obtaining the powder from the guajiru leaf as it is able to preserve the properties present in the leaf.

Keywords: traditional medicine, water activity, mathematical adjustment

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 O USO DAS PLANTAS MEDICINAIS NA FITOTERAPIA	16
2.2 CARACTERÍSTICAS DO GUAJIRU (<i>CHRYSOBALANUS ICACO</i> L.)	17
2.3 SECAGEM	19
2.3.1 Curvas de secagem	20
2.3.2 Secagem em camada de espuma	22
2.3.3 Modelagem matemática para secagem	23
3 METODOLOGIA	25
3.1 MATÉRIA PRIMA	26
3.2 PREPARO DO COMPOSTO VEGETAL DA FOLHA DE GUAJIRU	26
3.3 TESTES PRELIMINARES PARA PRODUÇÃO DA ESPUMA	27
3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DA ESPUMA	28
3.4.1 Densidade da espuma	28
3.4.2 Percentual de expansão da espuma	29
3.4.3 Capacidade de incorporação de ar (<i>over run</i>)	29
3.4.4 Estabilidade da espuma	29
3.4.5 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e acidez total tituláveis (ATT)	30
3.4.6 Umidade da espuma	31
3.5 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (<i>FOAM – MAT DRYING</i>)	31
3.5.1 Planejamento experimental fatorial completo	31
3.5.2 Secagem em camada de espuma	32
3.5.3 Cinética de secagem	34
3.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E QUÍMICA DO PÓ DA FOLHA DE GUAJIRU POR CAMADA DE ESPUMA	35
3.6.1 Determinação da atividade de água (a_w)	35
3.6.2 Determinação do rendimento teórico	35
3.6.3 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)	36

3.6.4	Determinação de sólidos solúveis totais – SST (°Brix)	36
3.6.5	Determinação da Acidez Total Tituláveis (ATT)	36
3.6.6	Determinação do índice de solubilidade em água (ISA)	36
3.6.7	Determinação da Umidade do pó	37
3.6.8	Determinação do Teor de cinzas (macronutrientes)	37
3.7	DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS EXISTENTES NA FOLHA DE GUAJIRU	38
3.7.1	Clorofila (A, B e totais)	38
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
3.9	AJUSTE MATEMÁTICO DOS DADOS EXPERIMENTAIS	38
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	PREPARO DO COMPOSTO VEGETAL DA FOLHA DE GUAJIRU	38
4.2	CARACTERIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO AGENTE ESPUMANTE DA FOLHA DE GUAJIRU	39
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DA ESPUMA	41
4.3.1	Densidade da espuma	41
4.3.2	Percentual de expansão da espuma	43
4.3.3	Capacidade de incorporação de ar (<i>over run</i>)	46
4.3.4	Estabilidade da espuma	48
4.3.5.	Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e Acidez Total Tituláveis (ATT)	51
4.3.6	Determinação do teor de Umidade da espuma	52
4.4	SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (<i>FOAM – MAT DRYING</i>)	54
4.4.1	Análise estatística das variáveis independentes	54
4.4.2	Cinética de secagem	55
4.4.3	Ajuste matemático dos dados experimentais	59
4.4.4	Análise estatística dos resultados do planejamento	66
4.5	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, FÍSICA E QUÍMICA DO PÓ DA FOLHA DE GUAJIRU	70
4.5.1	Determinação da atividade de água (a_w), Umidade (%), Potencial hidrogeniônico (pH), Sólidos Solúveis Totais – SST (°Brix) e acidez total titulável (ATT).	70

4.5.2 Determinação do rendimento teórico e índice de solubilidade em água (ISA), para o pó da folha de guajiru	75
4.5.3 Determinação do teor de cinzas (macronutriente) do pó da folha de guajiru	77
4.6 COMPOSTOS BIOATIVOS PRESENTES NA FOLHA DE GUAJIRU	78
4.6.1 Clorofila	78
5. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICES	89

1 INTRODUÇÃO

Norte do Brasil, o extrato das folhas de guajiru é utilizado largamente na medicina tradicional para prevenção e controle de glicemia em pacientes diabéticos, uma vez que a planta apresenta em sua composição a miricitrina, quercitrina e outros derivados de miricetina (BARBOSA et al., 2006; PARACAMPO, 2017). O chá da folha de guajiru também foi testado em camundongos diabéticos e não diabéticos e seus efeitos evitaram significativamente os sintomas da diabete mellitus (DM) atuando diretamente na prevenção e controle da hiperglicemia (AGUIAR, 2010). Devido à propriedade adstringente das raízes, cascas, flores e folhas, a planta também é utilizada no tratamento de doenças infecciosas, problemas intestinais e hemorragias (SANTANA e SILVA, 2000).

Além de ter apresentado efeitos positivos no tratamento da diabete mellitus, também foram encontradas no guajiru propriedades que inibiram o crescimento de algumas células tumorais (FERNANDES et al., 2003; OLIVEIRA, 2012), e ações antifúngicas contra o fungo *Candida albicans*, graças aos constituintes presentes na folha: flavonoides, triterpenos, taninos e esteroides (CASTILHO et al., 2000; CHAUDHUR et al., 2002; FERNANDES et al., 2003; PARACAMPO, 2017; PERES, 2012).

Popularmente o guajiru é conhecido também por: abajurú, guajuru, Ajuru, fruta do mangue, entre outros. Na medicina tradicional são aproveitadas todas as partes da planta, desde as cascas, raízes, sementes, frutos, flores e folhas. O seu fruto adocicado tem sido utilizado também na culinária, na fabricação de doces e conservas, com grande valor econômico em países como Cuba e México. (SANTANA e SILVA, 2000).

Além de ser uma planta típica da costa brasileira, o guajiru também pode ser encontrado na costa de outros países da América do Sul e Central bem como na costa africana. Por ser típica de clima tropical, essa planta é resistente a salinidade e a baixos níveis de umidade do solo (BELTRÁN et al., 2018). Nesse contexto o uso do produto em pó se torna viável facilitando assim sua comercialização para as diversas regiões do país e do mundo.

Um dos principais problemas de armazenamento e conservação da maioria dos vegetais e frutos é o curto período de vida útil após a sua colheita. Outro entrave está na região em que são cultivados, dependente do clima, do solo e de outros fatores para seu desenvolvimento. Nesse sentido o processo de secagem em camada de espuma surge como uma alternativa viável para a produção do produto em pó, entre as vantagens pode-se citar: aumento de vida de prateleira, redução da atividade de água e microbiológica, custos menores

com transporte, embalagem e armazenamento. Além de que o processo é bastante simples e de baixo custo pois não depende de equipamentos muitos sofisticados se comparado a outros processos de secagem, por exemplo, a liofilização (GURGEL et al., 2015).

Existem vários fatores que influenciam o apodrecimento dos alimentos, a saber: acidez, pH, atividade de água, composição química/biológica, entre outros. Se for diminuído o teor de umidade, a atividade metabólica de qualquer microrganismo é afetada diretamente evitando assim a sua proliferação. A secagem então irá atuar perante a atividade de água do produto aumentando a durabilidade do mesmo. Trata-se de um dos métodos mais utilizados na produção de farinhas e pós na indústria alimentícia. Este método consiste na aplicação de calor a uma amostra que contém água de modo que se possa evaporar uma quantidade significativa do líquido obtendo assim um produto final, neste caso, um sólido seco com baixa umidade (TELES et al., 2016; TERRA, FREITAS e CICHOSKI, 2007).

Apesar do guajiru apresentar uma vasta propriedade medicinal já enfatizadas pela literatura, não foram encontrados trabalhos direcionados para a produção de pós e/ou farinhas. Desta forma, optou-se por estudar o processo de secagem em camada de espuma (*foam-mat-drying*) da sua folha. Espera-se com esta pesquisa otimização no processo de secagem em camada de espuma e produção do pó da folha de guajiru em condições de uso para a produção em escala industrial.

Conclui-se também que devido a variação de nomeação da planta, optou-se nesta pesquisa pelo uso da determinação mais comum no campo científico e popular, guajiru.

1.1 OBJETIVO GERAL

Obtenção do pó da folha do guajiru (*Chrysobalanus icaco*) pelo método de secagem em camada de espuma.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir parâmetros operacionais para produção da espuma e secagem da mesma;
- Realizar a caracterização física e físico-química da espuma a ser seca, analisando a densidade, capacidade de incorporação de ar (*over run*), percentual de expansão da espuma, estabilidade, potencial hidrogeniônico (pH), acidez total tituláveis (ATT) e umidade em base úmida;

- Estudar a cinética de secagem das folhas de guajiru, em leito de espuma, baseado no planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais (11 experimentos) e avaliar a influência das variáveis de entrada (concentração de emulsificante; temperatura de secagem; tempo de agitação) sobre a resposta (tempo de secagem);
- Realizar a análise estatística dos dados experimentais obtidos através do planejamento experimental fatorial;
- Fazer ajuste matemático dos dados obtidos na secagem em camada espuma;
- Realizar caracterizações físico-químicas, físicas e químicas do pó obtido: acidez titulável total (ATT), análise de clorofila (*a*, *b* e totais), atividade de água, teor de cinzas, potencial hidrogeniônico (pH), rendimento, sólidos solúveis totais (°Brix), índice de solubilidade em água e umidade em base úmida.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O USO DAS PLANTAS MEDICINAIS NA FITOTERAPIA

As plantas medicinais são utilizadas na medicina popular desde os primórdios da civilização. Há relatos que em 2.600 a. C., na Mesopotâmia, algumas espécies de plantas eram utilizadas na medicina popular, algumas delas ainda são citadas pela sociedade atual (GURIB-FAKIM, 2006).

No Brasil existe uma vasta herança da medicina popular indígena cujos medicamentos foram sendo introduzidos na medicina tradicional após a escassez de remédios nas colônias (MACIEL, PINTO e VEIGA, 2002).

Assim, percebe-se que a busca por vegetais com propriedades terapêuticas tem atravessado gerações. As plantas medicinais são usadas como o único recurso terapêutico de uma parcela da população brasileira e de mais de 2/3 da população do planeta (NEWALL, ANDERSON e PHILLIPSON, 2002).

Muitas dessas plantas são reconhecidas como medicamento fitoterápico. No Brasil existe uma legislação específica que regulamenta a sua produção e utilização, a Portaria 06/95 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A Resolução RDC, nº 26/2014 da ANVISA, define que os medicamentos fitoterápicos são “obtidos com emprego exclusivo de matérias-primas ativas vegetais cuja segurança e eficácia sejam baseadas em evidências clínicas e que sejam caracterizados pela constância de sua qualidade” (BRASIL, 1995; BRASIL, 2014).

O fitoterápico age no organismo como uma forma de diminuir, curar ou prevenir as patologias. Ele também é um fármaco de menor custo aos serviços públicos de saúde se comparado aos outros. A diferença dos custos no processo industrial é que os remédios que passam por síntese química possuem um preço relativamente maior do que os fitoterápicos por conta das patentes envolvidas no processo (TOLEDO et al, 2003).

De acordo com Miguel e Miguel (1999) o estímulo pelo uso da medicina complementar foi aprovado através da Resolução WHA 31.33 (1978) da Organização Mundial da Saúde (OMS) sendo renovado em 2002. Segundo Argenta et al. (2011), no Brasil, a alternativa também foi incluída, em 2005, no Sistema Nacional de Saúde (SUS).

Segundo Toledo et al. (2003) existem etapas durante a produção desses fármacos que envolvem diversas áreas, entre elas: botânica, farmacologia, biotecnologia, entre outras. Existem passos para que um fitoterápico seja desenvolvido que atravessam a pesquisa

científica, levantamento bibliográfico e ensaios práticos. Esses avaliam algumas condições, a saber: estudos etnobotânico (estudo da utilização popular da planta), toxicidade e atividades farmacológicas. Todas essas condições são avaliadas e regulamentadas por legislações específicas a fim de manter o controle de qualidade dos produtos (MIGUEL e MIGUEL, 1999).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO GUAJIRU (*Chrysobalanus icaco* L.)

O guajiru é um arbusto que pertence à família *Chrysobalanaceae*. O arbusto (Figura 2.1) é natural das florestas tropicais e está presente em toda América Tropical. A planta é encontrada em áreas próximas a zonas costeiras, por isso a ideia também da denominação popular de fruta do mangue (AGUIAR, 2010; BELTRÁN et al, 2018).

Figura 2.1 – Arbusto do guajiru (*Chrysobalanus icaco* L)



Figura 2.2 – Fruto do guajiru (*Chrysobalanus icaco* L)



A espécie é pertencente à classe das *Angiospermae*, subclasse das *Dicotiledónea*, superordem *Rosidae*, ordem *Rosales*, da família *Chrysobalanaceae* e gênero *Chrysobalanus*. Também é conhecida por icaco devido à relação com o seu nome científico. O guajiru possui uma casca marrom escura, apresentando lenticelas que envolvem todo o caule da planta. Suas folhas (Figura 2.1) são esverdeadas e brilhantes, arredondadas nas pontas e podendo chegar a oito centímetro. Seu fruto amadurecido (Figura 2.2) se apresenta em formato esférico, na cor vermelha ou roxo escuro, possui uma polpa esbranquiçada e adocicada, semente lisa e esférica (GARCIA et al., 2011; VARGAS, 1998).

Devido às propriedades climáticas da região do estado da Paraíba, o guajiru também é considerado vegetação de abundância no litoral paraibano e utilizado na medicina popular na prevenção e controle da hiperglicemia, ou seja, da diabete mellitus (LUCENA et al., 2018).

É devido a composição de vitaminas, minerais, gordura e carboidratos; e por possuir propriedades adstringentes, que o guajiru tem sido utilizado na medicina popular e consequentemente na tradicional. Pesquisadores têm testado sua eficiência no tratamento de diabetes e também como agente antitumoral (AGUIAR, 2010; BARBOSA et al., 2006; BELTRÁN et al, 2018; FERNANDES et al., 2003; OLIVEIRA, 2012; SANTANA e SILVA, 2000).

Com relação às propriedades medicinais da planta, Aguiar (2010) realizou um estudo em que caracterizou fisicamente e quimicamente as folhas, frutos e sementes do guajiru e avaliou o efeito do chá das folhas em camundongos normais e diabéticos. Os chás das folhas na concentração de 2,5% mostraram eficácia na redução nos valores de glicemia nos camundongos doentes. Sintomas típicos da diabete mellitus como perda de peso, alteração na pelagem e alteração na cicatrização não foram percebidos nos camundongos que consumiram o chá, ou seja, o chá das folhas do guajiru apresentaram efeitos positivos na prevenção e controle de hiperglicemia nesses animais. Segundo ela, a pesquisa ainda sugere que o seu fruto é uma boa fonte de minerais e agentes antioxidantes de acordo com os resultados que obteve, bem como o óleo da semente e podem ser utilizados para agregar valores nutricionais em dietas tradicionais.

Paracampo (2017) analisou o extrato hidroalcolico da folha de guajiru e identificou compostos como a miricitrina, a quercitrina e radicais de ácido glucurônico, que são poderosos agentes antioxidantes atuando diretamente em processos de inflamação celular. No extrato metanólico foram identificados a miricetrina, quercetina e o ácido gálico.

Com relação ao tratamento das enfermidades, o extrato aquoso da folha de guajiru apresentou redução nos níveis de triglicerídeos em ratos e em camundongos diabéticos e não

ocorreu toxicidade de seu uso em dose de até 5g/Kg. O extrato metanólico também apresentou atividade antimicrobiana *in vitro* contra *Staphylococcus aureus* e *Streptococcus pyogenes*. Já o extrato hidroalcolico mostrou testes positivos em isolados clínicos bucais de *Candida albicans* e *Candida parapsilosis* (CASTILHO et al, 2000; CHAUDHUR et al., 2002; FERNANDES et al., 2003; PARACAMPO, 2017; PERES, 2012).

O extrato aquoso da entrecasca do guajiru foi avaliado em pesquisas com células que apresentavam linhagens tumorais. O ensaio mostrou que o extrato inibiu o crescimento celular para os tipos de células tumorais testadas. O composto também não apresentou atividade citotóxica significativa para nenhuma delas (FERNANDES et al., 2003; OLIVEIRA, 2012).

2.3 SECAGEM

A secagem de alimentos é um dos procedimentos de conservação mais antigo utilizado na indústria. Sua prática consiste em retirada de água ou quaisquer líquidos presente no material orgânico que possam ser retirados através da aplicação de calor de modo que se possa evaporar uma quantidade significativa do líquido obtendo assim um produto final, neste caso, um sólido seco. Esse método tem sido objeto de estudo constante para que possa ser aperfeiçoado a fim de obter produtos com melhores qualidades e menor tempo de produção (AKIPINAR, BICER e. YILDIZ, 2006; EL-AOUAR, 2005).

O deterioramento microbiano em materiais orgânicos é algo que está em constante estudo diante das perspectivas atuais que visam a sua industrialização e comercialização. Analisa-se o aumento de vida de prateleira e melhores condições de armazenamento e transporte. Entre os fatores que influenciam o apodrecimento dos alimentos tem-se: o pH, acidez, composição química/biológica, atividade de água, entre outros. (FRANCO e LANDGRAF, 1996).

A secagem irá atuar perante a atividade de água desses produtos, pois se for diminuído o teor de água de um dado alimento, a atividade metabólica do microrganismo será diretamente afetada evitando assim a sua proliferação. Para Celestino nos parâmetros relacionados a atividade de água com valores inferiores a 0,3 não existe desenvolvimento de microrganismo pois a velocidade das reações químicas e enzimáticas tende à zero, já para valores aproximados a 0,6 há um pequeno ou nenhum crescimento desses microrganismos. (CELESTINO, 2010; FRANCO e LANDGRAF, 1996).

Diferente do que ocorre nos processos de filtração e centrifugação, a secagem utiliza o mecanismo de vaporização térmica na aquosidade do material. Esta vaporização decorre da

movimentação que ocorre por ação da diferença de pressão de vapor tanto na superfície do material como de umidade do ar que o envolve. Para que este processo ocorra é primordial que a pressão de vapor que atua na superfície do material seja maior do que o teor de vapor no ar da secagem (PARK, NATSUMEDA e DE OLIVEIRA, 1996; RONCHETI, 2014).

Os processos de liofilização, secagem convencional, atomização, secagem em camada de espuma, entre outros, são mecanismos utilizados pela indústria com o intuito que reduzir o teor de água presente em um material. Eles se diferenciam entre si devido ao tempo no processo de desidratação, gasto de energia, qualidade do produto final bem como suas características. Cada processo utiliza também um equipamento específico para produção (RONCHETI, 2014).

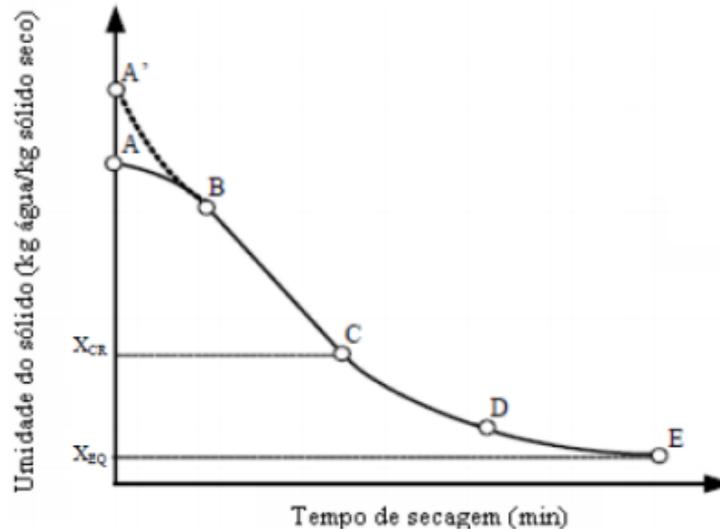
2.3.1 Curvas de secagem

De acordo com Menezes (2013) o comportamento da curva de secagem de um sólido úmido mediante um fluxo de ar a uma determinada temperatura é sempre o mesmo.

De acordo com Dantas (2010) os dados obtidos durante o processo de secagem em camada de espuma são encontrados através da relação entre o teor de umidade e tempo de secagem do material originando graficamente a curva de cinética de secagem (Figura 2.3).

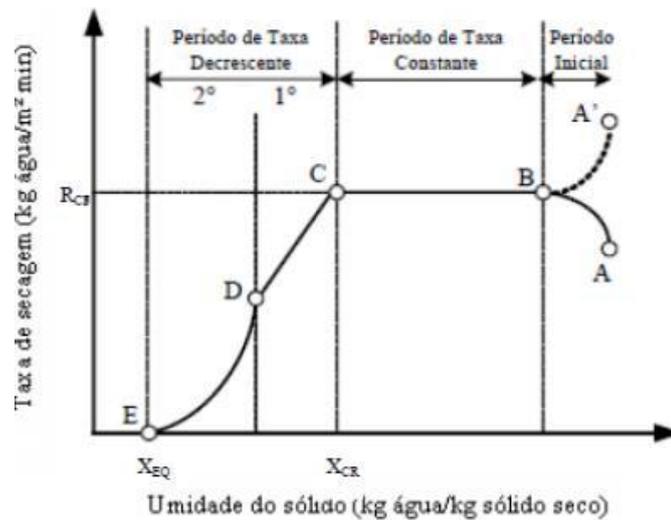
No decorrer do processo ao colocar a amostra na estufa e/ou secador, tem-se um período curto de estabilização em que a área da amostra é aquecida até a temperatura de bulbo úmido, após esta etapa é que se inicia a secagem. Enquanto houver movimento da água em taxa constante a superfície do material continuará úmida até que ocorra variação da taxa de secagem (FELLOWS, 2006; FOUST, 1982).

Figura 2.3 – Curva experimental de cinética de secagem



Fonte: FOUST (1982)

Figura 2.4 – Curva experimental da taxa de secagem



Fonte: FOUST (1982)

Na Figura 2.4 verifica-se dois períodos que são característicos do processo de secagem. Tem-se entre BC um período que apresenta uma taxa de secagem constante e no segmento CE ocorre o período de taxa decrescente.

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

Dentro do processo de secagem tem-se o método de secagem em camada de espuma. Desenvolvido ainda em 1950 por Morgan e patentado em 1961, este método de secagem é utilizado a fim de que alimentos líquidos possam ser transformados em pó devido a ação de agentes emulsificantes. Ele tem sido bastante utilizado pois é capaz de conservar certas características do produto como: sabor, cor e alguns compostos voláteis que geralmente se perdem em outros tipos de secagem (FELLOWS, 2006).

Neste método, o alimento líquido ou pastoso é transformado em espuma, isto ocorre devido a adição de emulsificantes e incorporação do ar. A prática em questão é realizada com auxílio de batedeiras ou de equipamentos capazes de gerar a espuma. Após a produção da espuma, a mesma é disposta em refratários, utilizando-se camadas com cerca de 2 a 5 mm de espessura e dispostas em estufa a diferentes temperaturas. É através do produto formado que se origina um pó com capacidade de reidratação (FELLOWS, 2006).

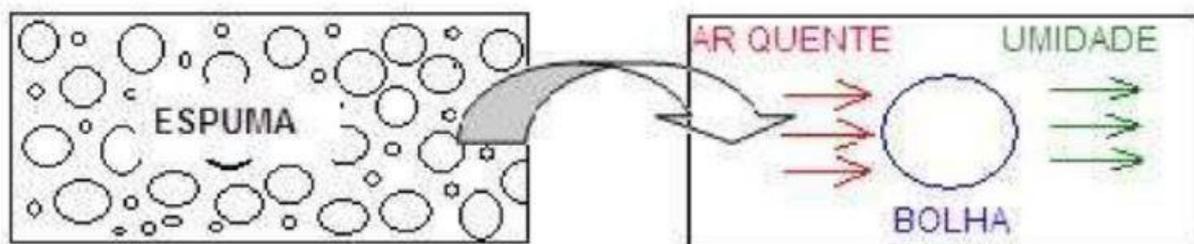
Como todo método, este tipo de secagem apresenta suas vantagens e desvantagens. Entre as vantagens tem-se o baixo custo operacional, a utilização de temperaturas mais baixas comparado aos demais processos de secagem, aceleração no processo de remoção de água e obtenção de um produto poroso que pode ser facilmente triturado e reidratado. Já entre as desvantagens tem-se a questão da área de superfície da secagem, caso em grande escala o custo é aumentado; alteração no sabor do alimento devido ao emulsificante adicionado; e por fim com relação as propriedades higroscópicas do pó quando possuem umidade inferior a 5% que dificultam a sua reidratação (FRANCIS, 2000).

O método de secagem em camada de espuma é composto por três etapas básicas: inicialmente o suco ou polpa é transformado em espuma estável através da adição de agentes espumantes, logo após o material passa pelo processo de desidratação que vai desde da camada fina até a massa constante e desintegração da massa seca que geralmente se apresenta em escamas para posterior formação do pó. Esse procedimento pode ser realizado em temperaturas de aproximadamente 70 °C ou menor (SILVA et al., 2005).

Energia mecânica é aplicada ao adicionar o emulsificante com o intuito de que ocorra formação de uma espuma estável. Na Figura 2.3 está disposto o mecanismo que ocorre neste processo de secagem, em que se tem primeiramente uma formação de espuma para posterior

exposição à uma corrente de ar quente. É justamente o movimento da umidade por forças capilares mediante a película líquida que desprendem as bolhas de ar da espuma e o material é secado mais facilmente (DANTAS, 2010; SOUZA, 2011).

Figura 2.3 – Mecanismo da secagem em camada de espuma.



Fonte: DANTAS (2010).

2.3.3 Modelagem matemática para secagem

A cinética da secagem também pode ser definida matematicamente através de modelos semiempíricos ou puramente empíricos como forma de adaptar e otimizar o processo de secagem. Os modelos empíricos correlacionam o conteúdo médio de umidade com o tempo de secagem baseando-se na teoria difusional, segunda Lei de Fick, já os modelos semiempíricos estão de acordo com a Lei de Newton, com relação ao resfriamento e transferência de massa (DANTAS, 2010; MENEZES et al., 2013).

Na prática a aplicação desses modelos são de grande importância pois eles reduzem a quantidade de experimentos em laboratório. Eles também descrevem o fenômeno fornecendo assim dados importantes que servem de modelo para o desenho de novos sistemas e melhoria de sistemas já existentes (WAUGHON e PENA, 2008; FRANCO, 2015).

Existem vários modelos matemáticos empregados na secagem de alimentos, estes também são utilizados na secagem em camada delgada. Araújo et al. (2017) destacou alguns desses modelos, a saber: Newton, Page, Page modificado e Henderson e Pabis. No quadro 2.1 estão dispostos alguns dos modelos matemáticos encontrados na literatura.

Quadro 2.1 – Modelos matemáticos utilizados para ajustes da secagem em camada de espuma

Nome do modelo	Modelo
Newton	$RU = e^{-kt}$
Page	$RU = e^{-kt^n}$
Page Modificado*	$RU = ae^{(-kt)^n}$
Henderson e Pabis	$RU = ae^{-kt}$
Logarítmico	$RU = ae^{-kt} + c$
Dois termos	$RU = ae^{-kt} + be^{-nt}$
Aproximação de difusão	$RU = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$
Wang e Singh	$RU = 1 + at + bt^2$
Midilli, Kucuk e Yapar	$RU = ae^{-kt^n} + bt$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X_0

*Modificado por MANGUEIRA (2018).

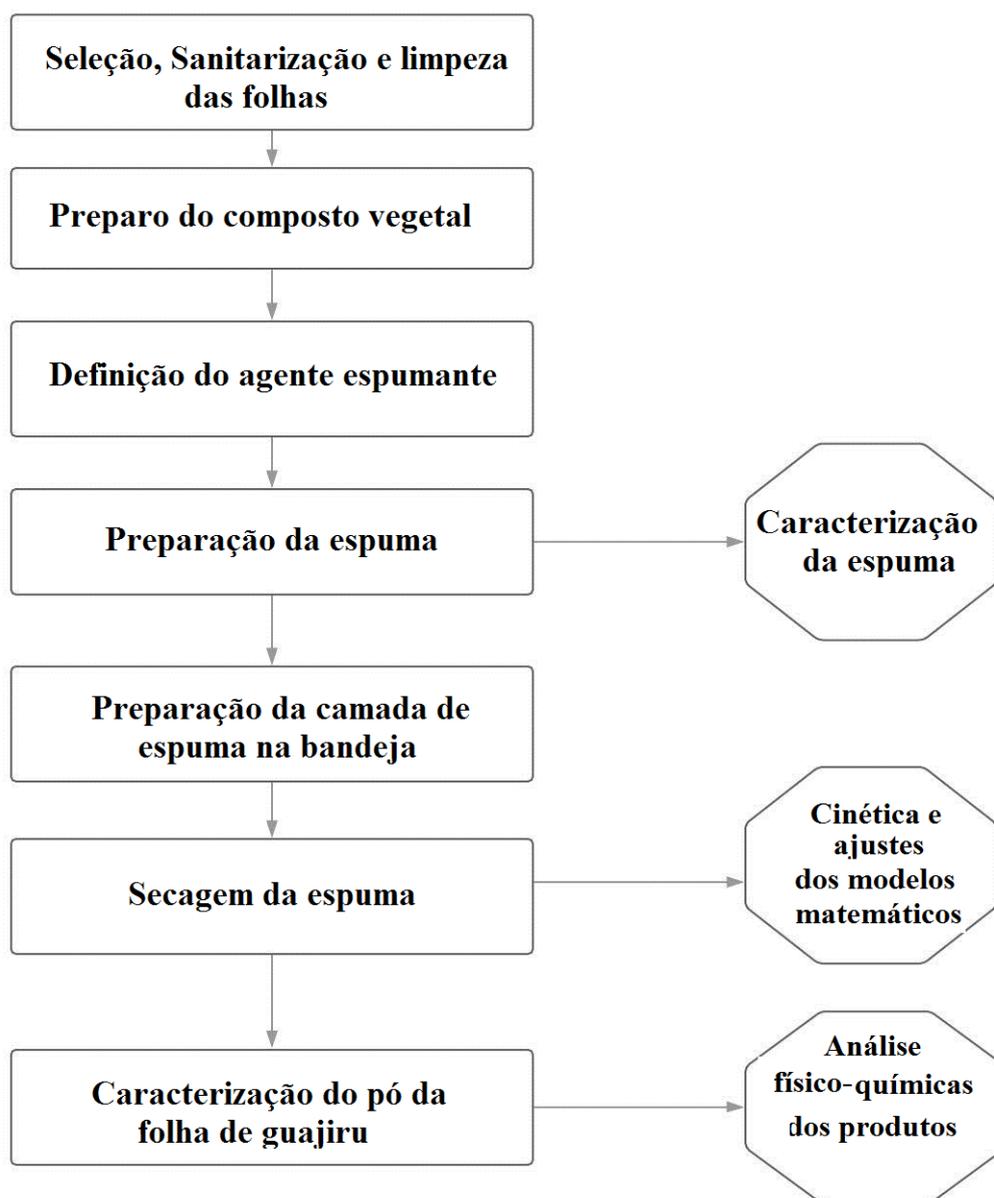
Fonte: Adaptado de ERTEKIN e YALDIZ (2003), FRANCO (2015).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada nos Laboratórios do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia (DEQ/CT/UFPB) e no Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas (LARBIM/UFPB) do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba.

O procedimento experimental de secagem em camada de espuma foi realizado conforme o fluxograma apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 Fluxograma utilizado para o processo de secagem em camada de espuma



3.1 MATÉRIA-PRIMA

As folhas de guajiru foram coletadas da Granja São Rafael localizada no distrito de Tejucupapo, no município de Goiana, Pernambuco. No período de outubro de 2018 a novembro de 2019.

A fim de preservar as propriedades do material, a coleta do material foi realizada entre 24 e 48 horas antes dos experimentos e conservadas em refrigerador e/ou caixa térmica com gelo. As folhas foram selecionadas visualmente e levadas ao Laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

Após lavadas em água corrente, as folhas passaram pelo processo de sanitização, seguindo as regras da Resolução RDC nº 218/2005 da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (BRASIL, 2005). Todas foram colocadas em um recipiente de plástico e adicionados hipoclorito de sódio na proporção de 10 mL para cada 2 litros de água (200 ppm), deixando de repouso por cerca de 10 minutos. Em seguida, todas foram lavadas em água corrente novamente.

3.2 PREPARO DO COMPOSTO VEGETAL DA FOLHA DE GUAJIRU

Inicialmente foram testadas as concentrações de 30, 60 e 90% (Figura 2.2) de massa de folha de guajiru a fim de definir a melhor concentração para o composto vegetal, bem como a formação da espuma necessária para o processo de secagem. Preparou-se o composto vegetal da folha de guajiru de duas formas diferentes, com os talos e sem os talos da folha.

Após a coleta e sanitização das folhas, o composto vegetal foi preparado seguindo as condições já citadas. Para cada 100 gramas de folha foram utilizados 300 mL de água destilada, homogeneizado em um liquidificador industrial da marca Metvisa em potência máxima por um minuto e meio.

3.3 TESTES PRELIMINARES PARA PRODUÇÃO DA ESPUMA

O composto vegetal da folha de guajiru não é capaz de formar a espuma apenas com a agitação, portanto foi necessário a adição de um agente espumante para que ocorresse a formação da espuma e conseqüentemente o processo de secagem. Assim, foram realizados

testes iniciais com três tipos de aditivos: Portogel que apresenta em sua composição: água, propileno glicol e emulsificantes (monoglicérides destilados, éster de poliglicerol e estearato de potássio); Emustab® composto por água e emulsificantes (monoglicérides de ácidos graxos destilados, estearato de potássio, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearato de sorbitana); e o pó da entre casca do juá. Os dois primeiros são agentes espumantes presentes no mercado, já o pó da entre casca do juá foi criado e produzido pela equipe técnica do laboratório de Termodinâmica da UFPB, através do método de secagem em camada de espuma, seguindo a metodologia utilizada por Negreiros (2019) com patente registrada em BR 10 2017 023344 8.

Todos os testes foram realizados de acordo com o ponto mínimo do planejamento fatorial completo com concentração de 3% de agente espumante e tempo de agitação de 3 minutos e nas concentrações de composto vegetal com 30% e 60% de massa de folha.

O composto vegetal homogeneizado da folha de guajiru foi batido juntamente com o emulsificante nas concentrações em massa (3%, 4% e 5%) e tempo de agitação (3 min, 5 min e 7 min) definidos no planejamento fatorial completo. Esses parâmetros foram estabelecidos de acordo com Leite, 2018; Oliveira, 2018 e Negreiros, 2019; trabalhos realizados anteriormente. Para a agitação foi utilizado uma batedeira planetária Deluxe da marca Arno.

3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ESPUMA

3.4.1 Densidade da espuma

Na determinação da densidade das espumas obtidas foram colocadas em provetas de 50 mL, preenchendo totalmente o volume da proveta, pesou-se em seguida todo o sistema em balança semi-analítica, marca Shimadzu modelo BL3200H.

A densidade foi calculada através da relação massa x volume de acordo com a Equação 3.1. Os experimentos foram feitos em triplicata.

$$\rho_{\text{amostra}} = \frac{m_{\text{amostra}}}{V_{\text{proveta}}} \quad (3.1)$$

Em que:

ρ_{amostra} = densidade da amostra (g/cm^3);

m_{amostra} = massa da amostra (g);

V_{proveta} = volume da proveta (cm^3).

3.4.2 Percentual de expansão da espuma

Com os valores de densidades do composto vegetal e da espuma relacionado com a Equação 3.2 foi possível calcular o percentual de expansão da espuma. Os experimentos foram feitos em triplicata.

$$\text{Expansão(\%)} = \frac{\frac{1}{\rho_{\text{espuma}}} - \frac{1}{\rho_{\text{cv}}}}{1/\rho_{\text{cv}}} \times 100 \quad (3.2)$$

Em que:

%*expansão* = percentual de expansão da espuma (%);

ρ_{espuma} = densidade da espuma (g/cm³);

ρ_{cv} = densidade do composto vegetal (g/cm³).

3.4.3 Capacidade de incorporação de ar (*over run*)

A capacidade de incorporação de ar (*over run*) foi calculada de acordo com metodologia proposta por Cruz (2013) onde, segundo o autor, esta capacidade está diretamente relacionada ao volume de ar introduzido após adição do espumante e agitação.

Para análise e cálculo foram adicionadas diferentes concentrações em massa de emulsificantes definidas no planejamento a 100 mL do composto vegetal da folha de guajiru, agitados conforme os tempos de agitação estabelecidos e adicionados a um béquer com capacidade de 600 mL e posterior anotação do volume ocupado pela espuma formada. O cálculo foi feito pela Equação 3.3. Os experimentos foram feitos em triplicata.

$$\% \text{ de overrun} = \frac{V_{\text{espuma}} - V_{\text{cv}}}{V_{\text{cv}}} \times 100 \quad (3.3)$$

Em que:

V_{espuma} = Volume da espuma após agitação (cm³)

V_{cv} = Volume do composto vegetal e espumante antes da agitação (cm³)

3.4.4 Estabilidade da espuma

Todos os testes de estabilidade da espuma foram realizados de acordo com o método adaptado por Karim e Wai (1999). Este método se baseia em deixar a espuma repousando em um filtro sobre um funil em uma proveta graduada, utilizando-o as mesmas condições de quando realizada a secagem. Desta forma, foram adicionados cerca de 15 g da espuma em

cada sistema (Figura 3.2) seguindo as condições das variáveis de agente espumante, tempo de agitação e temperaturas definidas no planejamento. O volume drenado foi verificado a cada 10 minutos, durante 90 min. Os experimentos foram feitos em triplicata.

Para os testes iniciais de estabilidade com os emulsificantes Portogel e pó da entre casca do juá foram utilizadas as concentrações mínimas de agentes espumantes (3%) e tempo de agitação (3 min) nas temperaturas definidas no planejamento (50 e 70 °C). E também no ponto central com 4% de concentração de agente espumante, 5 min de tempo de agitação e 60 °C, temperatura da estufa.

Figura 3.2 – Teste de estabilidade da espuma da folha de guajiru.



3.4.5 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e Determinação da Acidez Total Tituláveis (ATT)

De acordo com Soares (2009) o agente espumante pode influenciar na acidez titulável do produto final mesmo sem existir alterações significativas ($P < 0,01$) no pH. Portanto, tornou-se necessário realizar as análises de pH e Acidez Total Tituláveis da espuma com o intuito de compará-las com os resultados obtidos das análises realizadas no pó.

Para determinação do pH das amostras foi utilizado o pHmetro digital, calibrado com soluções padrão com pH 4 e 10. Para cada 0,5 g da amostra foram utilizados 5 mL de água destilada. As soluções foram agitadas com auxílio do agitador magnético, filtradas em papel de filtro e para posterior leitura do pH.

Para determinação da acidez foram pesados 10 g da amostra e transferidos para um erlenmeyer de 125 mL. Para diluição foram adicionados 90 mL de água destilada mais 3 gotas

do indicador fenolftaleína. Após preparo da solução se montou um sistema de titulação em que uma bureta foi preenchida com solução de hidróxido de sódio $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ para posterior titulação até verificar o ponto de viragem. Realizou-se então o cálculo da acidez de acordo com a Equação 3.4:

$$ATT = \frac{V * f * M * MP}{10 * P * n} \quad (3.4)$$

ATT = acidez (g de ácido cítrico orgânico %);

V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL);

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio;

P = massa da amostra (g);

PM = peso molecular do ácido cítrico;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio;

n = número de hidrogênio ionizáveis.

3.4.6 Umidade da espuma

Utilizou-se a metodologia descrita por IAL (2008) para medir o teor de umidade da espuma. Em que foram pesados cerca de 1g da amostra e dispostas em estufa a uma temperatura de $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e deixada permanecer por 24 h. Após este tempo as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas novamente. O teor de umidade foi calculado pela diferença entre a massa inicial e a massa final pós estufa. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

3.5 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM – MAT DRYING*)

3.5.1 Planejamento experimental fatorial completo

Os experimentos preliminares mostraram que três variáveis independentes influenciavam no processo de secagem do material, a saber: concentração em massa do emulsificante; temperatura e tempo de agitação (Tabela 3.1). Foi feito então um planejamento fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais, com oito ensaios distintos e mais três repetições no ponto central (Tabela 3.2).

Tabela 3.1 – Valores codificados e reais das variáveis independentes:

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Concentração do Emulsificante (%)	3	4	5
Temperatura de secagem (°C)	50	60	70
Tempo de agitação (min)	3	5	7

Tabela 3.2 – Matriz do planejamento experimental fatorial completo 2³ com três repetições no ponto central

Experimento	Variáveis independentes		
	C (%)	T (°C)	tag (min)
1	-1 (3)	-1 (50)	-1 (3)
2	+1 (5)	-1 (50)	-1 (3)
3	-1 (3)	+1 (70)	-1 (3)
4	+1 (5)	+1 (70)	-1 (3)
5	-1 (3)	-1 (50)	+1 (7)
6	+1 (5)	-1 (50)	+1 (7)
7	-1 (3)	+1 (70)	+1 (7)
8	+1 (5)	+1 (70)	+1 (7)
9	0 (4)	0 (60)	0 (5)
10	0 (4)	0 (60)	0 (5)
11	0 (4)	0 (60)	0 (5)

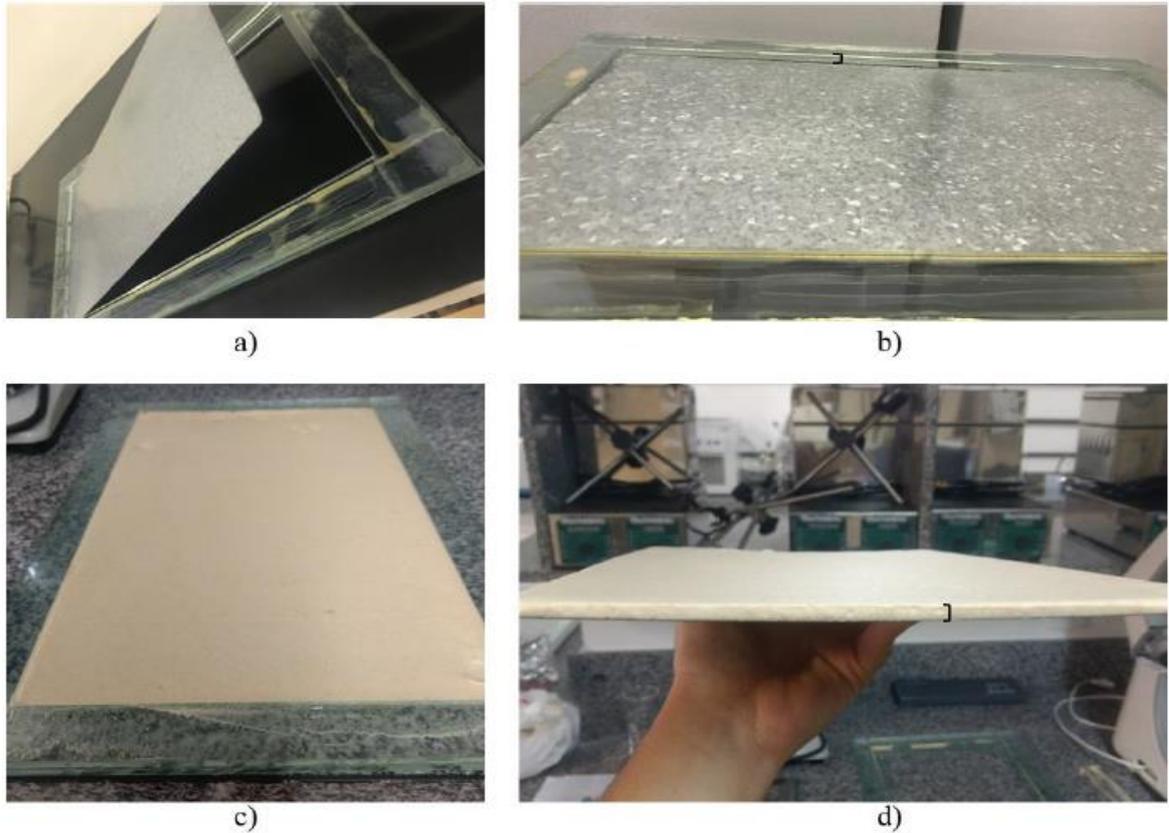
C = concentração do espumante; T = temperatura de secagem; tag = tempo de agitação;

3.5.2 Secagem em camada de espuma

Todos os processos de secagem foram realizados nas condições propostas no planejamento experimental fatorial completo (Tabela 3.2). Após a agitação em bateadeira planetária, as espumas foram dispostas em bandejas de zinco galvanizado (Figura 3.3). As

espumas foram espalhadas nas bandejas de maneira uniforme, e suas espessuras foram medidas com o auxílio de um paquímetro. Para todos os experimentos de secagem foi estabelecido uma espessura de 5 mm.

Figura 3.3 - Sistema utilizado para o processo de secagem; a) bandeja de zinco e fundo removível; b) espessura do fundo; c) espuma disposta na bandeja; d) espessura da camada de espuma.



Fonte: NEGREIROS (2019)

Figura 3.4 – Espuma da folha de guajiru disposta em bandeja preparada para iniciar o processo de secagem em estufa.



Todas as bandejas foram devidamente pesadas em balança semi-analítica, marca Shimadzu e modelo BL3200H, antes das espumas serem colocadas. Após dispor as espumas nas bandejas (Figura 3.4), o material também foi pesado e colocado em estufa com circulação e renovação de ar (marca Lucadema) nas temperaturas já mencionadas no planejamento experimental. Foram realizadas também as pesagens em intervalos de tempos aumentados gradativamente até que não existisse variação de massa significativa do sistema indicando que o sistema atingiu o equilíbrio.

O tempo de pesagem adotado seguiu a partir dos ensaios realizados em laboratório, ficando estabelecido que: nos primeiros 30 minutos, a pesagem foi realizada de 5 em 5 minutos; a partir desse tempo, durante 60 minutos, foram pesadas a cada 10 minutos logo após em intervalos de 30 e 30 minutos e em seguida a cada 1 hora até atingir o equilíbrio e massa estável.

O material seco foi retirado das bandejas com auxílio de espátulas, pesado e preservados em sacos plásticos de polietileno fechados hermeticamente. Todo material foi devidamente identificado de acordo com os ensaios dispostos no planejamento. A fim de evitar a umidificação do material, os sacos foram armazenados em potes herméticos de vidro com sílica gel para posteriores análises.

3.5.3 Cinética de secagem

Durante a secagem ocorreu o processo de perda de umidade. Através dos dados obtidos se pode calcular também a umidade em base seca (Equação 3.5), para posterior cálculo da razão de umidade adimensional (RU) através da Equação 3.6. Com os resultados obtidos foi plotado os gráficos da curva de cinética a fim de observar o comportamento do

processo. Os mesmos foram dispostos em razão de umidade adimensional versus o tempo de secagem.

$$X_{bs} = \frac{m_i - m_f}{m_{ss}} \quad (3.5)$$

Em que:

m_i = Massa inicial da amostra (g);

m_f = Massa final (g);

m_{ss} = Massa de sólidos secos da amostra (g).

$$RU = \frac{X_{bs}}{X_{bs0}} \quad (3.6)$$

Em que:

X_{bs} = umidade em base seca;

X_{bs0} = umidade em base seca inicial

3.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E QUÍMICA DO PÓ DA FOLHA DE GUAJIRU POR CAMADA DE ESPUMA DO PÓ DA FOLHA DE GUAJIRU

Todas as análises foram realizadas em triplicatas a fim de melhorar a confiabilidade e diminuir o erro padrão (PASSARI et al., 2011). As análises químicas e físico-químicas foram feitas de acordo com metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.6.1 Determinação da atividade de água (a_w)

Ao final de todos os processos de secagem foi determinada a atividade de água de cada amostra. As análises foram realizadas em triplicata. Utilizou-se o medidor de água Novasina LabMaster-aw na temperatura de 30 °C. (MOSSEL et al. 1955).

3.6.2 Determinação do rendimento teórico

Calculou-se o rendimento do sistema através da razão entre a massa do pó obtida posterior ao processo de secagem, pela massa da espuma, multiplicando por 100 conforme Equação 3.7. Os sistemas foram pesados com auxílio da balança semi-analítica da marca Shimadzu modelo BL3200H.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{m_{\text{pó}}}{m_e} \times 100 \quad (3.7)$$

Em que:

$m_{\text{pó}}$ = Massa do pó (g);

m_e = Massa da espuma (g);

3.6.3 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)

Para determinação do pH das amostras foi utilizado a mesma metodologia para caracterização físico-química da espuma, descrita no tópico 3.4.5.

3.6.4 Determinação de sólidos solúveis totais – SST (°Brix)

Para cada 1 g da amostra foram adicionados 10 mL de água destilada, as soluções foram agitadas através do agitador magnético por 3 min e deixadas em repouso por 1 hora. Em seguida foram centrifugadas por 5 min. Utilizou-se o refratômetro da marca Nova Instruments ABBE, calibrado com água destilada e higienizado a cada troca de amostra. Para determinação do SST foram colocadas três gotas da solução na superfície do aparelho e realizada a leitura. Todos os experimentos foram realizados à temperatura ambiente, 25 °C.

3.6.5 Determinação da Acidez Total Tituláveis (ATT)

Para determinação da acidez das amostras dos pós foi utilizada a mesma metodologia descrita no tópico 3.4.5 para caracterização físico-química da espuma.

3.6.6 Determinação do índice de solubilidade em água (ISA)

Seguindo metodologia de Cano-Chauca et al. (2005) foram adicionados 50 mL de água destilada em cerca de 0,5 g da amostra. Para homogeneização e constante agitação se utilizou um agitador de solução modelo AP 56 da marca Phoenix Lufenco, com motor de 3800

rpm. As soluções foram dispostas em tubos falcon, agitadas e posterior centrifugadas em centrífuga refrigerada da marca Novatecnica, a 4500 rpm por 5 minutos. Em seguida foram dispostos cerca de 12,5 mL do sobrenadante em uma placa de Petri, a mesma foi levada à estufa na temperatura de 105 °C até que evaporasse toda a água presente. De acordo com a Equação 3.9 foi possível calcular o índice de solubilidade.

$$\% \text{ Solubilidade} = \frac{(m_{\text{residual}} - m_{\text{tara}}) * V_{\text{solução}}}{V_{\text{alíquota}} * m_{\text{amostra}}} \times 100\% \quad (3.9)$$

m_{residual} = massa residual obtida após evaporação (g);

m_{tara} = massa da placa de Petri vazia (g);

$V_{\text{solução}}$ = volume total da solução (mL);

$V_{\text{alíquota}}$ = volume da alíquota submetido à secagem (mL);

m_{amostra} = massa inicial da amostra (g)

3.6.7 Determinação da Umidade do pó

O teor de umidade (Figura 3.5) do pó foi analisado de acordo com o método gravimétrico. Pesou-se cerca de 1 g da amostra em cadinhos de porcelana, a mesma foi levada à estufa a uma temperatura de 105 °C deixando permanecer por 24 h. Após esse tempo as amostras foram dispostas em dessecador e pesadas. Calculou-se a umidade pela Equação 3.10.

$$\% U = \frac{m_1 - m_2}{m_a} \times 100 \quad (3.10)$$

Em que:

m_1 = Massa inicial do cadinho contendo a amostra

m_2 = Massa final do cadinho contendo a amostra após dessecação em estufa

m_a = Massa inicial da amostra

Figura 3.5 – Cadinhos contendo o pó da folha de guajiru



3.6.8 Determinação do teor de Cinzas (macronutrientes)

Cerca de 1 g do pó foi pesado em cadinhos de porcelanas devidamente identificados e tarados inicialmente. Os cadinhos então foram colocados em mufla com temperatura variando entre 550 °C e 570°C por um período de 4 h. Através da diferença entre a massa da amostra no início e no fim do procedimento dividido pela massa inicial calculou-se o teor de cinzas.

3.7 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS EXISTENTES NA FOLHA DE GUAJIRU

3.7.1 Clorofila (A, B e totais)

Preparou-se a solução na concentração de 80% em volume da acetona. Para tais determinações foram pesados cerca de 200 mg da amostra, colocadas em um almofariz, adicionou-se 0,2 g de carbonato de cálcio (CaCO_3) e 3 mL da solução de acetona a 80%. As amostras foram então maceradas e transferidas para um tubo falcon; foram adicionados 2 mL de acetona no almofariz para retirar os resíduos presentes completando um volume de 5 mL. Todas as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 10 °C e 3000 rpm. Retirou-se então uma alíquota da solução sobrenadante para posterior leitura num espectrofotômetro nos comprimentos de onda: 470, 646 e 663 nm (LICHTENTHALER, 1987).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os ajustes, determinação dos efeitos significativos ($p < 0,05$) e os resultados das análises da espuma da folha do guajiru foram avaliados utilizando-se o Programa Estatístico Statistica® (Data Analysis Software System), versão 7.0.

3.8 AJUSTE MATEMÁTICO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Para os ajustes das curvas de secagem de acordo com os modelos matemáticos predisposto no Quadro 2.1 da Seção 2.3.3 foi utilizado o programa Programa Estatístico Statistica® (Data Analysis Software System), versão 7.0. Empregou-se o método de Gauss-Newton, com regressão não-linear, considerando o coeficiente de determinação (R^2) e a soma quadrática residual (SQ). Foram realizados os ajustes dos melhores modelos matemáticos que condiziam com os resultados obtidos na cinética de secagem em camada de espuma da folha de guajiru.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PREPARO DO COMPOSTO VEGETAL DA FOLHA DE GUAJIRU

Para o preparo do composto vegetal foi aproveitada todas as partes da folha.

O composto vegetal com 90% de concentração de massa de folha (Figura 4.1) apresentou grandes partículas de sólidos revelando uma textura pastosa não condizente com a forma líquida e homogênea esperada.

Figura 4.1 Composto vegetal da folha de guajiru na concentração de 90% em massa de folhas



O composto vegetal com 60% em massa de folhas apresentou pequenas partículas dispersas no líquido, porém ainda foram realizados testes com os agentes espumantes os resultados estão dispostos no próximo tópico 4.2.

O composto vegetal com 30% em massa de folhas (Figura 4.2) apresentou a homogeneidade esperada e todos os experimentos do planejamento foram padronizados nesta condição.

Figura 4.2 Composto vegetal da folha de guajiru na concentração de 30% em massa de folhas



4.2 CARACTERIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO AGENTE ESPUMANTE DA FOLHA DE GUAJIRU

Nos testes iniciais foram observados alguns parâmetros que influenciaram na formação da espuma e/ou processo de secagem. Para tal foram realizados testes de concentração de folhas de guajiru no preparo do composto vegetal, bem como tipos de estabilizantes que poderiam ser utilizados na formação da espuma.

Conforme já retratado no item 3.2, o composto vegetal da folha de guajiru nas concentrações de 30, 60 e 90% de massa de folhas foi preparado de duas formas, com os talos da folha e sem os talos e testados com os agentes espumantes. A ausência dos talos não influenciou visualmente na característica da espuma formada, optou-se então por utilizar todas as partes presentes na folha.

Com relação aos experimentos com agentes espumantes, foram realizados ensaios com o Emustab® e Portogel, emulsificantes presentes no mercado e que são utilizados em preparações alimentícias; e pó da entrecasca do juá, agente espumante que possui alto teor de saponina ocasionando em maior estabilidade da espuma. Os resultados dos testes são mostrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Tabela dos emulsificantes e testes

Ensaio	Concentração de folha no composto vegetal (%)	Agente espumante	Concentração do agente espumante (%)	Tempo de agitação (min)	Resultado
1	30	Emustab®	3	3	Negativo
2	60	Emustab®	3	3	Negativo
3	30	Portogel	3	3	Positivo**
4	60	Portogel	3	3	Positivo**
5	30	Juá*	3	3	Positivo***
6	60	Juá*	3	3	Positivo***

* Pó da entrecasca do Juá

** Formou uma espuma não consistente para o processo de secagem

*** Ocorreu formação de espuma estável para o processo de secagem

Não foram realizados testes com os agentes espumantes para esta concentração de 90 % em massa de folhas pois o composto vegetal não apresentou a forma líquida e homogênea esperada.

De acordo com a Figura 4.3, percebeu-se que com a adição do Emustab® a amostra não formou a espuma desejada. Já nas Figuras 4.4 e 4.5 foi observada a formação da espuma. Ao analisar as espumas formadas visualmente, percebeu-se que o agente espumante da entrecasca do juá formou uma espuma mais estável.

Figura 4.3 – Teste com o Emustab® em composto vegetal da folha de guajiru com concentração de 30%.



Figura 4.4 – Espuma formada com Portogel em composto vegetal da folha de guajiru com concentração de 30%.



Figura 4.5 – Espuma formada com o pó da entrecasca do juá em composto vegetal da folha de guajiru com concentração de 30%.



Para confirmar a estabilidade das espumas foram realizados testes de estabilidade das interações mínimas do planejamento experimental com 3% de concentração do agente espumante, tempo de agitação de 3 minutos e nas temperaturas de 50 e 70 °C; e do ponto central (4%, 5 min e 60 °C). Verificou-se que os valores de volumes drenados com o Portogel foram relativamente maiores do que com o juá (Tabela 4.2), influenciando assim na escolha do juá como agente espumante guajiru ser utilizado no processo de secagem em camada de espuma.

Tabela 4.2 – Tabela comparativa dos testes de estabilidade do Portogel e juá

Agente espumante	Concentração do agente espumante (%)	Tempo de agitação (min)	Temperatura (°C)	Volume final drenado (mL)
Portogel	3	3	50	7,00
Juá	3	3	50	2,00
Portogel	3	3	70	3,00
Juá	3	3	70	0,02
Portogel	4	5	60	5,50
Juá	4	5	60	0,83

Um dos obstáculos retratados na literatura é a falta de estabilidade das espumas utilizadas no processo de secagem, pois uma espuma não estável pode ser degradada mais facilmente e, conseqüentemente, influenciar negativamente em todo o processo (THUWAPANICHAYANAN, PRACHAYAWARAKORN e SOPONRONNARIT, 2012). Pela Tabela 4.2 foi verificado que o volume final drenado com o uso do Portogel, comparando-o ao juá, é relativamente maior em todas as temperaturas dos experimentos justificando a escolha do juá como agente espumante.

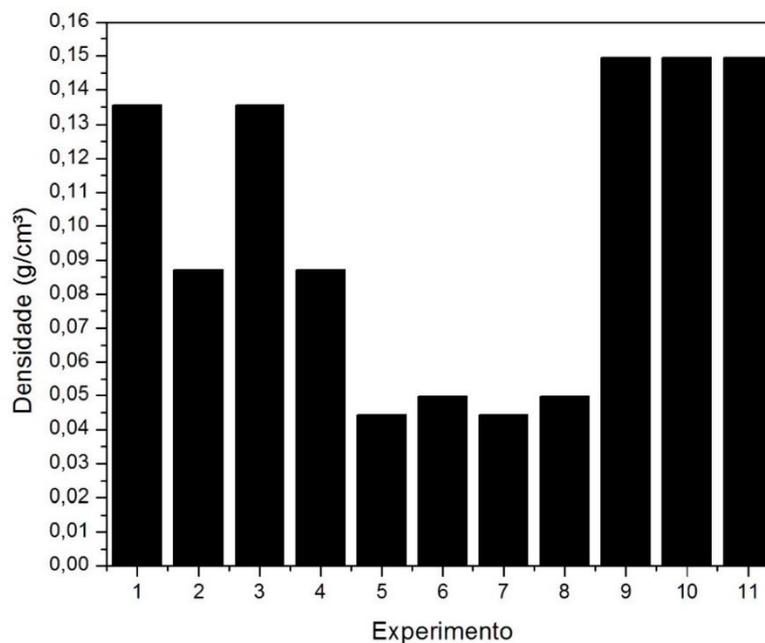
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DA ESPUMA

Para caracterização física da espuma, todos os experimentos foram executados de acordo com o planejamento experimental fatorial completo (Tabela 3.2), desprezando a variável de temperatura, pois esta não influencia na densidade, expansão e capacidade de incorporação de ar; foram consideradas apenas as variáveis concentração do agente espumante e tempo de agitação.

4.3.1 Densidade da espuma

Os valores de densidade da espuma da folha de guajiru encontrados para cada experimento estão dispostos na Figura 4.6.

Figura 4.6 – Resultados da densidade da espuma da folha de guajiru de cada experimento

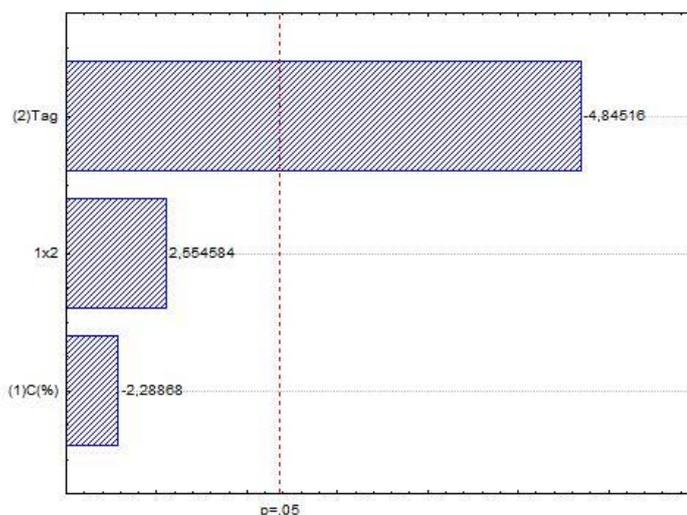


De acordo com a Figura 4.6 foi verificado que os menores valores de densidade estão nos experimentos 5, 6, 7 e 8, nos quais se tem os maiores tempos de agitação (7 min). Os experimentos realizados nas condições do ponto central: 9, 10 e 11 tiveram os maiores valores de densidade ($0,15 \text{ g/cm}^3$) e não apresentaram variação entre si, mostrando boa reprodutibilidade, comparando-os com os ensaios 1 e 3 se percebe que ocorre uma diferença de $0,015 \text{ g/cm}^3$.

Segundo Soares et al. (2001), espumas com valores de densidades no intervalo de 0,1 e $0,6 \text{ g/cm}^3$ tendem a apresentar melhores condições de estabilidade e conseqüentemente melhores resultados no produto final. Desta forma, as espumas que apresentaram densidades entre $0,135$ e $0,015 \text{ g/cm}^3$ são as que se adaptaram as condições citadas.

O diagrama de Pareto com as variáveis independentes: tempo de agitação e concentração do emulsificante e suas interações para a densidade da espuma com nível de confiança de 95% é mostrado na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Diagrama Pareto da densidade da espuma da folha de guajiru.



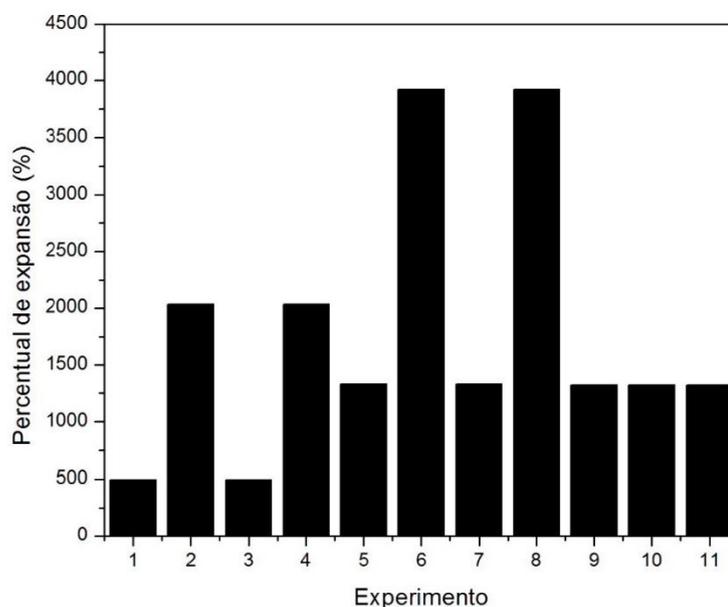
Pela Figura 4.7 foi observado que apenas a variável tempo de agitação (tag) é estatisticamente significativa para este nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Os valores da tag (-4,84516) influenciam significativamente na formação da espuma, de modo que quanto maior o tempo de agitação menor será a densidade

4.3.2 Percentual de expansão da espuma

Para avaliar a eficácia do método da secagem é preciso analisar fisicamente a espuma formada. Um ponto importante além da densidade é o percentual de expansão dessa espuma pois altos valores neste percentual implica em maiores quantidades de ar fixadas a espuma. Tendo maiores valores de percentual de expansão e agentes espumantes, tem-se uma espuma mais estável e conseqüentemente esta irá se adaptar de maneira uniforme nas bandejas utilizadas na secagem, alcançando condições ideais que irão favorecer todo o processo (LEITE, 2018; FRANCO, 2015; KARIM e WAI, 1999).

Os valores do percentual de expansão encontrados da espuma da folha de guajiru para cada experimento estão dispostos na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Resultados do percentual de expansão da espuma da folha de guajiru de cada experimento

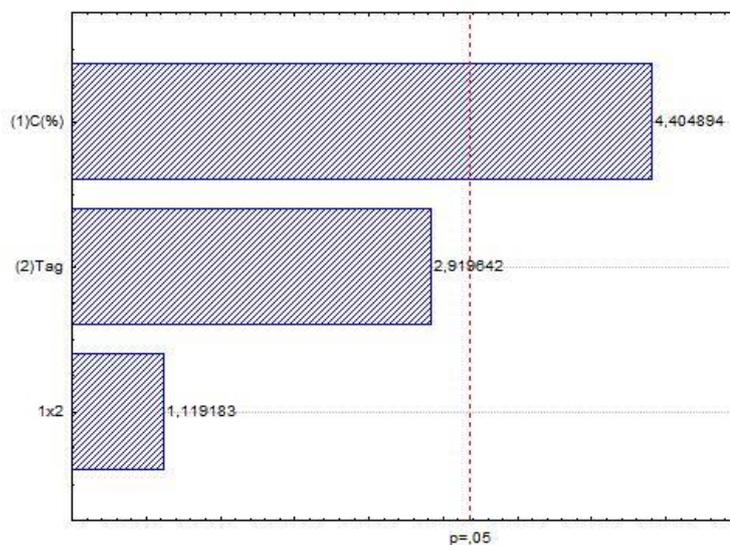


De acordo com a Figura 4.8 foi verificado que os menores valores do percentual de expansão da espuma foram obtidos nas condições dos experimentos 1 e 3 que apresentam menores concentrações do agente espumante e menor tempo de agitação. Quando foram comparados esses valores com os valores dos experimentos 2 e 4 percebeu-se que ocorreu um aumento de 750%, justificado pelo aumento da concentração do emulsificante. Os maiores valores de percentual de expansão foram encontrados nos experimentos 6 e 8 que são os pontos máximos com relação a ambas variáveis. Os experimentos 5, 7, 9, 10 e 11 apresentaram pequenas variações, com resultados muito próximos um do outro, foi observado também que o aumento em 1% na concentração do agente espumante não influencia no processo de expansão da espuma.

Leite (2018), trabalhando com a secagem em camada de espuma da folha de hortelã-da-folha-miúda, encontrou valores abaixo de 500%. Oliveira (2018) trabalhando com a secagem da folha de graviola (*Annona muricata* L.) obteve valores abaixo de 1600%. Foi observado que a espuma da folha de guajiru atingiu valores condizentes com ambos os trabalhos destacados, apresentando também valores maiores com 5% de concentração do agente espumante.

Na Figura 4.9 está exposto o diagrama de Pareto para o percentual de expansão da espuma da folha de guajiru. com nível de confiança de 95%.

Figura 4.9 – Gráfico de Pareto do percentual de expansão da espuma da folha de guajiru de cada experimento.

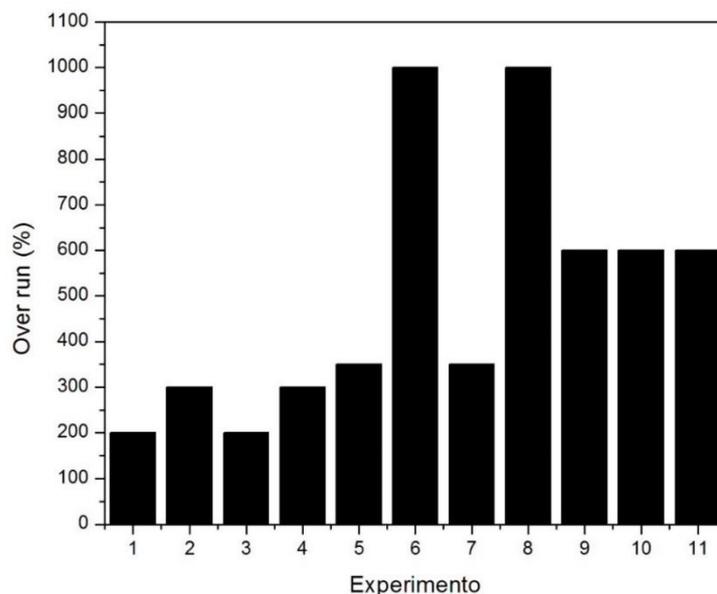


Pela Figura 4.7 foi observado que apenas a variável de concentração é estatisticamente significativa para este nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Os valores da concentração (4,404894) influenciam significativamente na formação da espuma, com sinal positivo, ou seja, têm-se maiores valores de percentual de expansão para maiores valores de concentração de espumante.

4.3.3 Capacidade de incorporação de ar (*over run*)

Os valores de capacidade de incorporação de ar encontrados da espuma da folha de guajiru para os 11 experimentos são mostrados na Figura 4.8.

Figura 4.10 – Valores de capacidade de incorporação de ar da espuma da folha de guajiru de cada experimento.

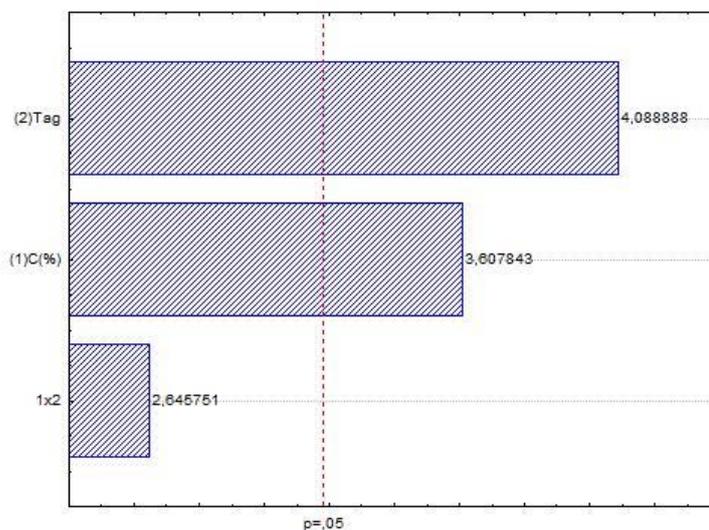


Verifica-se na Figura 4.10 que os experimentos que possuem maiores valores de capacidade de incorporação do ar são os experimentos de valores máximos de concentração do emulsificante (5%) e tempo de agitação (7 min), representados pelos experimentos 6 e 8, seguidos dos pontos centrais (9, 10 e 11) e. Percebe-se também uma pequena variação nos ensaios 2, 4, 5 e 7 apesar de possuírem diferentes padrões de concentração, 5% para 2 e 4 com tag de 3 minutos; e 3% para 5 e 7 com tag de 7 minutos. O que ocorre também com os experimentos 1 e 3 que apresentam ponto mínimo de concentração (3%) e de tempo de agitação (3 min).

Comparando com o percentual de expansão da espuma é possível observar que os experimentos 6 e 8, bem como os dos pontos centrais (9, 10 e 11) são proporcionais com os percentuais de *over run* encontrados. Ou seja, para tais ensaios quanto maior expansão, maior capacidade de incorporação do ar.

O diagrama de Pareto da capacidade de incorporação do ar (*over run*) da espuma com nível de confiança de 95% é mostrado na Figura 4.11

Figura 4.11 – Gráfico de Pareto do *over run* da espuma da folha de guajiru de cada experimento.



Pela Figura 4.9 foi observado que duas variáveis são estatisticamente significativas para este nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Foi observado também valores positivos para o tempo de agitação – tag (4,08888) e a concentração – C (3,607843), ou seja, quanto maior forem os valores de ambas, maior será sua capacidade de incorporação de ar.

A interação entre as duas variáveis também apresenta valor positivo (2,645751), porém não é estatisticamente significativo para o nível de confiança de 95%, ou seja, seus valores não influenciam de maneira significativa no *over run*.

Leite (2018) trabalhando com a secagem em camada de espuma da folha de hortelã-da-folha-miúda, encontrou apenas uma variável estatisticamente significativa para essa análise, com o valor estatístico positivo de 3,689 para concentração do agente espumante.

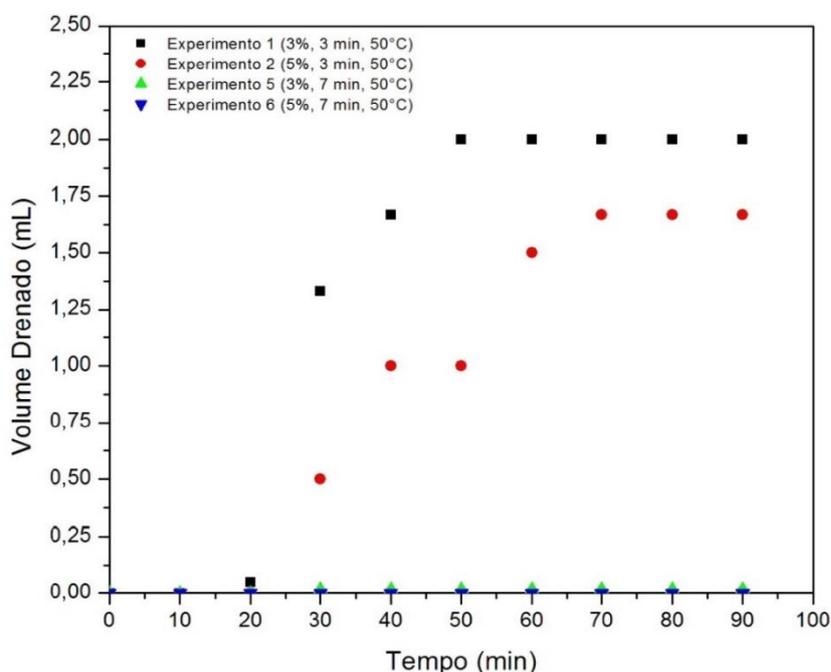
4.3.4 Estabilidade da espuma

Segundo Falade e Onyeoziri (2012) a adição de emulsificantes ou agente espumantes é eficaz durante o processo porque ela proporciona um aumento na estabilidade da espuma. Aumentando a concentração desses estabilizantes tem-se uma queda na densidade final da espuma, que ocorre devido a uma maior incorporação de ar. Porém concentrações desses agentes acima do estabelecido em testes também podem causar depauperamento da espuma formada, o que é desfavorável para o processo.

A estabilidade da espuma é influenciada diretamente pela espessura da espuma disposta em bandeja, densidade e área interfacial entre o líquido e emulsificante, bem como pela disposição dos tamanhos das bolhas de ar e tensão superficial. O que vai definir e estabelecer melhores condições a esta espuma é a concentração e natureza do agente espumante (KANDASAMY et al., 2012).

Para análise da estabilidade todos os experimentos foram executados de acordo com o planejamento experimental fatorial completo (Tabela 3.2), com as variáveis independentes (temperatura, tempo de agitação e concentração do agente espumante) influenciando no processo. Os resultados desta análise estão dispostos nas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14

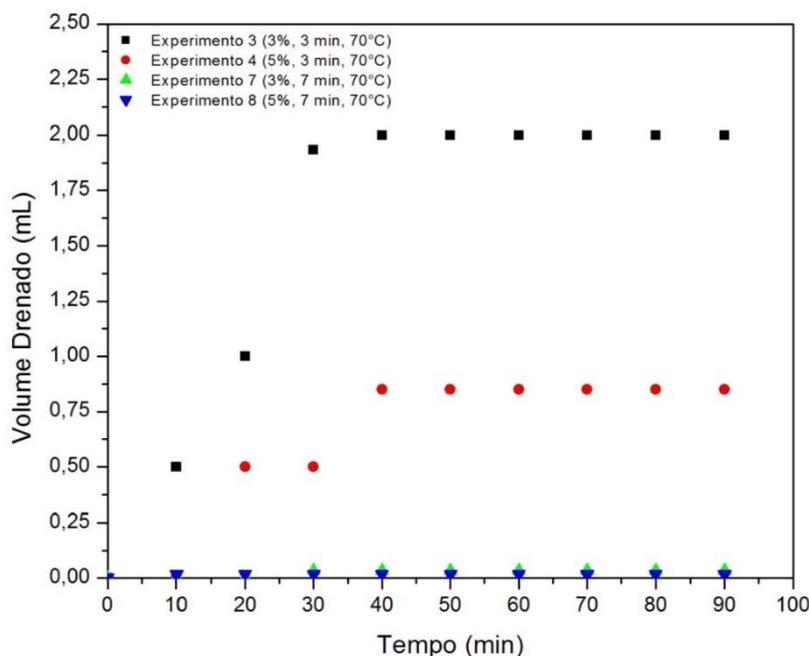
Figura 4.12 –Teste de estabilidade da espuma da folha de guajiru a 50 °C.



Na Figura 4.12 foi verificado que os experimentos com maior tempo de agitação (5 e 6) foram mais eficazes do que os com menores tempo (1 e 2). Verificou-se também que as curvas dos ensaios 1 e 2 apresentam comportamento semelhante ficando estável entre os tempos de 60 e 70 minutos. Na temperatura de 50 °C o volume drenado máximo foi de 2,0 mL no ponto mínimo, enquanto que nos pontos de maior tempo de agitação não houve perda de volume. Leite (2018) encontrou valores superiores de perda de volume, aproximadamente 6,60 mL num tempo de 60 minutos. Oliveira (2018) retratou volume máximo drenado de 2,50

mL nas mesmas condições de temperatura. Negreiros (2019) observou diminuição máxima de aproximadamente 2,60 mL.

Figura 4.13 –Teste de estabilidade da espuma da folha de guajiru a 70 °C

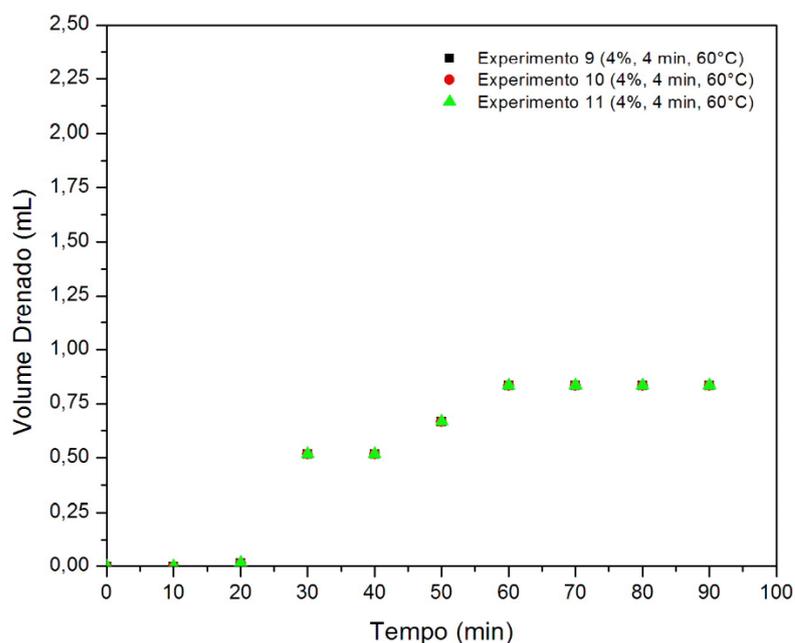


Pela Figura 4.13 foi verificado que os experimentos com maior tempo de agitação (7 e 8) foram mais eficazes do que os com menor tempo (5 e 6). Verificou-se também que os ensaios 3 e 4 atingiram a estabilidade ao mesmo tempo apresentando comportamentos semelhantes. Na temperatura de 70 °C o volume drenado máximo foi de 2,0 mL, nas condições de 3% de concentração de agente espumante e tempo de agitação de 3 minutos, o mesmo comportamento foi observado nas mesmas condições, porém em temperatura diferente (50 °C) (Figura 4.12).

Na Figura 4.14 foi observado um volume drenado de 0,85 mL para todos os experimentos do ponto central. Nas mesmas condições Negreiros (2019) retratou diminuição máxima de aproximadamente 1,90 mL de volume. Oliveira (2018) observou volume máximo drenado de 2,75 mL.

De posse desses dados, pode-se afirmar, que o resultado da estabilidade da espuma da folha de guajiru é satisfatório para estudo uma vez que o volume máximo drenado foi de 2,00 mL.

Figura 4.14 – Teste de estabilidade da espuma da folha de guajiru a 60 °C



4.3.5 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e acidez total titulável (ATT)

Na Tabela 4.3 estão dispostos os valores de pH e de ATT da espuma da folha de guajiru na temperatura de 25 °C para os experimentos de 1 a 9 do planejamento fatorial completo.

Pela Tabela 4.3 foi observado que os valores de pH do composto vegetal e da espuma da folha de guajiru apresentam a mesma ordem de grandeza. Foi observado que os experimentos 6 e 8 com concentração de agente espumante máxima (5%) e tempo máximo de agitação (7 min) apresentaram acidez menor do que os outros experimentos. Observou-se neste sentido que quanto maior a concentração do emulsificante e o tempo de agitação menor é a acidez da espuma.

Tabela 4.3 – Valores médios de pH da espuma da folha de guajiru a 25 °C

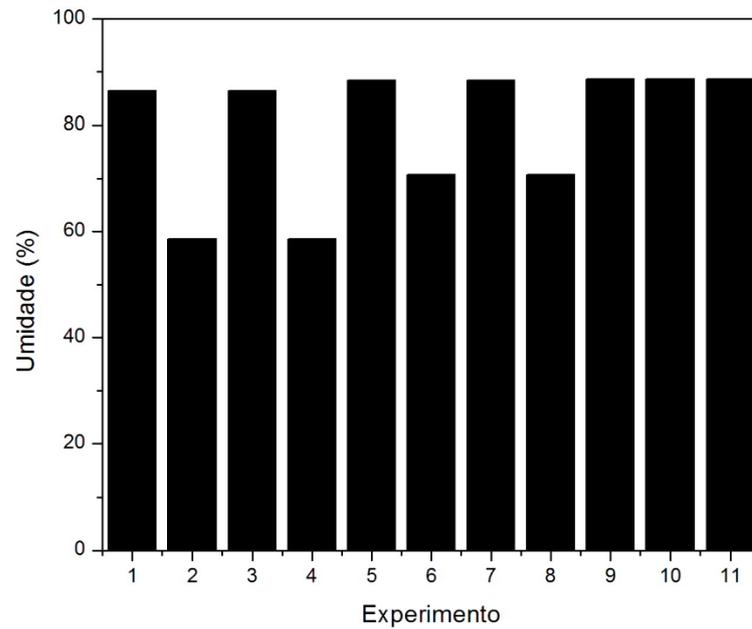
Experimento	pH*	ATT*
1 (3%, 3 min)	5,67 ± 0,08	0,052 ± 0,006
2 (5%, 3 min)	5,82 ± 0,18	0,052 ± 0,006
3 (3%, 3 min)	5,67 ± 0,08	0,052 ± 0,006
4 (5%, 3 min)	5,82 ± 0,18	0,052 ± 0,006
5 (3%, 7 min)	5,71 ± 0,0	0,052 ± 0,006
6 (5%, 7 min)	5,45 ± 0,02	0,039 ± 0,006
7 (3%, 7 min)	5,71 ± 0,0	0,052 ± 0,006
8 (5%, 7 min)	5,45 ± 0,02	0,039 ± 0,006
9 (4%, 5 min)	5,72 ± 0,07	0,052 ± 0,006
Composto vegetal	5,81 ± 0,0	-

* Média ± desvio padrão.

4.3.6 Determinação do teor de Umidade da espuma

Na Figura 4.15 estão dispostos os valores do teor de umidade em base úmida para cada experimento do planejamento experimental.

Figura 4.15 – Valores do teor de umidade em da espuma da folha de guajiru de cada experimento.

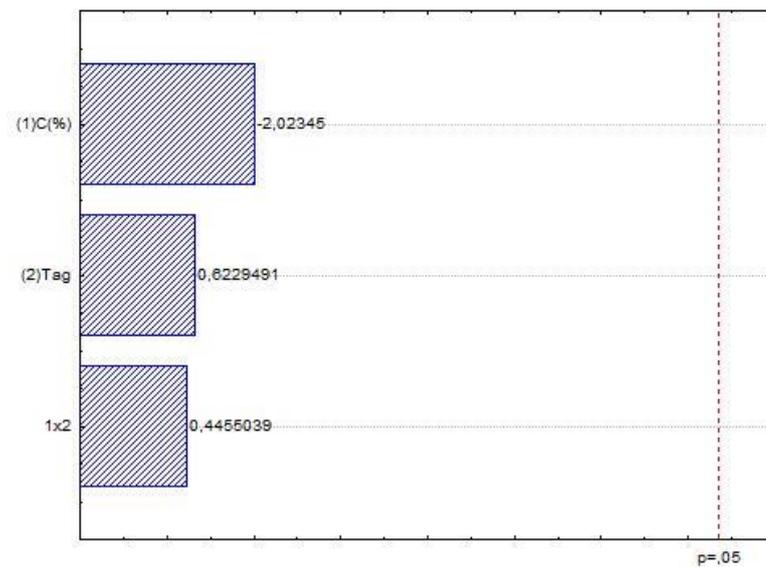


De acordo com a Figura 4.15 percebeu-se que houve uma variação nos valores do teor de umidade. Os menores valores são dos experimentos 2 e 4 (5% de agente espumante e tempo de agitação de 3 minutos) com $58,6540 \pm 0,01$ % e 6 e 8 (5% de agente espumante e tempo de agitação de 7 minutos) com $70,6900 \pm 0,05$ %.

Comparando o teor de umidade de cada experimento nota-se que os menores valores de umidade são encontrados nos experimentos que contém maior concentração de agente espumante, 5%. Não houveram grandes variações da umidade nos demais ensaios com concentração de agente espumante com 3 e 4%.

O diagrama de Pareto para teor de umidade em base úmida da espuma com nível de confiança de 95% é mostrado na Figura 4.14.

Figura 4.16 – Gráfico de Pareto do teor de umidade da espuma da folha de guajiru de cada experimento.



Os resultados apresentados na Figura 4.16 indicam que as variáveis concentração do agente espumante e tempo de agitação, bem como a interação entre elas não são estatisticamente significativas para o nível de confiança de 95%. Segundo o diagrama o valor de sinal negativo (-2,02345) confirma que quanto maior for a concentração do agente espumante menor será o seu teor de umidade em base úmida.

4.4 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM – MAT DRYING*)

Os pós obtidos após o processo de secagem em camada de espuma da folha de guajiru para todos os pontos do planejamento experimental fatorial completo são mostrados na Figura 4.17 os quais, qualitativamente, não apresentaram mudança de coloração e de textura.

Figura 4.17 – Pós obtidos durante a secagem em camada de espuma da folha de guajiru



4.4.1 Análise das variáveis independentes

Os resultados do tempo final de secagem estão dispostos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Valores finais da umidade em base seca e tempo de secagem da folha de guajiru

Experimento	Variáveis independentes			Variável dependente
	C (%)	T (°C)	t _{ag} (min)	T _{sec} (min)
1	3	50	3	100
2	5	50	3	80
3	3	70	3	50
4	5	70	3	60
5	3	50	7	80
6	5	50	7	140
7	3	70	7	90
8	5	70	7	40
9	4	60	5	90
10	4	60	5	100
11	4	60	5	90

C = concentração do espumante; T = temperatura de secagem; t_{ag} = tempo de agitação; T_{sec} = tempo final de secagem.

Pela Tabela 4.5 foi observado que o tempo mínimo final de secagem foi de 40 minutos no experimento 8 (5%, 7 min, 70 °C) no ponto máximo do planejamento. Já o tempo máximo final de secagem foi observado no ensaio 6 (5%, 7 min, 50 °C). Leite (2018) encontrou valor mínimo de 80 minutos (3%, 3 min, 70 °C) e máximo de 300 minutos (7%, 3 min, 50 °C) na secagem em camada de espuma da folha da hortelã-da-folha-miúda. De acordo com Oliveira (2018) seu menor tempo de secagem foi de 140 minutos (5%, 5 min, 70 °C), já o maior foi de 300 minutos (5%, 5 min, 50 °C), no estudo realizado sobre a secagem em camada de espuma da folha da graviola.

4.4.2 Cinética de secagem

As curvas da cinética de secagem das espumas da folha de guajiru estão dispostas nas Figuras 4.18, 4.19 e 4.20. Os gráficos são compostos por tempo de secagem e umidade adimensional (X/X_0) para todos os pontos do planejamento fatorial completo.

Figura 4.18 – Curvas de cinética de secagem das espumas da folha de guajiru a 50 °C

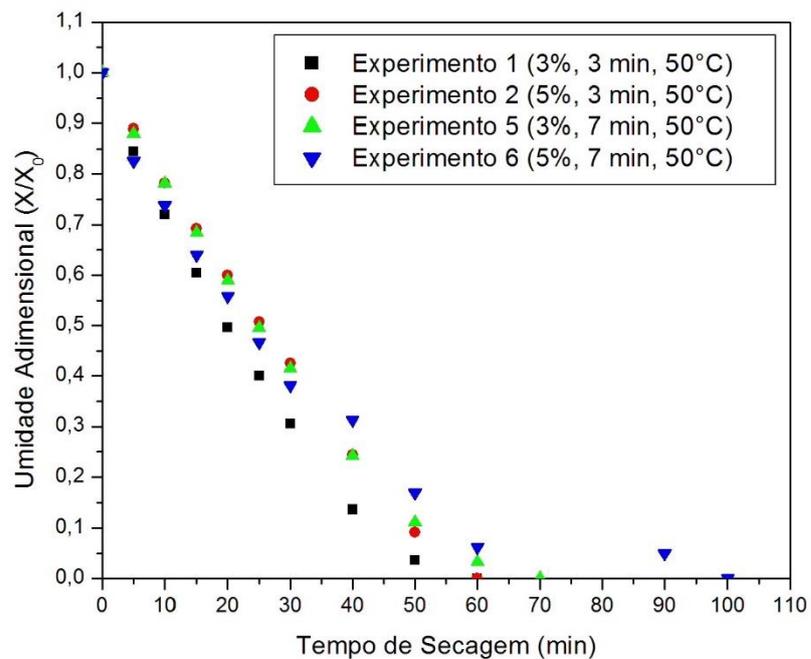


Figura 4.19 – Curvas de cinética de secagem das espumas da folha de guajiru a 70 °C

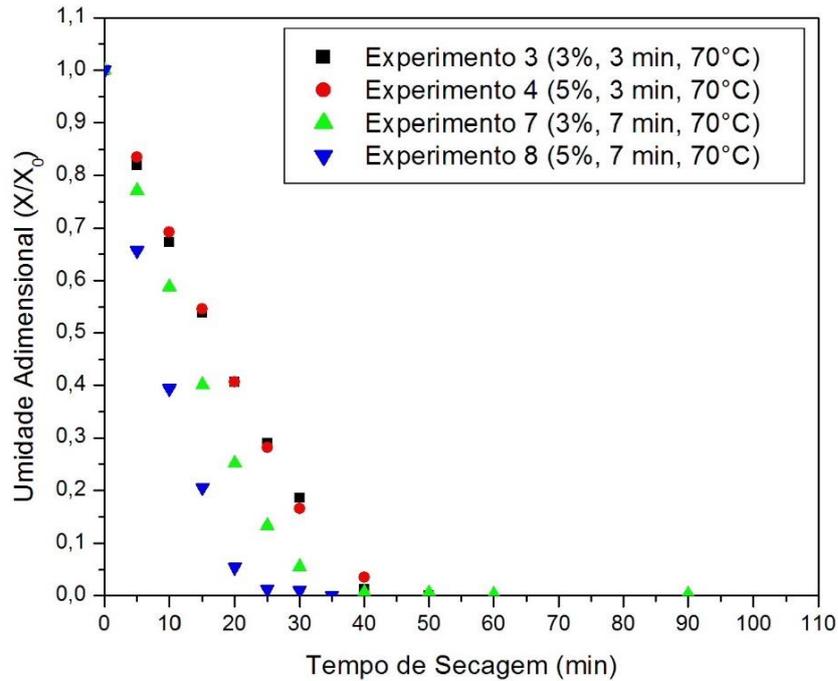
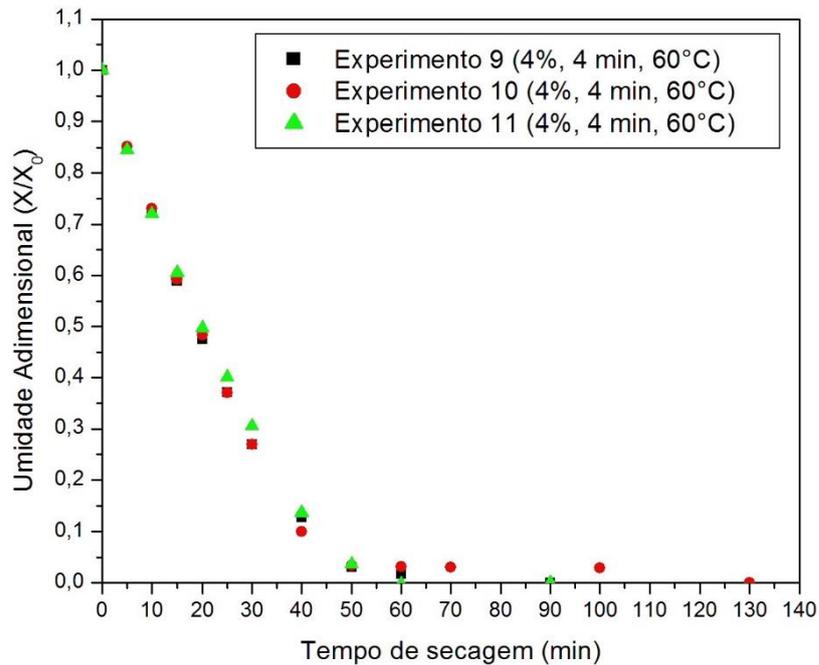


Figura 4.20 – Curvas de cinética de secagem das espumas da folha de guajiru a 60 °C



De acordo com as Figuras 4.18, 4.19 e 4.20 foi observado que ocorreu variação no tempo de secagem conforme aumento da temperatura ao qual o experimento foi submetido. Isto implica que quanto menor for a temperatura irá requerer maior tempo de secagem. Observou-se menor tempo de secagem para o experimento 8, com 40 minutos; e tempo

máximo no experimento 6, com 140 minutos. É necessário afirmar também que o teor de água diminui conforme o tempo de secagem aumenta.

O mesmo comportamento também foi verificado por Negreiros (2019) ao trabalhar com secagem da polpa da romã utilizando o pó da entrecasca do juá como agente espumante, em que obteve tempo de secagem final de 230 minutos a 50 °C e 200 minutos a 70 °C. Oliveira (2018) encontrou tempo de 270 minutos para 50 °C e 140 minutos aos 70 °C, com a secagem da folha da graviola. Na secagem da folha de hortelã-da-folha-miúda, Leite (2018) a 50 °C encontrou tempo mínimo de secagem de 180 minutos, já para 70 °C obteve 80 minutos. Para Leite (2018), temperaturas maiores geram maior transferência de calor disposta entre a camada de espuma e o ar presente, como consequência se tem uma maior perda de água no produto e diminuição do tempo do processo e da umidade do produto final.

Santos et al. (2016) verificaram que a umidade adimensional (X/X_0) é decrescente conforme aumento do tempo de secagem. Isto ocorre por conta da difusão como mecanismo físico mais provável a governar o movimento da umidade, através da estrutura da amostra. Ao final da secagem se pode observar também que a taxa se mantém decrescente, comportamento este retratado por Silva et al. (2008) ao secar tamarindo em camada de espuma. Para os autores, a água pode se apresentar de outra forma na amostra, seja em forma de suspensão de células ou em solução como açúcares ou outros tipos de moléculas.

Nas Figuras 4.21, 4.22 e 4.23 são mostradas as curvas da taxa de secagem em função da umidade final (X_{bs}) para os experimentos de secagem nas temperaturas do planejamento fatorial completo.

Figura 4.21 – Taxa de secagem das espumas da folha de guajiru a 50 °C

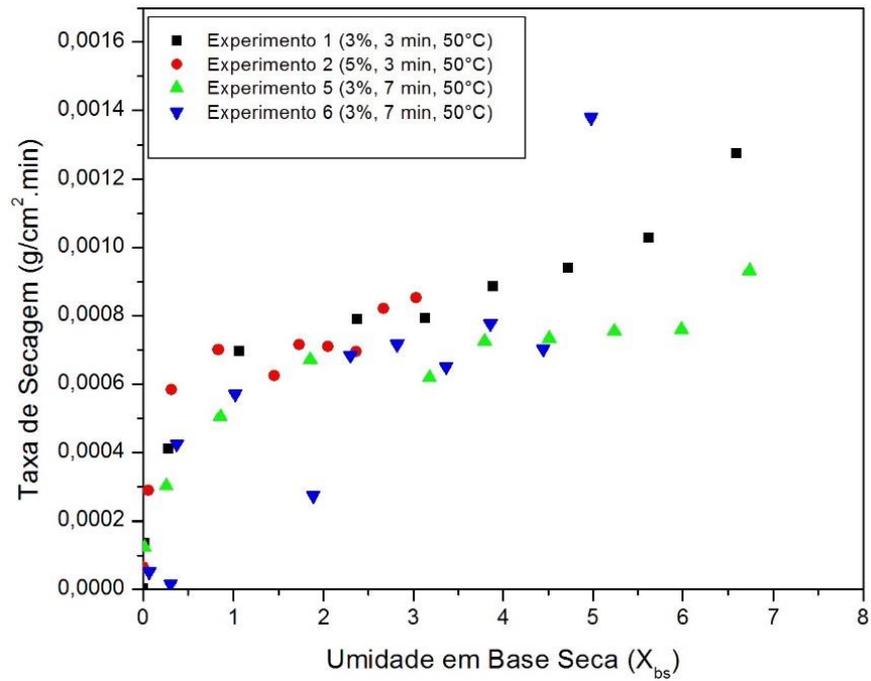


Figura 4.22 – Taxa de secagem das espumas da folha de guajiru a 70 °C

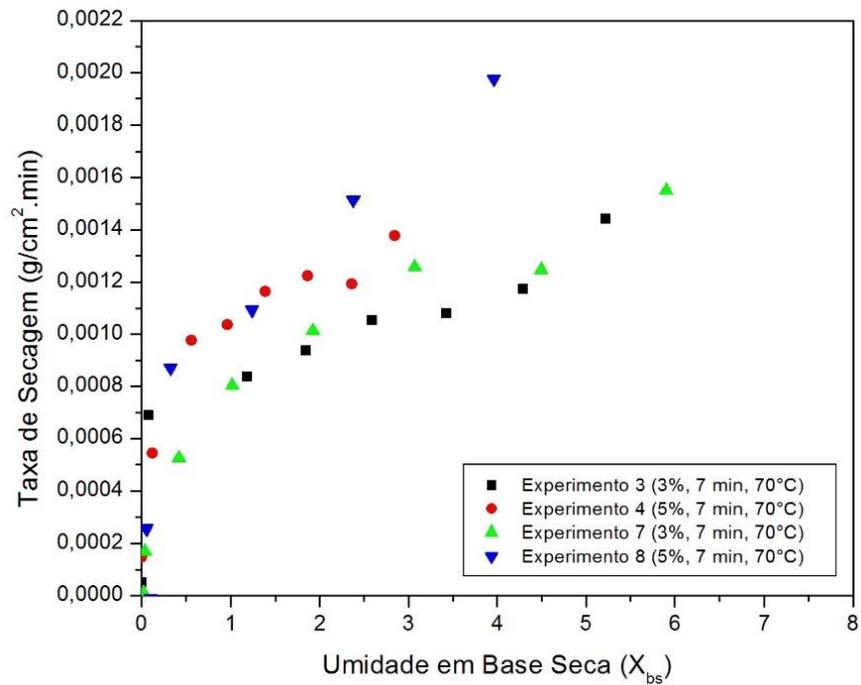
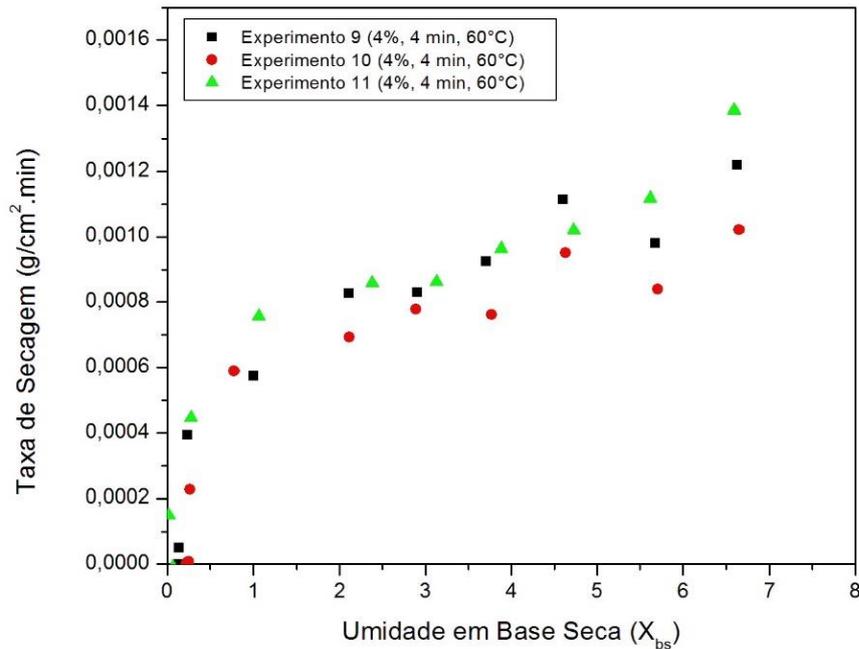


Figura 4.23 – Taxa de secagem das espumas da folha de guajiru a 60 °C



De acordo com as Figuras 4.21, 4.22 e 4.23, as maiores taxas de secagem foram encontradas nos experimentos que foram submetidos a temperatura de 70 °C. Esta taxa também decresce conforme a temperatura diminui. Esta ação confirma a influência da temperatura sobre a velocidade de remoção da água do sistema.

4.4.3 Ajuste matemático dos dados experimentais

Foram considerados alguns critérios para a definição dos melhores modelos matemáticos que se ajustarem aos dados experimentais da secagem da folha de guajiru, a saber:

1. Inferência sobre o modelo usando o teste F:
 - Cálculo da distribuição $F_{significância} = p\text{-value}$: Fornecido no Statistica 7.
 - Teste de hipótese: $F_{significância} < p = 0,05$, o modelo proposto é estatisticamente significativo. Caso contrário, descartar o modelo proposto, pois não existe relação entre a variável dependente e as variáveis independentes.
2. Existem três maneiras de verificar se os coeficientes são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% ou nível de significância de 5%:
 - Limite inferior e superior do coeficiente contém zero. Em caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente;

- p-level do Statistica 7 é maior que 0,05. Em caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente;
- Valor crítico da distribuição t de Student é maior que t-value fornecido pelo o Statistica 7. Caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente.

Na Tabela 4.7 são mostrados os coeficientes encontrados para as equações de cada um dos modelos de cinética de secagem testado, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e soma quadrática residual (SQ) para a temperatura de 50 °C. Com exceção dos modelos de Logaritmo pois este fornece valores sem sentido físico (valores negativos) a partir do tempo de 80 minutos e Midilli, Kucuk e Yupar devido ao coeficiente b que não é estatisticamente significativo (p-level > 0,05) a um nível de confiança de 95 % e de significância de 0,05.

Tabela 4.7 - Resultados dos ajustes aos modelos estudados na temperatura de 50 °C

Modelo	Parâmetros dos modelos matemáticos				
	k	n	a	R^2	SQ
Newton	0,034191	-	-	0,965655	0,192064
Page	0,011630	1,320562	-	0,983004	0,095042
Page Modificado	0,008144	1,411939	0,964509	0,984111	0,088853
Henderson e Pabis	0,036146	-	1,050081	0,969080	0,172909

De acordo com a Tabela 4.7 verificou-se que os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma da folha de guajiru pois estes apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação (R^2) e baixo erro padrão (SQ). Os que tiveram os melhores ajustes aos dados experimentais na temperatura de 50 °C foram os modelos de Page Modificado ($R^2= 0,9841111$; $SQ= 0,088853$), seguido do modelo de Page ($R^2= 0,983004$; $SQ= 0,095042$).

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 50 °C

Modelo	Equação do ajuste matemático
Newton	$RU = \exp (-0,034191 \cdot t)$
Page	$RU = \exp (-0,011630 \cdot t^{1,320562})$
Page Modificado	$RU = 0,964509 \cdot \exp (-0,008144 \cdot t^{1,411939})$
Henderson e Pabis	$RU = 1,050081 \cdot \exp (-0,036146 \cdot t)$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X_0

As curvas de secagem com os melhores ajustes dos modelos matemáticos estão representadas nas Figuras 4.24, Page Modificado e 4.25, Page por ordem de prioridade de maior valor para o coeficiente de determinação (R^2). Os modelos de Newton e Henderson e Pabis constam no APÊNDICE A.

Figura 4.24 - Ajuste para o modelo de Page Modificado na temperatura de 50 °C

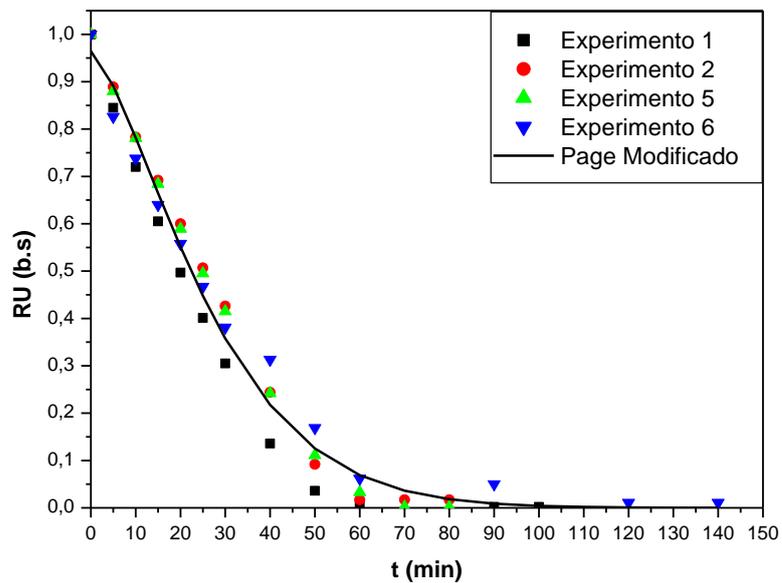
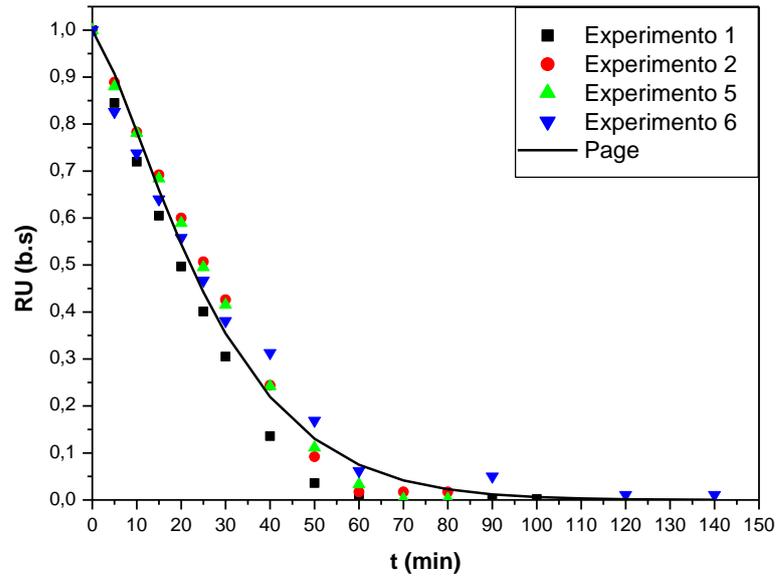


Figura 4.25 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 50 °C



Os coeficientes encontrados para as equações de cada um dos modelos testados, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e soma quadrática residual (SQ) para a temperatura de 60 °C estão descritos na Tabela 4.9. Dois modelos foram descartados, o modelo de Logaritmo que fornece valores sem sentido físico (valores negativos) para tempos maiores que 70 minutos e o de Midilli, Kucuk e Yupar que possui valor de coeficiente b não estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95 % e de significância $\alpha = 0,05$, ou seja, ($p\text{-level} = 0,987264 > 0,05$).

Tabela 4.9 - Resultados dos ajustes aos modelos testados na temperatura de 60 °C

Modelo	Parâmetros dos modelos matemáticos				
	k	n	a	R^2	SQ
Newton	0,041116	-	-	0,9769112	0,09181229
Page	0,013574	1,345977	-	0,99505741	0,01965413
Page Modificado	0,010733	1,409053	0,974759	0,99561713	0,01742841
Henderson e Pabis	0,043544		1,054177	0,98071039	0,07670488

Os modelos representados na Tabela 4.9 são os modelos que podem ser utilizados para comprovar o processo de secagem em camada de espuma da folha de guajiru pois eles apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação (R^2) e baixo erro padrão (SQ). Na temperatura de 60 °C os que tiveram melhores ajustes aos dados experimentais foram os

modelos de Page Modificado ($R^2= 0,99561713$; $SQ= 0,01742841$), seguido do modelo de Page ($R^2= 0,99505741$; $SQ= 0,001965413$).

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 60 °C

Modelo	Equação do ajuste matemático
Newton	$RU = \exp (-0,041116 \cdot t)$
Page	$RU = \exp (-0,013574 \cdot t^{1,345977})$
Page Modificado	$RU = 1,054177 \cdot \exp (-0,010733 \cdot t^{1,409053})$
Henderson e Pabis	$RU = 1,054177 \cdot \exp (-0,043544 \cdot t)$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X_0

As curvas de secagem com os melhores ajustes dos modelos matemáticos para a temperatura de 60 °C estão representadas nas Figuras 4.26, Page Modificado e 4.27, Page por ordem de prioridade de maior valor para o coeficiente de determinação (R^2). Os modelos de Newton e Henderson e Pabis constam no APÊNDICE B.

Figura 4.26 - Ajuste para o modelo de Page Modificado na temperatura de 60 °C

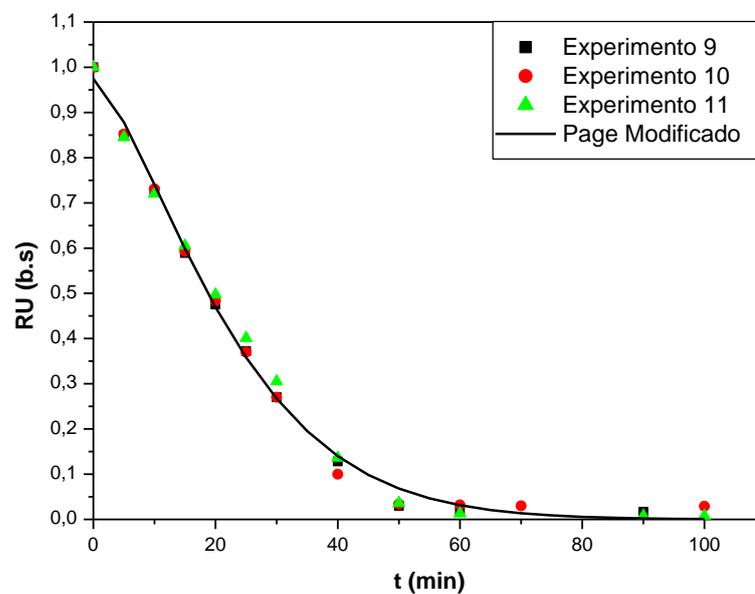
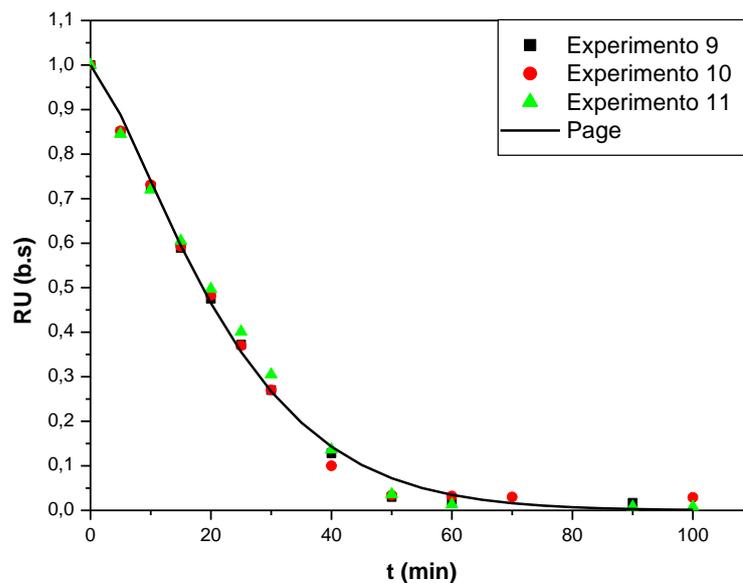


Figura 4.27 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 60 °C



Os parâmetros encontrados para as equações de cada um dos modelos, para a temperatura de secagem de 70 °C, são mostrados na Tabela 4.11, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S).

Tabela 4.11 - Resultados dos ajustes aos modelos testados na temperatura de 70 °C.

Modelo	Parâmetros dos modelos matemáticos				
	k	n	a	R^2	SQ
Newton	0,062888			0,91886374	0,35996178
Page	0,030158	1,255690		0,92875964	0,31605851
Page Modificado	0,028241	1,274564	0,989915	0,92885525	0,31563433
Henderson e Pabis	0,065166		0,036614	0,92054122	0,35251963

De acordo com a Tabela 4.11 os modelos matemáticos que apresentaram melhores resultados são os de Page Modificado Page Modificado ($R^2= 0,92885525$; $SQ= 0,31563433$), seguido do modelo de Page ($R^2= 0,92875964$; $SQ= 0,31605851$), com valores de coeficientes de determinação (R^2) e soma quadrática residual (SQ) bem aproximados.

Ainda foram analisados mais dois modelos matemáticos, ambos descartados. O modelo de Logaritmo pois o seu coeficiente b não é estatisticamente significativo (p-level = 0,238479 > 0,05) a um nível de confiança de 95 % e de significância, $\alpha = 0,05$. E o modelo de

Midilli, Kucuk e Yupar em que seus coeficientes k ($p\text{-level} = 0,058327 > 0,05$) e b ($p\text{-level} = 0,894725 > 0,05$) não são estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95 %.

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão apresentadas na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 70 °C

Modelo	Equação do ajuste matemático
Newton	$RU = \exp(-0,062888 \cdot t)$
Page	$RU = \exp(-0,030158 \cdot t^{1,255690})$
Page Modificado	$RU = 0,989915 \cdot \exp(-0,028241 \cdot t^{1,274564})$
Henderson e Pabis	$RU = 0,036614 \cdot \exp(-0,065166 \cdot t)$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X_0

As curvas de secagem com os melhores ajustes dos modelos matemáticos para a temperatura de 70 °C estão representadas nas Figuras 4.28, Page Modificado e 4.29, Page. Os modelos de Newton e Henderson e Pabis constam no APÊNDICE C.

Figura 4.28 - Ajuste para o modelo de Page Modificado na temperatura de 70 °C

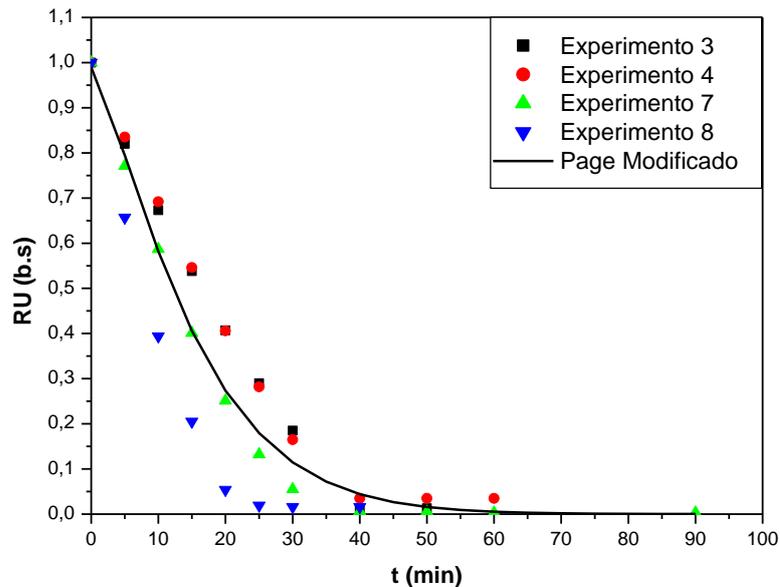
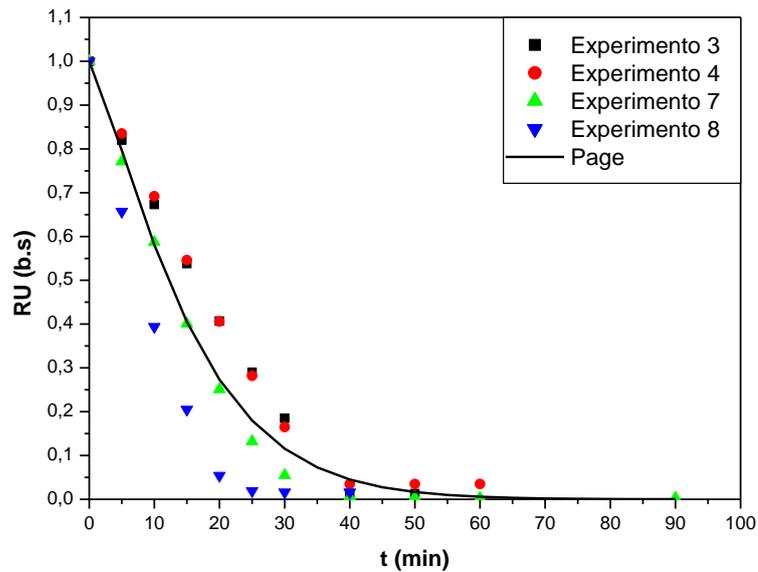


Figura 4.29 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 70 °C



Para todas as temperaturas os modelos de Page Modificado e Page foram os que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R^2) e menores erros padrões (SQ), diante de todos os modelos os dois em questão foram os que melhor se ajustaram ao agrupamento dos dados analisados. Este comportamento também foi observado por Negreiros (2019) ao ajustar os modelos da cinética de secagem em camada de espuma do suco da romã e Oliveira (2020) ao trabalhar com a cinética de secagem da folha da graviola (*Annona muricata* Linn) nas mesmas condições de temperaturas (50, 60 e 70 °C).

Costa et al. (2018), ao realizar ajuste matemático para a secagem da banana (*Musa ssp*) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, encontrou o mesmo comportamento para o modelo de Page que apresentou $R^2 > 0,99$ e Desvio Quadrático Médio próximo a 0,01.

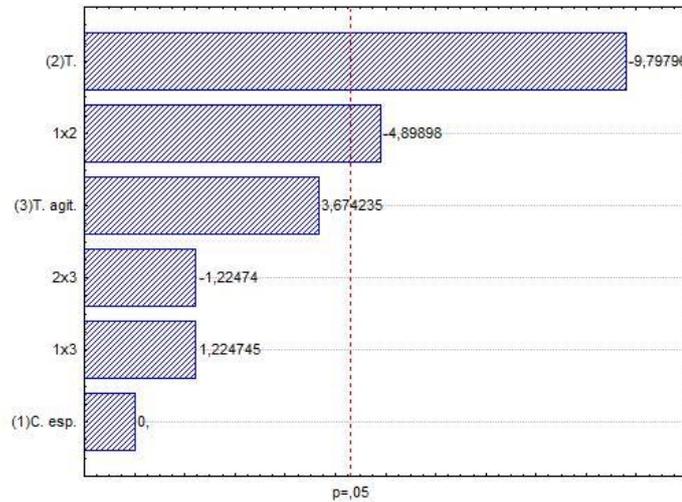
4.4.4 Análise estatística dos resultados do planejamento

A análise estatística foi utilizada a fim de verificar a influência das variáveis independentes, a saber: tempo de agitação (Tagit.), concentração do emulsificante (C. esp.) e temperatura de secagem (T) sobre a variável de resposta tempo de secagem (t_{secagem})

Tempo final de secagem ($t_{secagem}$)

Na Figura 4.30 é observado o diagrama de Pareto para o tempo final de secagem ($t_{secagem}$).

Figura 4.30 – Diagrama de Pareto para o tempo final de secagem ($t_{secagem}$).



De acordo com Figura 4.30, percebeu-se que em um intervalo de confiança de 95 % a variável de Temperatura (T) bem como a sua interação com a concentração de emulsificante (C. esp.) afetou de maneira significativa o tempo final de secagem.

Conforme observado, a temperatura é a variável que possui maior influência sobre o tempo final de secagem, verifica-se este fato através do sinal negativo (-9,79796), mostrando que quanto maior for a temperatura menor será o tempo de secagem da amostra. O mesmo comportamento foi observado por Oliveira (2018) ao estudar a secagem em camada de espuma da folha da graviola, o maior tempo final de secagem foi de 300 minutos para a menor temperatura (50 °C), já o menor tempo foi de 140 minutos para a temperatura de 70 °C.

Mediante a análise estatística foi possível gerar um modelo, utilizando a regressão linear com as variáveis independentes que foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Esse modelo possui um coeficiente de determinação (R^2) de 0,6103 ou percentagem de variação explicada de 61,03 % e um erro padrão de 33,33333 e pode ser visualizado na Equação 4.1.

$$t_{secagem} = 67,6136 + 2,625T - 1,25C * T \quad (4.1)$$

Nas Figuras 4.31 a 4.33 são mostradas as superfícies de respostas obtidas para o tempo de secagem, mantendo constante o tempo de agitação, a temperatura e a concentração do emulsificante, respectivamente.

Figura 4.31 - Superfície de resposta para o tempo de secagem, mantendo o tempo de agitação constante. Eixos: x(C (%)); y(T(°C)); z(t_{secagem}).

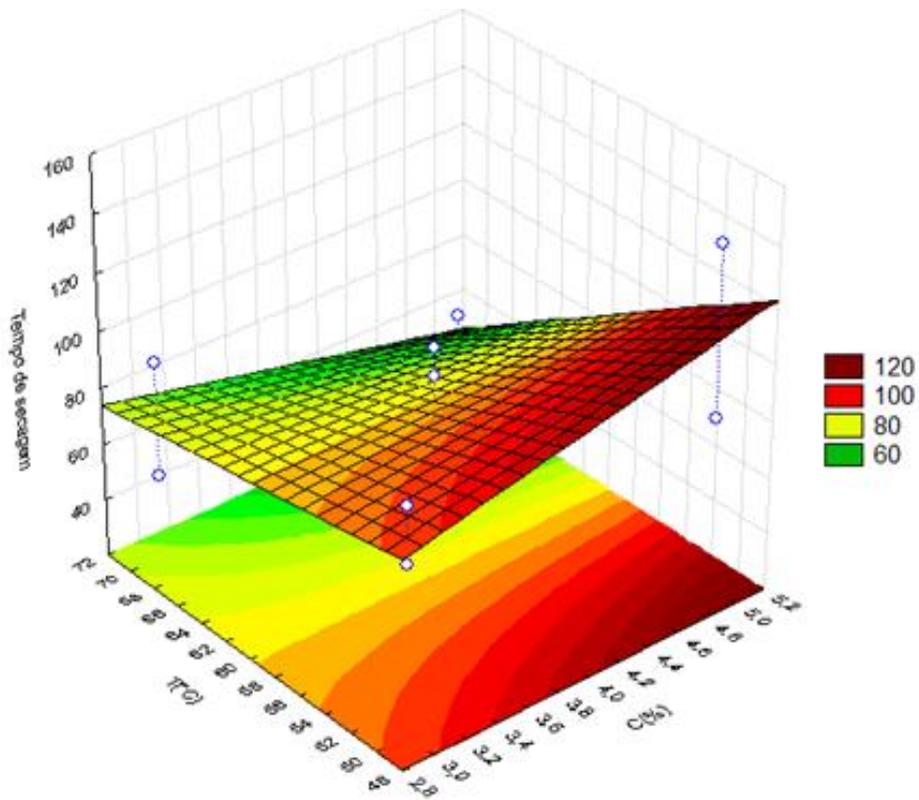


Figura 4.32 - Superfície de resposta para o tempo de secagem, mantendo temperatura constante. Eixos: x(Tag); y(C(%)); z(t_{secagem}).

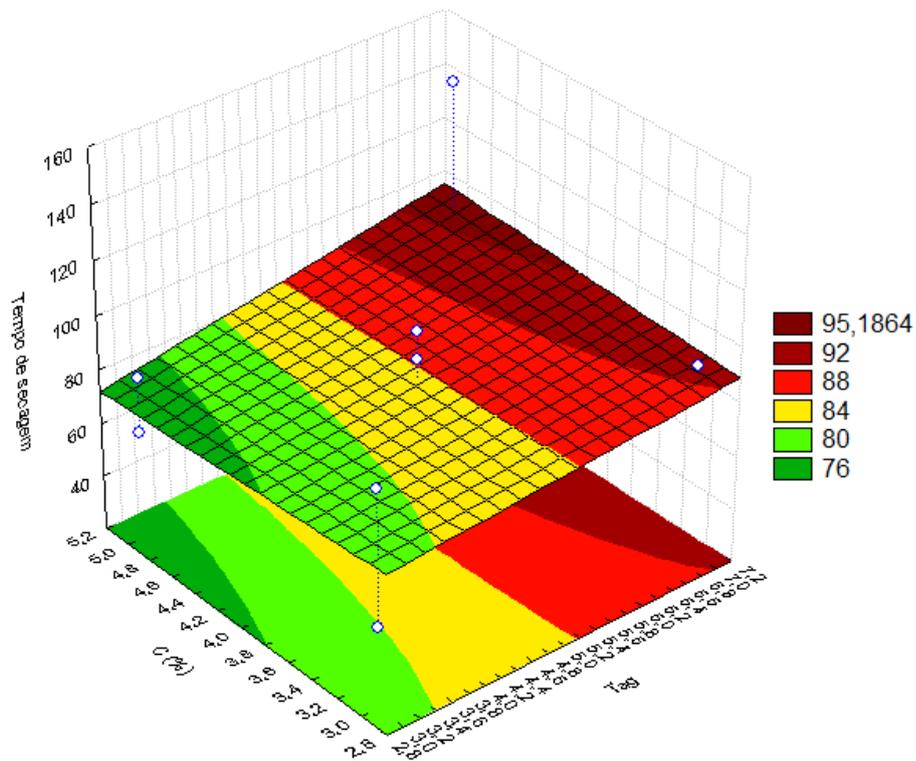
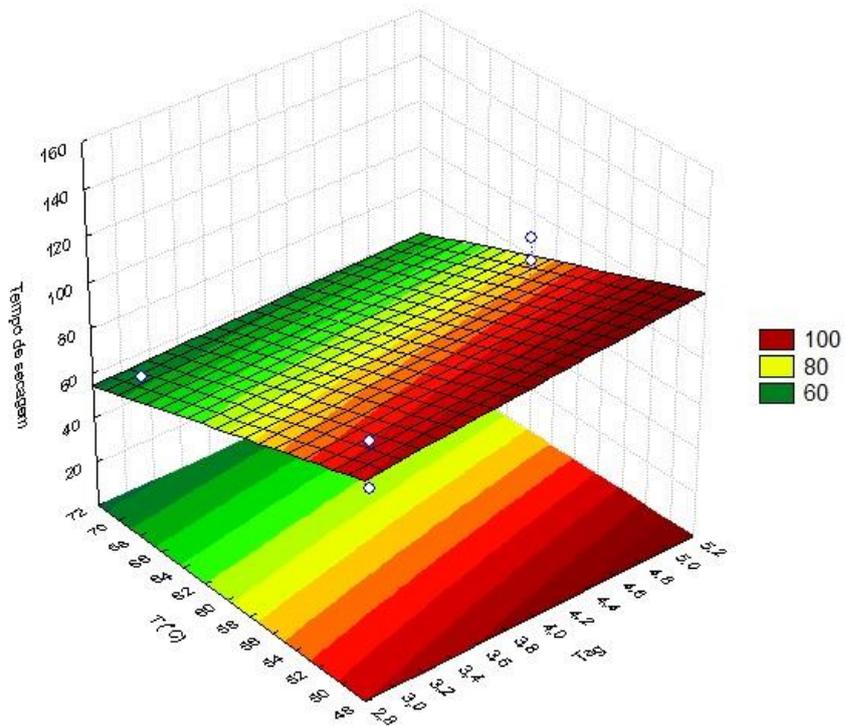


Figura 4.33 - Superfície de resposta para o tempo de secagem, mantendo concentração do emulsificante constante. Eixos: x(Tag); y($T(^{\circ}\text{C})$); z(t_{secagem}).



Na Figura 4.31, com tempo de agitação constante, verificou-se que quanto maior for a temperatura, menor será o tempo de secagem e que quanto maior a concentração do emulsificante (%C) maior será o tempo de secagem.

Na Figura 4.32, com temperatura constante, percebeu-se que as variáveis concentração do emulsificante (%C) e tempo de agitação (T_{ag}) interferem muito pouco no tempo de secagem.

Pela Figura 4.33, com concentração do emulsificante constante, verificou-se que existe pouca influência da temperatura sobre o tempo de secagem. Ao contrário do que ocorre com o tempo de agitação pois quando maior ele for, maior será o tempo de secagem.

4.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, FÍSICA E QUÍMICA DO PÓ DA FOLHA DE GUAJIRU

4.5.1 Determinação da atividade de água (a_w), Umidade (%), Potencial hidrogeniônico (pH), Sólidos Solúveis Totais – SST (°Brix) e acidez total titulável (ATT).

Na Tabela 4.13 são mostrados os valores obtidos para a atividade de água (a_w), e umidade (%) do pó da folha de guajiru.

Tabela 4.13 – Valores da atividade de água e umidade (%) do pó da folha de guajiru

Experimento	a_w^*	Umidade * (%)
1 (3%, 3 min, 50 °C)	0,508 ± 0,012	8,80 ± 2,7
2 (5%, 3 min, 50 °C)	0,334 ± 0,009	4,69 ± 0,9
3 (3%, 3 min, 70 °C)	0,163 ± 0,020	3,23 ± 0,7
4 (5%, 3 min, 70 °C)	0,169 ± 0,030	5,96 ± 0,8
5 (3%, 7 min, 50 °C)	0,359 ± 0,006	4,50 ± 0,1
6 (5%, 7 min, 50 °C)	0,374 ± 0,020	5,02 ± 0,3
7 (3%, 7 min, 70 °C)	0,220 ± 0,025	3,55 ± 1,1
8 (5%, 7 min, 70 °C)	0,174 ± 0,027	6,60 ± 0,7
9 (4%, 5 min, 60 °C)	0,340 ± 0,009	4,47 ± 0,4
10 (4%, 5 min, 60 °C)	0,260 ± 0,032	7,77 ± 0,04
11 (4%, 5 min, 60 °C)	0,289 ± 0,002	5,92 ± 0,5

*Média ± desvio padrão.

A determinação da atividade de água nos alimentos é essencial para que não ocorra proliferação de contaminantes, agindo diretamente na escolha das condições de armazenamento do produto e tempo de prateleira. Além da atividade de água mais dois fatores podem gerar as consequências enfatizadas que são os valores de pH e umidade. Bactérias e fungos podem se desenvolver através de culturas acelerando seus metabolismos (TERRA et al., 2007).

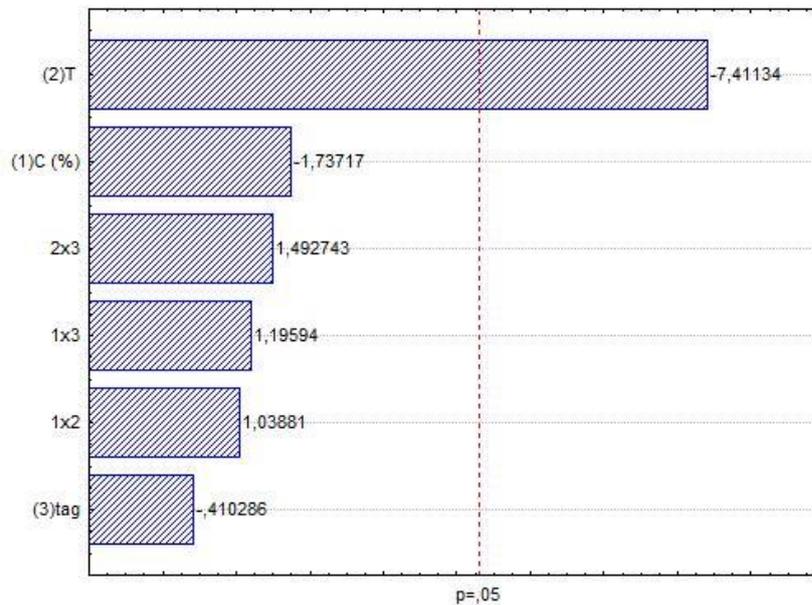
Segundo Beuchat (1983) a faixa de a_w entre 0,61 a 0,70 é propícia à proliferação de fungos filamentosos, pois eles são mais resistentes à diminuição da atividade de água. Para Souza (2015) isto acontece porque não existe concorrência com bactérias.

Há um pequeno crescimento microbiano para valores de a_w aproximados a 0,6 e com valores menores que 0,3 a velocidade das reações químicas e enzimáticas tende à zero e não há desenvolvimento de microrganismos (CELESTINO, 2010).

Pela Tabela 4.13 foi observado que o menor valor de atividade de água foi obtido no experimento 3 com $0,163 \pm 0,020$ e o maior valor de $0,508 \pm 0,012$ obtido no experimento 1. Observou-se também que existem variações de valores conforme a temperatura aumenta. Negreiros (2019) ao trabalhar a polpa da romã, com o juá como agente espumante, encontrou

valor mínimo de $0,18 \pm 0,02$ e máximo de $0,37 \pm 0,04$. Contudo se pode afirmar que os valores de atividade de água para o pó da folha de guajiru são satisfatórios de acordo com a literatura.

Figura 4.34 – Diagrama de Pareto para atividade de água (a_w) do pó da folha de guajiru



Ao analisar estatisticamente as variáveis independentes para a atividade de água (a_w), observou-se que a variável de temperatura é significativa para o parâmetro analisado a ($p < 0,05$). De acordo com o diagrama de Pareto representado na Figura 4.34, percebe-se uma influência negativa (7,41134), ou seja, quando menor for a temperatura maior será a atividade de água.

Pela Tabela 4.13 foi observado que os menores valores de umidade em base úmida para os pós são referentes aos experimentos com menor concentração de agente espumante (3%) e temperatura de 70 °C.

Aguiar (2010) encontrou valor de umidade superior a todos os níveis do planejamento desta pesquisa, em torno de $10,46 \pm 0,27$ % para a folha de guajiru desidratada.

Pela análise estatística não foi observado significância de nenhum parâmetro analisado a ($p < 0,05$) para a variável de resposta umidade em base úmida. O resultado pode ser observado pelo diagrama de umidade em base úmida representado no Apêndice D.

Na Tabela 4.14 são mostrados os valores obtidos para pH, SST (°Brix) e Ácidez Total Titulável – ATT (% ácido cítrico) do pó da folha de guajiru.

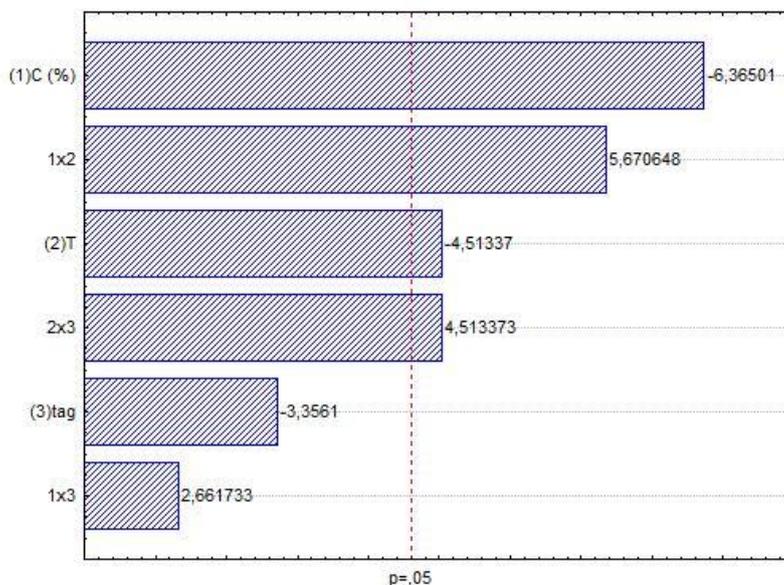
Tabela 4.14 – Valores da atividade de pH, SST (°Brix) e ATT (% ácido cítrico) do pó da folha de guajiru

Experimento	pH*	SST (°Brix)*	ATT* (% Ácido cítrico)
1 (3%, 3 min, 50 °C)	5,73 ± 0,09	12,0 ± 1,1	0,064 ± 0,0
2 (5%, 3 min, 50 °C)	5,31 ± 0,06	12,0 ± 2,3	0,063 ± 0,0
3 (3%, 3 min, 70 °C)	5,31 ± 0,02	12,0 ± 0,0	0,063 ± 0,0
4 (5%, 3 min, 70 °C)	5,34 ± 0,04	16,0 ± 2,3	0,076 ± 0,0
5 (3%, 7 min, 50 °C)	5,40 ± 0,02	12,0 ± 3,0	0,064 ± 0,01
6 (5%, 7 min, 50 °C)	5,30 ± 0,01	14,0 ± 0,0	0,076 ± 0,01
7 (3%, 7 min, 70 °C)	5,38 ± 0,02	12,0 ± 0,0	0,064 ± 0,0
8 (5%, 7 min, 70 °C)	5,32 ± 0,07	12,0 ± 0,0	0,077 ± 0,0
9 (4%, 5 min, 60 °C)	5,76 ± 0,03	12,0 ± 0,0	0,063 ± 0,02
10 (4%, 5 min, 60 °C)	5,82 ± 0,05	12,0 ± 0,0	0,064 ± 0,0
11 (4%, 5 min, 60 °C)	5,80 ± 0,04	14,0 ± 0,0	0,063 ± 0,01

*Média ± desvio padrão.

Aguiar (2010), ao trabalhar com a folha desidratada do guajiru, encontrou valor de pH de $5,18 \pm 0,0$. Comparando os valores encontrados no pó Tabela 4.14 com o da folha desidratada se percebe que existe uma variação mínima que pode ser influenciada pela adição do agente espumante.

Figura 4.35 – Diagrama de Pareto para pH do pó da folha de guajiru



Pela Figura 4.35 foi observado que a variável tempo de agitação e sua interação com a concentração do agente espumante não influenciou significativamente ($p < 0,05$). Já as variáveis de temperatura (4,51337) e concentração de emulsificante (6,36501) mostraram resultados significativos para os mesmos parâmetros adotados com influência negativa para ambas. Ou seja, quanto maior o valor dessas variáveis menor será o valor de pH.

Ainda de acordo com a Figura 4.30, observou-se também que as interações concentração do agente espumante *versus* temperatura (5,670648) e tempo de agitação *versus* temperatura (4,513373) possuem influência com sinal positivo. Ou seja, quanto maior forem os valores dessas interações, maior será o valor de pH.

Pela Tabela 4.14 foi observado que o maior de SST foi obtido no experimento 4 (5%, 3 min, 70 °C) e predominância de menor valor $12,0 \pm 0,0$ °Brix em metade dos experimentos.

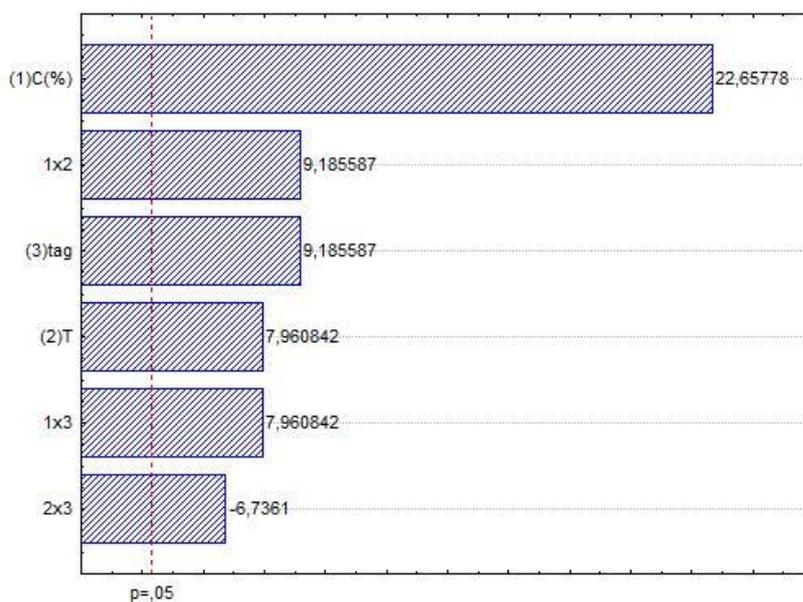
Valores superiores foram encontrados por Oliveira (2018) com o pó obtido da secagem em camada de espuma da folha da graviola, máximo de $46,67 \pm 1,88$ °Brix (3%, 5 min, 70 °C) e mínimo de $42,00 \pm 1,41$ °Brix (5%, 5 min, 50 °C).

Pela análise estatística não foi observado significância de nenhum parâmetro analisado a ($p < 0,05$). O resultado pode ser observado pelo diagrama de Pareto para SST (°Brix) apresentado no Apêndice E.

Pela Tabela 4.14 foi observado que não houve mudanças relevantes na acidez dos pós no decorrer de todos os experimentos, porém a acidez do pó foi maior do que a acidez da espuma (Tabela 4.4). A exemplo, o experimento 8 ao ser submetido a temperatura de 70 °C teve sua acidez alterada de $0,038 \pm 0,006$ % Ácido cítrico (espuma) para $0,077 \pm 0,0$ % Ácido cítrico (pó).

Aguiar (2010) encontrou valores maiores de acidez ao estudar a folha de guajiru desidratada, $0,48 \pm 0,02$ gNaOH. Oliveira (2018) ao secar a folha da graviola encontrou acidez mínima para o pó de $1,97 \pm 0,06$ % Ácido cítrico (5%, 3 min, 50 °C) e máxima de $2,34 \pm 0,04$ % Ácido cítrico (3%, 5 min, 70 °C).

Figura 4.36 – Diagrama de Pareto para ATT (% Ácido cítrico) do pó da folha de guajiru



A análise estatística das variáveis independentes apresentadas na Figura 4.36 apontou que todas as variáveis bem como as interações entre elas foram estatisticamente significativas a ($p < 0,05$). O único fator que apresentou significância negativa (6,7361) foi a interação entre temperatura e tempo de agitação. Ou seja, quanto maior for esta interação menor será o valor de ATT.

4.5.2 Determinação do rendimento teórico e índice de solubilidade em água (ISA) do pó da folha de guajiru.

Na Tabela 4.15 estão dispostos os valores do rendimento teórico e índice de solubilidade em água (ISA) do pó da folha de guajiru para todos os experimentos do planejamento experimental fatorial completo.

Tabela 4.15 – Valores de rendimento teórico e Índice de Solubilidade em Água (ISA) do pó da folha de guajiru.

Experimento	Rendimento* (%)	ISA* (%)
1 (3%, 3 min, 50 °C)	11,70	16,14 ± 4,30
2 (5%, 3 min, 50 °C)	15,48	13,48 ± 0,37
3 (3%, 3 min, 70 °C)	11,14	13,12 ± 1,30
4 (5%, 3 min, 70 °C)	13,15	14,72 ± 0,39
5 (3%, 7 min, 50 °C)	11,41	8,14 ± 26,61
6 (5%, 7 min, 50 °C)	13,29	14,00 ± 4,37
7 (3%, 7 min, 70 °C)	11,78	11,40 ± 2,34
8 (5%, 7 min, 70 °C)	12,82	15,18 ± 0,86
9 (4%, 5 min, 60 °C)	12,88	13,76 ± 1,26
10 (4%, 5 min, 60 °C)	13,88	15,20 ± 1,33
11 (4%, 5 min, 60 °C)	10,61	19,25 ± 6,52

*Média ± desvio padrão.

De acordo com a Tabela 4.15 foi observado que o maior valor de rendimento é 15,48% para o experimento 2 (5%, 3 min, 50 °C) e o menor valor 10,61% para o experimento 11 (4%, 5 min, 60 °C).

Leite (2018) ao realizar a secagem com a folha da hortelã-da-folha-miúda encontrou valores de rendimentos bem menores, entre 1,304 e 2,897%. Oliveira (2018) encontrou rendimentos máximos de 7,06% (3%, 3 min, 70 °C) e mínimos de 3,73% (4%, 4 min, 60 °C) ao trabalhar com a folha da graviola.

Pela análise estatística não foi observado significância de nenhum parâmetro analisado a ($p < 0,05$) para a variável de resposta de rendimento (%). O resultado pode ser observado pelo diagrama de Pareto para rendimento (%) apresentado no Apêndice F.

Os melhores índices de solubilidade dos pós foram obtidos nos experimentos com maiores concentração de agente espumante (4% e 5%), com exceção do experimento 1.

De acordo com análise estatística não foi constatado significância de nenhum parâmetro analisa a ($p < 0,05$) para os valores de índice de solubilidade em água dos pós da folha de guajiru. O diagrama de Pareto para ISA está disposto no Apêndice G.

4.5.3 Determinação do teor de cinzas (macronutriente) do pó da folha de guajiru

Na Tabela 4.16 estão dispostos os valores do teor de cinzas do pó da folha de guajiru

Tabela 4.16 – Valores de teor de cinzas do pó da folha de guajiru.

Experimento	Cinzas* (%)
1 (3%, 3 min, 50 °C)	6,78 ± 0,47
2 (5%, 3 min, 50 °C)	7,49 ± 0,34
3 (3%, 3 min, 70 °C)	7,36 ± 0,31
4 (5%, 3 min, 70 °C)	7,75 ± 0,16
5 (3%, 7 min, 50 °C)	7,35 ± 0,21
6 (5%, 7 min, 50 °C)	7,46 ± 0,03
7 (3%, 7 min, 70 °C)	6,93 ± 0,38
8 (5%, 7 min, 70 °C)	7,82 ± 0,47
9 (4%, 5 min, 60 °C)	6,83 ± 0,16
10 (4%, 5 min, 60 °C)	6,75 ± 0,09
11 (4%, 5 min, 60 °C)	6,75 ± 0,11

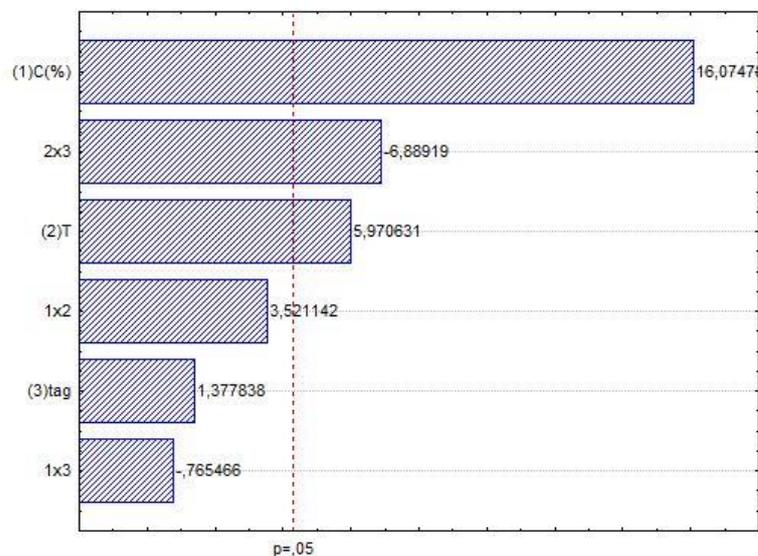
*Média ± desvio padrão.

As alterações nos valores do teor de cinza foram mínimas no decorrer de todos os experimentos.

Aguiar (2010), ao desidratar a folha de guajiru, encontrou teor de cinzas de $4,61 \pm 0,13 \text{ g.100g}^{-1}$. Pelos valores da Tabela 4.16 e pela análise estatística representada através do

diagrama de Pareto Figura 4.32 foi observado aumento nos valores de cinzas que ocorreu devido à adição do agente espumante e conforme aumento da temperatura.

Figura 4.37 – Diagrama de Pareto para cinzas do pó da folha de guajiru



A análise estatística das variáveis independentes, representada através do Diagrama de Pareto Figura 4.37, para os valores de cinzas mostrou que a variável concentração do emulsificante e temperatura bem como a interação temperatura *versus* tempo de agitação tiveram influência significativa a ($p < 0,05$). As variáveis apresentaram influência positiva, (16,0747) para concentração do agente espumante e (5,970631) para temperatura, ou seja, maiores valores dessas variáveis irão carregar maiores valores de teor de cinzas do pó da folha de guajiru. Já a interação temperatura *versus* tempo de agitação teve influência negativa (6,88919), ou seja, menor valor maior será o teor de cinzas.

4.6 COMPOSTOS BIOATIVOS PRESENTES NA FOLHA DE GUAJIRU

4.6.1 Clorofila

Uma das características da clorofila em compostos alimentícios é a capacidade de ser utilizada como corante em alimentos, porém quando expostas a certos tipos de luzes e temperaturas ela pode ser degradada facilmente. Outra característica assim como os carotenoides é que possuem propriedades antioxidantes. (VALKO et al., 2004; ZAICOVSKI, 2008).

Na Tabela 4.17 são mostrados os valores das clorofilas A (C_a), B (C_b) e total (C_{total}) para o pó da folha de guajiru, obtidos de acordo com o planejamento experimental fatorial completo.

E na Figura 4.33 é mostrado o Diagrama de Pareto para clorofila total (C_{total}) para pó da folha de guajiru. Pela análise estatística não foi observado significância a ($p < 0,05$) para a clorofila A e B., cujos diagramas de Pareto são mostrados no Apêndice H.

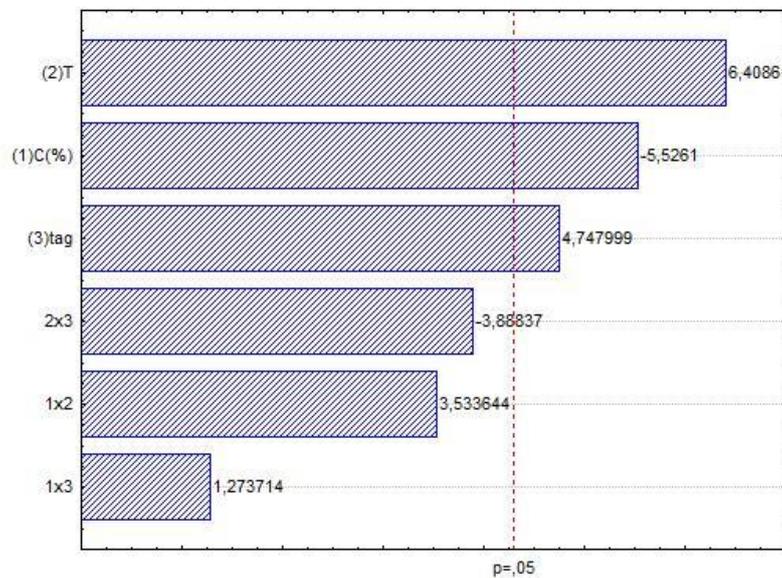
Tabela 4.17 – Valores das clorofilas A (C_a), B (C_b) e total (C_{total}) para o pó da folha de guajiru.

Experimento	C_a	C_b	C_{total}
1 (3%, 3 min, 50 °C)	116,64 ± 12,77	31,04 ± 4,84	147,59 ± 17,60
2 (5%, 3 min, 50 °C)	121,14 ± 0,0	48,98 ± 0,0	63,98 ± 0,0
3 (3%, 3 min, 70 °C)	113,19 ± 20,54	70,43 ± 3,53	183,51 ± 17,01
4 (5%, 3 min, 70 °C)	127,58 ± 11,67	36,29 ± 7,35	172,04 ± 25,99
5 (3%, 7 min, 50 °C)	148,60 ± 10,55	49,20 ± 3,71	187,70 ± 14,25
6 (5%, 7 min, 50 °C)	113,51 ± 6,72	29,78 ± 3,61	144,63 ± 8,33
7 (3%, 7 min, 70 °C)	149,55 ± 9,67	42,53 ± 1,58	191,98 ± 11,10
8 (5%, 7 min, 70 °C)	136,02 ± 0,82	39,67 ± 3,32	175,59 ± 4,11
9 (4%, 5 min, 60 °C)	124,20 ± 13,27	34,39 ± 3,73	159,23 ± 16,60
10 (4%, 5 min, 60 °C)	138,59 ± 7,63	39,66 ± 2,89	178,15 ± 10,51
11 (4%, 5 min, 60 °C)	131,83 ± 9,17	31,97 ± 11,10	163,71 ± 18,94

*Média ± desvio padrão.

De acordo com a Tabela 4.17 os maiores valores encontrados para a clorofila A e total foram do experimento 7 (3%, 7 min, 70 °C) com 149,55 ± 9,67 e 191,98 ± 11,10 mg/100g, respectivamente. No experimento 3 (3%, 3 min, 70 °C) com 70,43 ± 3,53 mg/100g para a clorofila B.

Figura 4.38 – Diagrama de Pareto para clorofila total (C_{total}) para pó da folha de guajiru



Na Figura 4.38, para os valores da clorofila total, foi observado que todas as variáveis foram estatisticamente significativas a ($p < 0,05$). Entre elas a única que apresentou significância negativa (5,5261) foi a de concentração do agente espumante, ou seja, quando maior for esta concentração maior será o valor de clorofila total. As interações entre as variáveis não foram estatisticamente significativas.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa enfatiza-se que para a obtenção do pó da folha de guajiru em camada de espuma é necessário a adição mínima de 3 % do agente espumante, pó da entre casca do juá e tempo de agitação mínimo de 3 minutos.

Para o nível de confiança de 95 % ($p < 0,05$), as características físicas da espuma como densidade, percentual de expansão e capacidade de incorporação do ar apresentaram dependência significativa para a interação entre as variáveis independentes de concentração do emulsificante e tempo de agitação. A variável umidade em base úmida não apresentou dependência significativa.

A espuma produzida com a adição do aditivo do pó da entre casca do juá apresentou melhores condições de estabilidade com valores melhores de drenagem do que o agente espumante Portogel.

A variável que mais influenciou no processo de secagem foi a de temperatura apresentando um tempo mínimo de secagem de 40 minutos (experimento 8). A interação entre temperatura e agente espumante também foi significativa em um intervalo de confiança de 95 % ($p < 0,05$) afetando o tempo final de secagem.

As curvas de secagem mostraram comportamento de acordo com a literatura com dois períodos de secagem, período de taxa constante seguido pelo período de taxa decrescente.

Em todas as temperaturas (50, 60 e 70 °C) os modelos matemáticos de Page Modificado e Page foram os que apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R^2) e menores erros padrões (SQ) evidenciando um excelente ajuste ao agrupamento de dados da cinética de secagem em camada de espuma.

Com o intuito de verificar se a metodologia aplicada ao processo de secagem em camada de espuma poderia interferir significativamente nos resultados dos teores avaliados foi realizada a caracterização físico-química dos pós obtidos após a secagem. De acordo com os resultados foi possível perceber que os padrões físico-químicos de qualidade como: ATT, pH e SST (°Brix) se mantiveram em níveis aceitáveis para os produtos. Verificou-se também que para um intervalo de confiança de 95 % a variável de temperatura e concentração de agente espumante, bem como as interações concentração do agente espumante *versus* temperatura e tempo de agitação *versus* temperatura foram significativas. Para ATT todas as

variáveis e interações demonstraram valores significativos, já para o SST (°Brix) nenhuma variável apresentou parâmetro significativo.

A atividade de água e umidade mantiveram-se dentro dos padrões e valores esperados de acordo com a literatura. Foram encontrados a_w mínimo de $0,163 \pm 0,020$ e máximo de $0,508 \pm 0,012$. De acordo com a análise estatística foi observado significância da variável de temperatura para atividade de água e nenhuma para umidade em base úmida.

Pela análise estatística não foi retratado significância de nenhum parâmetro analisado a ($p < 0,05$) para as propriedades físicas de rendimento e ISA do pó da folha de guajiru.

Para os valores de cinzas (macronutriente) foram observados que a variável concentração do emulsificante e temperatura bem como a interação temperatura *versus* tempo de agitação tiveram influência significativa a ($p < 0,05$).

Para os compostos bioativos do pó da folha de guajiru os valores obtidos foram bastante elevados comprovando que o produto é uma boa fonte para esses nutrientes. Para os valores da clorofila total, foi observado que todas as variáveis (temperatura, concentração de emulsificante e tempo de agitação) foram estatisticamente significativas a ($p < 0,05$), já a clorofila A e B não apresentaram significância para o mesmo parâmetro.

Para produção em larga escala o experimento 8 (5%, 7 min, 70 °C) seria o ideal já que este apresentou parâmetro de a_w de $0,174 \pm 0,027$ e o menor tempo de secagem que foi de 40 minutos.

De acordo com os dados apresentados no decorrer desta pesquisa, afirma-se que o processo de secagem em camada de espuma é viável para a obtenção do pó da folha de guajiru. O processo além de ser rápido consegue resguardar as características químicas e dos compostos bioativos do vegetal podendo resultar em um produto possível para a indústria farmacêutica, de cosméticos e alimentícia.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, T. M. **Caracterização química e física de folhas, frutos e sementes do bajuru (*Chrysobanalus icaco*, L.) E avaliação do chá dessas folhas em camundongos (*swiss*) normais e diabéticos.** 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Serópedica, 2010.
- AKIPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin-layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 99-104, 2006.
- ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. R.; OLIVEIRA, A. N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leite de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 4-9, 2017.
- ARGENTA, S. C.; ARGENTA, L. C.; GIACOMELLI, S. R.; CEZAROTTO, V. S. Plantas medicinais: cultura popular versus ciência. **Vivências**, v. 7, n. 12, p. 51-60, 2011.
- BARBOSA, W. L. R.; PERES, A.; GALLORI, S.; VINCIERI, F. F. Determination of myricetin derivatives in *Chrysobalanus icaco* L. (Chrysobalanaceae). **Revista Brasileira Farmacognosia. Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 16, n. 3, p. 333-337, 2006.
- BELTRÁN, L. A. A.; MALDONADO, S. A. S.; PÉREZ, N. E. A.; SANTOS, R. L.; FERNÁNDEZ, I. M. **Caraterização nutricional nas polpas de *Chrysobalanus Icaco* L. como alimento sustentável.** V seminário internacional em ciências do ambiente e sustentabilidade na Amazônia. UFAM, Manaus, 2018.
- BEUCHAT, L. R. Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeast's and molds. **Journal of Food Protection**, v. 46, n. 2, p. 135-141, 1983.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria n° 06 de 31 de janeiro de 1995.** Diário Oficial da União, Brasília, 31 de janeiro de 1995.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2004. **Resolução 26/2014 de 13 de maio de 2014.** Dispõe sobre o Registro de medicamentos fitoterápicos e o registro e a notificação de produtos tradicionais fitoterápicos. Diário Oficial da União, Brasília, 13 de maio de 2014.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2004. **Resolução 218/2005 de 29 de julho de 2005.** Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Higiênico-Sanitários para Manipulação de Alimentos e Bebidas Preparados com Vegetais. Diário Oficial da União, Brasília, 29 de julho de 2005.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, p. 420 – 428, 2005.

CASTILHO, R.O.; SOUZA, I.; GUIMARÃES, U. P.; KAPLAN, M. A. C. A survey of chemical and biological activities of Chrysobalanaceae. **An Acad Bras Cienc**, v. 72, n. 2, p. 292-293, 2000.

CELESTINO, S. M. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Documentos 217. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina-DF, 2010.

CHAUDHURI, S. K.; BADISA, R. B.; PILARINOU, E.; WALKER, E. H. Licamichauxioid -A and-B Acids-twoent -Kaurene Diterpenoids from *Licania michauxii*. **Natural Product Letters**, v. 16, n.1, p. 39-45, 2002.

COSTA, Z. R. T.; SILVA, L. P. F. R.; ALVES, V. R.; SILVA, H. A.; VIEIRA, A. F. Modelos matemáticos da cinética de secagem de banana (*Musa ssp*). In **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC)**, Maceió, 2018.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada espuma**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

EL-AOUAR, Â. A. **Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya* L.) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, p. 349-3-59, 2004.

FALADE, K. O.; ONYEOZIRI, N. F. Effects of cultivar and drying method on color, pasting and sensory attributes of instant yam (*Dioscorea rotundata*) flours. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, n. 3, p.879-887, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**; 2° Ed. 602 p. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, J.; CASTILHO, R.O.; COSTA, M. R.; WAGNER-SOUZA, K.; KAPLAN, M. A. C.; GATTASS, C. R. Pentacyclic triterpenes from Chrysobalanacea species: cytotoxicity on multidrug resistant and sensitive leukemia cell lines. **Cancer Letters**, Irlanda, v. 190, n. 2, p.165-169, 2003.

FRANCIS, F. J. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. 2 Ed. New York: John Wiley & Sons, v.1, 2907p., 2000.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. 186p. São Paulo: Atheneu, 1996.

FRANCO, T. S. **Desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma**. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. 2ª ed. 682p. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

GARCIA, M. E. J.; BADAL, E. S. M.; GORDILLO, J. M. L.; MARTÍNEZ, R. F. M.; MARTÍNEZ, R. H. Una ventana al estudio del genoma de *Chrysobalanus Icaco* L. **Revista Kuxulkab' Voz chontal**, v. 25, n. 55, p. 61-65, 2011.

GURGEL, C. E. M. R.; DIEB, J. T.; MACHADO, A. K. T.; MEDEIROS, M. F. D. Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata* L.) em camada de espuma: avaliação dos parâmetros de secagem. **Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP)**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, 2015.

GURIB-FAKIM, A. Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow. **Molecular Aspects of Medicine**, v. 27, p. 1-93, 2006.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos: normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4. ed. [1. ed. digital]. São Paulo (SP): Instituto Adolfo Lutz; 2008.

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, v. 13, n. 3, p. 203-210, 1999.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MOITRA, S. Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, v. 5, n. 5, p. 374-387, 2012.

LEITE, A. C. **Estudo da cinética de secagem em camada de espuma (foam-mat drying) da hortelã-da-folha-miúda (*Mentha crispa*)**. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol.**, v. 148, p. 350-381, 1987.

LUCENA, R. F. P.; LUCENA, C. M.; CARVALHO, T. K. N.; FERREIRA, E. C. **Plantas e Animais Medicinais da Paraíba: Visões da Etnobiologia e Etnoecologia**. Editora IESP: 2018.

MACIEL, M. A. M.; PINTO, A. C.; VEIGA JR, V. F. Plantas medicinais: a necessidade de estudos multidisciplinares. **Química Nova**, v. 25, n. 3, 2002.

MANGUEIRA, E. R. **Estudo da secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do ovo de pata**. 112 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Engevista**, v. 15, n. 2, p. 176-186, 2013.

MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. **Desenvolvimento de fitoterápicos**. São Paulo: Robe, 1999.

MOSSEL, D.A.A.; KUIJK, H.J.L. Modelling of aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus* in a solid medium at different temperatures, pH and propionic acid concentrations. **Food Research International**, v. 20, p. 415 – 423, 1955.

NEGREIROS, J. K. S. **Secagem em camada de espuma do suco da romã, composto por sua polpa e casca**. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

NEWALL, C. A; ANDERSON, L. A; PHILLIPSON, J. D. **Plantas Medicinais: Guia para profissional de saúde**. Ed. Premier, 2002.

OLIVEIRA, B. F.; NEGREIROS, J. K. S.; BONFIN, K. S.; CAVALCANTE, J. A.; PINTO, M. F.; COSTA, N. A. Modelagem matemática da cinética de secagem em camada de espuma da folha da gravioleira (*Annona muricata* Linn) e caracterização do pó obtido. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, 2020.

OLIVEIRA, B. F. **Secagem da folha da graviola (*Annona muricata* Linn) pelo método de camada de espuma (*Foam-mat drying*)**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

OLIVEIRA, T. B. **Avaliação da toxicidade e atividades anti-inflamatórias e antinociceptiva do extrato aquoso da entrecasca de *Chrysobalanus icaco* L.** 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

PARACAMPO, N. E. N. P. **Fingerprinting e análise multivariada aplicados ao estudo de identidade e qualidade de fitoproduto de ajuru (*Chrysobalanus Icaco* Linnaeus)**. 185 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2017.

PARK, K. J.; NATSUMEDA, F. K.; DE OLIVEIRA, H. M. Discontinuous rotary grain dryer. In: **5th World Congresso f Chemical Engineering**, San Diego, California, U.S.A. July 14-18, p. 137-142, 1996.

PASSARI, L. M. Z. G.; SOARES P. K.; BRUNS, R. E.; SCARMINIO, I. S. Estatística aplicada à química: dez dúvidas comuns. Revista **Química Nova**, v. 34, n. 5, 2011.

PERES, A. R. M. N. **Caracterização farmacognóstica e avaliação antifúngica das folhas de *Chrysobalanus icaco* (Lin) em espécies de *Candida***. Dissertação (Mestrado em Ciências farmacêuticas) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre: 2014.

SANTANA, L. M.; SILVA, A. F. Características de solos do litoral onde ocorre o guajuru (*Chrysobalanus icaco* L.) e teores de N, P, K e Na nos órgãos desta espécie. **Revista Ceres**, vol. XLVII, n° 270, 2000.

SANTOS, A. E.; MARTINS, G. M. V.; CANUTO, M. F. C. S.; VIEIRA SEGUNDO, J. E. D.; ALMEIDA, R. D. Modelagem matemática para a descrição da cinética de secagem do fruto da palma (*Opuntia ficus indica*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 01-06, 2016.

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

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

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de aração-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinha, 2009.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C.; SILVA JUNIOR, A. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo "foam-mat". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 1, p. 164-170, 2001.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leito de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)**. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinha, 2011.

SOUZA, S. J. F. **Estudo da atividade de água em co-produtos da indústria de sucos: sementes de maracujá, casca de laranja e cascas de manga**. 70 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2015.

TELES, F. B.; RODRIGUES, I. C. B.; OLIVEIRA, M. H.; ZOTARELLI, M. Secagem em leito de espuma de Hortelã Pimenta (*Mentha piperita* L.). **Anais do II Simpósio de Tecnologia e Ciência**. Patos de Minas, MG. 2016.

TERRA, N. N.; FREITAS, R. J. S.; CICHOSKI, A. J. Atividade de água, pH, umidade e desenvolvimento de *Staphylococcus xylosus* durante o processamento e armazenamento da paleta suína curada, maturada e fermentada. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, n. 27, v. 4 p. 756-760, 2007.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **LWT – Food Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 348-357, 2012.

TOLEDO, A. C.; HIRATA, L. L.; BUFFON, M. C. M.; MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. Fitoterápicos: uma abordagem farmacotécnica. **Revista Lecta**, v. 21, n.1/2, p. 7-13, 2003.

VALKO, M., IZAKOVIC, M., MAZUR, M., RHODES, C. J., TELSER, J. Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 266, p. 37-56, 2004.

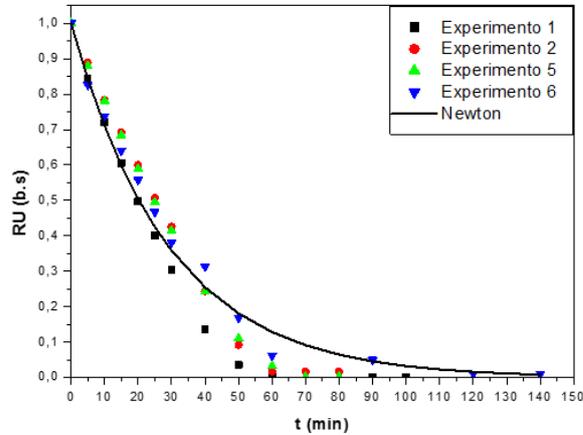
VARGAS, S. G. **Icaco (*Chrysobalanus icaco* L.): análisis químico de flavonoides y propagación por estacas**. 1998. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo Edo.de México, 1998.

WAUGHON, T. G. M.; PENA, R. da S. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 297-306, 2008.

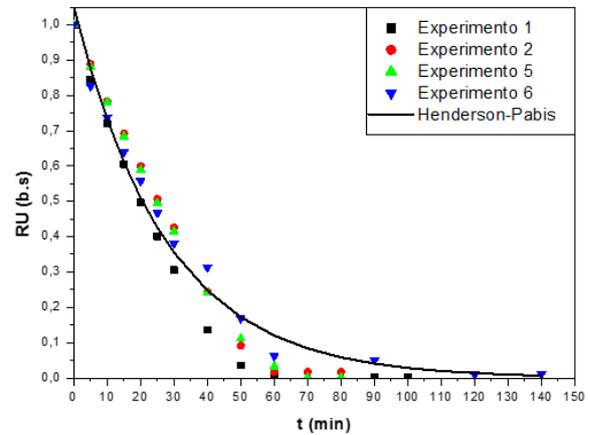
ZAICOVSKI, C. B. **Caracterização de frutas nativas da Região Sul da América do Sul quanto à presença de compostos bioativos, da atividade antioxidante e da atividade antiproliferativa frente à celular tumorais**. 91f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Ajustes para os modelos de Newton (a) e Henderson e Pabis (b) na temperatura de 50 °C.

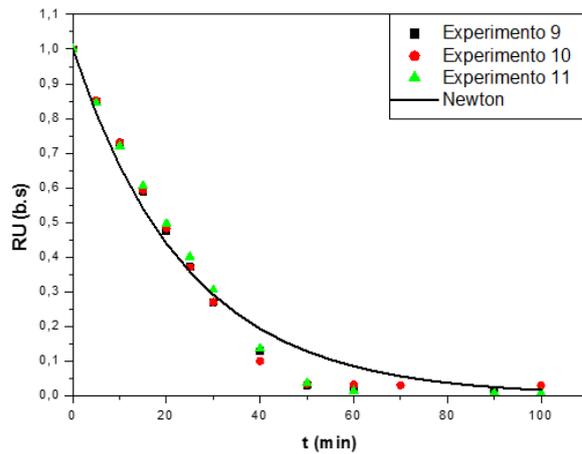


a) Modelo de Newton

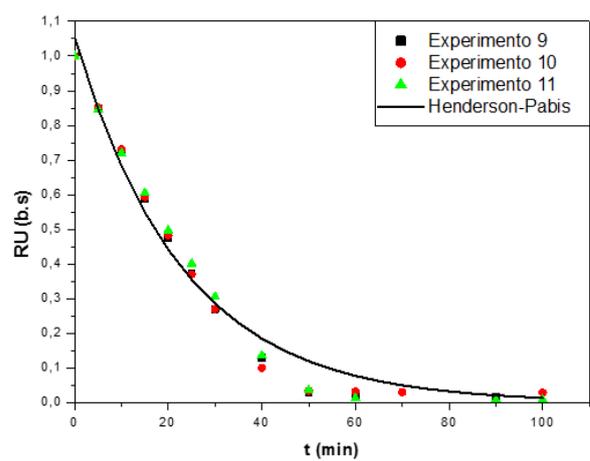


b) Modelo de Henderson e Pabis

APÊNDICE B – Ajustes para os modelos de Newton (a) e Henderson e Pabis (b) na temperatura de 60 °C

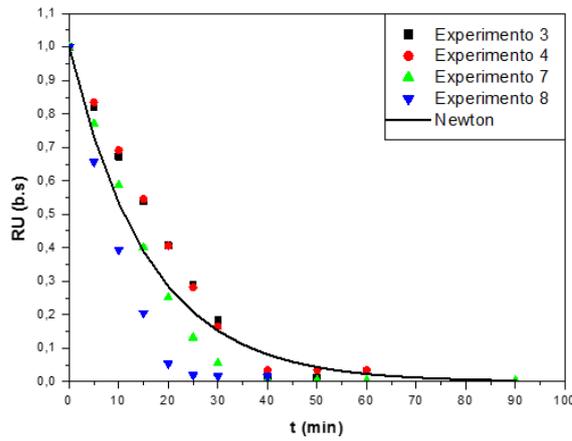


a) Modelo de Newton

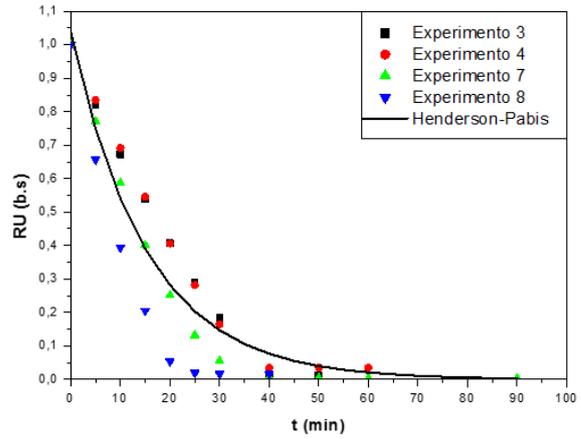


b) Modelo de Henderson e Pabis

APÊNDICE C – Ajustes para os modelos de Newton (a) e Henderson e Pabis (b) na temperatura de 70 °C

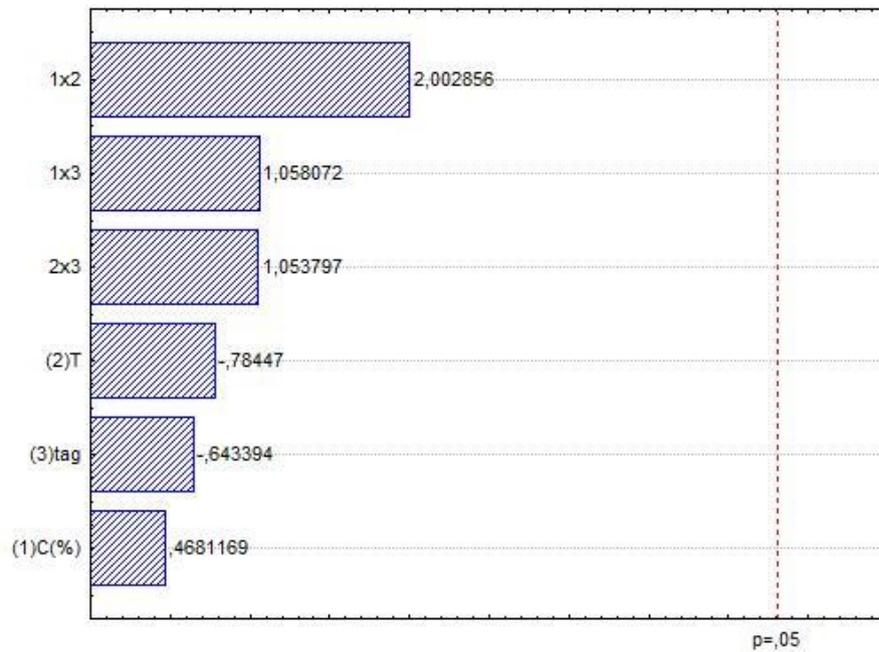


a) Modelo de Newton

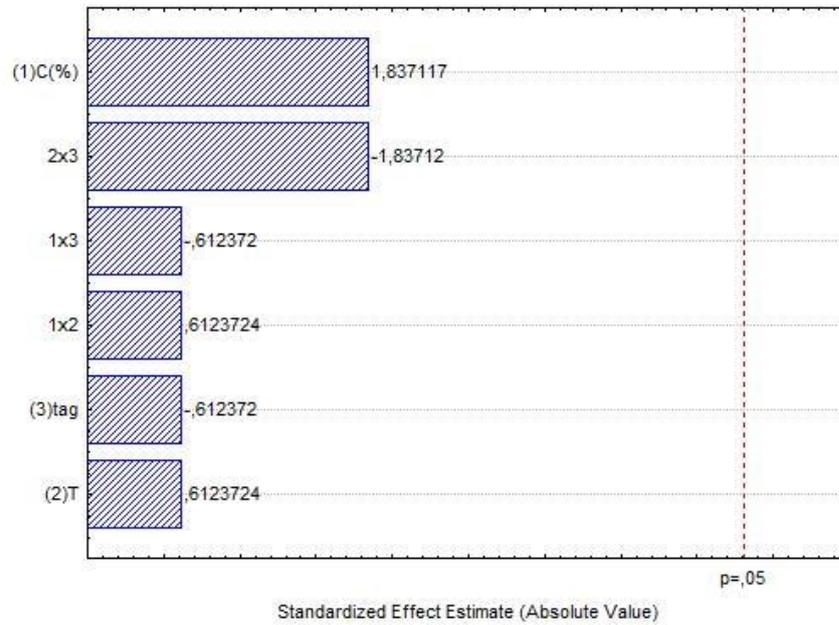


b) Modelo de Henderson e Pabis

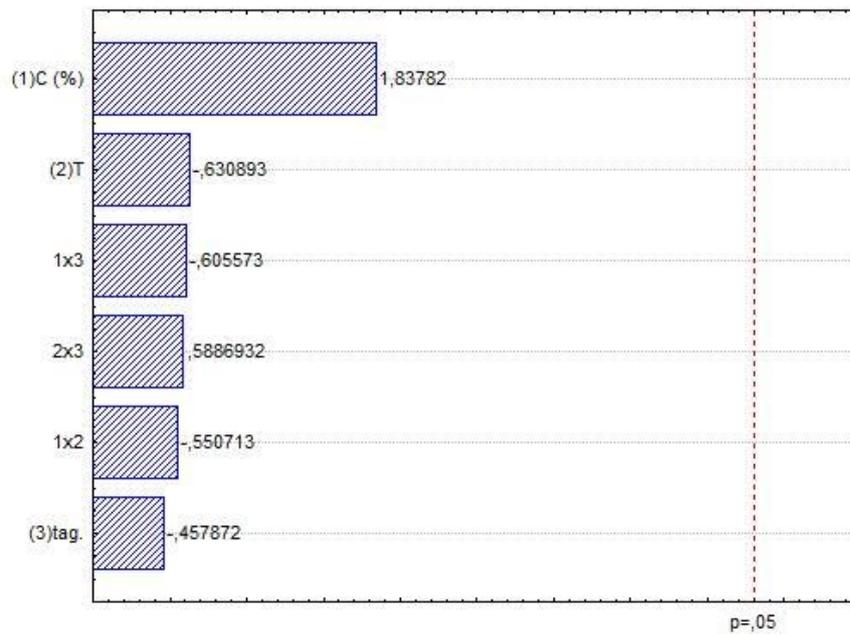
APÊNDICE D – Diagrama de Pareto para umidade em base úmida do pó da folha de guajiru



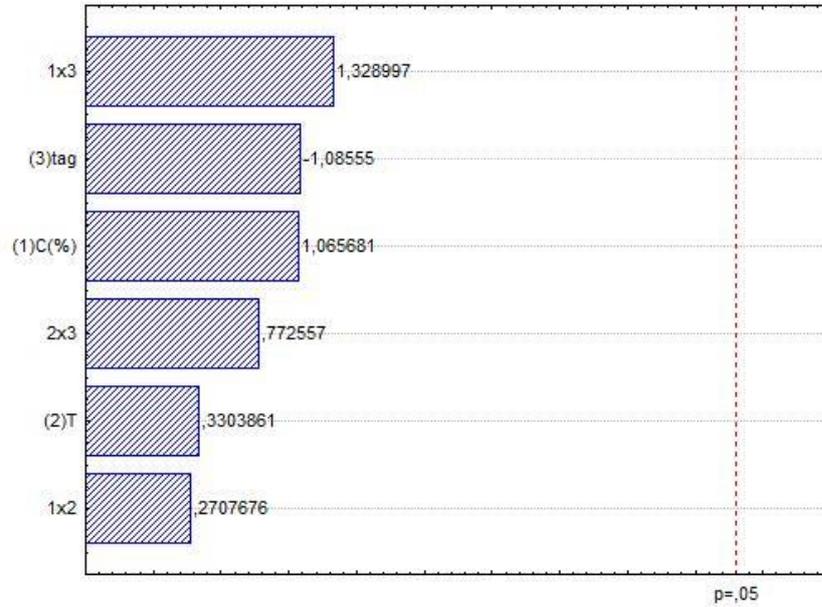
APÊNDICE E – Diagrama de Pareto para SST (°Brix) do pó da folha de guajiru



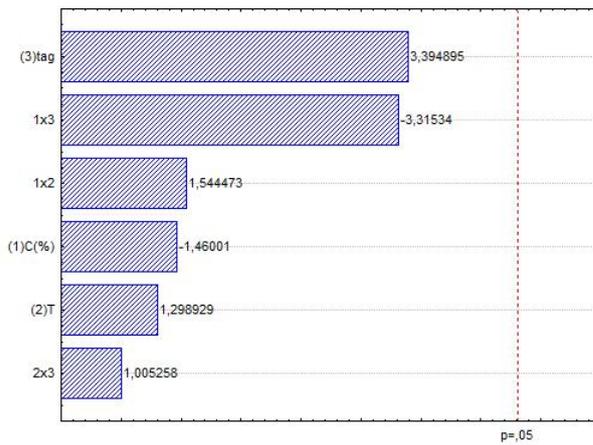
APÊNDICE F – Diagrama de Pareto para rendimento teórico (%) do pó da folha de guajiru



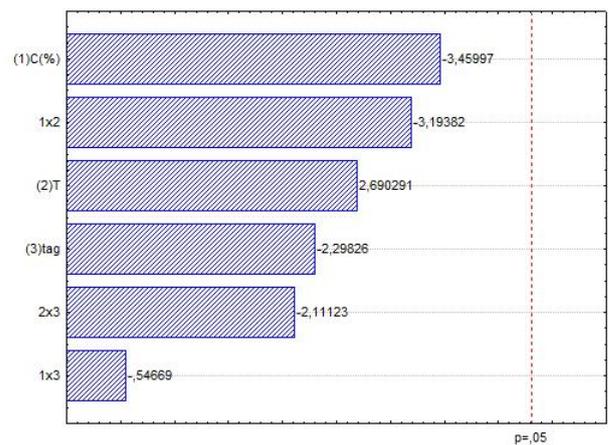
APÊNDICE G – Diagrama de Pareto para índice de solubilidade em água (ISA) do pó da folha de guajiru



APÊNDICE H – Diagrama de Pareto das clorofilas A (a) e B (b) para o pó da folha de guajiru



a) Clorofila A



b) Clorofila B