



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LARISSA OLIVEIRA MUNIZ

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DE FOLHAS DE
***KALANCHOE LAETIVIRENS*: TESTES PRELIMINARES PARA**
DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS

João Pessoa – PB, 2026

LARISSA OLIVEIRA MUNIZ

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DE FOLHAS DE *KALANCHOE*
LAETIVIRENS: TESTES PRELIMINARES PARA DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS

Trabalho Final de Curso ou Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador (a): Josilene de Assis Cavalcante.

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M966s Muniz, Larissa Oliveira.

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DE FOLHAS DE KALANCHOE
LAETIVIRENS: TESTES PRELIMINARES PARA DEFINIÇÃO DE
PARÂMETROS / Larissa Oliveira Muniz. - João Pessoa,
2026.

44 f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. densidade; estabilidade; plantas medicinais. I.
Cavalcante, Josilene de Assis. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 621(043.2)

LARISSA OLIVEIRA MUNIZ

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DE FOLHAS DE *KALANCHOE*
LAETIVIRENS: TESTES PRELIMINARES PARA DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS

Trabalho Final de Curso ou Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovada em 20 de Março de 2026

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante
(Orientadora)

Dra. Raimunda Valdenice da Silva Freitas – Pós-Doc CNPQ/UFPB
(Examinadora)

Dra. Clediana Dantas Calixto
(Examinadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o alicerce em todos os momentos de incerteza, pela força concedida nos dias de exaustão e por permitir a conclusão desta etapa com sabedoria e saúde.

À minha família, pelo apoio incondicional e por acreditarem no meu potencial ao longo dessa caminhada. Seus sacrifícios e incentivos foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu namorado, Daniel, pelo incentivo constante e por sempre acreditar em mim.

A minha orientadora, Profa. Josilene de Assis Cavalcante, por todas as orientações, pela paciência e por tudo que me ensinou ao longo dos anos de pesquisa. Sua mentoria foi peça-chave para o meu amadurecimento e formação como Engenheira.

Às minhas colegas Brenda, Clarice, Izabella, Débora e Thalita. A convivência e amizade de vocês tornaram essa jornada muito mais fácil e leve. Compartilhar cada etapa desta graduação com vocês tornou os desafios em momentos de aprendizados e alegria.

Aos técnicos do Laboratório, Francisco e Clediana por todo suporte oferecido durante os meus anos de pesquisa.

A Martha e Geniellen, cujo suporte foi vital. Vocês foram essenciais em uma etapa de construção de conhecimento, compartilhando experiências que foram a base para que esse trabalho se concretizasse. Agradeço pelos ensinamentos.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização desse ciclo.

Muito obrigada.

***"Consagre ao Senhor tudo o que você faz,
e os seus planos serão bem-sucedidos."***

(Provérbios 16:3)

RESUMO

A planta *Kalanchoe laetivirens*, conhecida popularmente como aranto, apresenta interesse científico devido à presença de compostos bioativos associados a diferentes atividades farmacológicas. Entretanto, o elevado teor de umidade das folhas dificulta sua conservação, tornando necessária a aplicação de técnicas de processamento que permitam aumentar sua estabilidade e facilitar sua utilização. Nesse contexto, a secagem em camada de espuma destaca-se como uma alternativa eficiente para a desidratação de materiais vegetais líquidos ou pastosos, proporcionando maior área de contato com o ar de secagem e, conseqüentemente, redução do tempo de processo. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da secagem em camada de espuma de folhas de *Kalanchoe laetivirens*, com foco na definição de parâmetros adequados para formação da espuma e na análise da influência da temperatura no processo de secagem. Inicialmente, foram realizados ensaios para caracterização da espuma, avaliando parâmetros como densidade, expansão (*over run*) e estabilidade, utilizando o agente espumante Emustab em diferentes condições experimentais (variações na diluição do suco, concentração do emulsificante e tempo de agitação). A partir da análise dos resultados, foi identificado como mais adequado o experimento 7, correspondente a condição de menor diluição do suco, maior concentração de emulsificante e maior tempo de agitação, o qual apresentou menor densidade, maior incorporação de ar e maior estabilidade da espuma. Posteriormente, a espuma obtida nas condições selecionadas foi submetida ao processo de secagem em diferentes temperaturas (50°C, 60°C e 70°C), a fim de avaliar a influência dessa variável no comportamento do material durante o processo. Os resultados indicaram que a temperatura de 60 °C apresentou melhor desempenho entre as condições avaliadas, proporcionando menor atividade de água, maior acidez titulável e ausência de alterações estruturais significativas, como rachaduras na camada seca, além de menor indicação de degradação térmica. Dessa forma, concluiu-se que a secagem em camada de espuma constitui uma técnica promissora para a desidratação de folhas de *Kalanchoe laetivirens*, contribuindo para a obtenção de um produto em pó mais estável e com potencial para aplicações futuras.

Palavras-chave: densidade; estabilidade; plantas medicinais; pó vegetal.

ABSTRACT

Kalanchoe laetivirens, popularly known as aranto, has attracted scientific interest due to the presence of bioactive compounds associated with various pharmacological activities. However, the high moisture content of its leaves hinders preservation, making it necessary to apply processing techniques that enhance stability and facilitate its use. In this context, foam-mat drying stands out as an efficient alternative for dehydrating liquid or pasty plant materials, as it increases the contact surface area with the drying air, thereby reducing processing time. Thus, the aim of this study was to evaluate the feasibility of foam-mat drying of *Kalanchoe laetivirens* leaves, focusing on defining suitable parameters for foam formation and analyzing the influence of temperature on the drying process. Initially, experiments were carried out to characterize the foam by evaluating parameters such as density, expansion (overrun), and stability, using the foaming agent Emustab under different experimental conditions (variations in juice dilution, emulsifier concentration, and whipping time). Based on the results, experiment 7 was identified as the most suitable condition, corresponding to lower juice dilution, higher emulsifier concentration, and longer whipping time, which resulted in lower density, higher air incorporation, and greater foam stability. Subsequently, the foam obtained under the selected conditions was subjected to drying at different temperatures (50 °C, 60 °C, and 70 °C) in order to evaluate the influence of this variable on the material behavior during the process. The results indicated that 60 °C presented the best performance among the evaluated conditions, providing lower water activity, higher titratable acidity, and absence of significant structural changes, such as cracks in the dried layer, in addition to reduced indications of thermal degradation. Therefore, foam-mat drying proved to be a promising technique for dehydrating *Kalanchoe laetivirens* leaves, contributing to the production of a more stable powder with potential for future applications.

Keywords: density; stability; medicinal plants; vegetable powder.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1 <i>Kalanchoe laetivirens</i> (ARANTO)	13
3.2 PERFIL FITOQUÍMICO.....	14
3.3 SECAGEM.....	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1 MATÉRIA-PRIMA	19
4.2 PREPARAÇÃO DO SUCO DAS FOLHAS DA <i>Kalanchoe laetivirens</i>	19
4.3 PREPARAÇÃO DA ESPUMA	20
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA	22
4.4.1 Estabilidade	22
4.4.2 Densidade	23
4.4.3 Incorporação de ar (<i>over run</i>)	23
4.5 OBTENÇÃO DO PÓ.....	24
4.5.1 Secagem em camada de espuma.....	24
4.5.2 Análises físico-química do pó.....	27
4.5.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	27
4.5.2.2 Atividade de água (aw)	27
4.5.2.3 Acidez Total Titulável (ATT).....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 TESTES PRELIMINARES.....	29
5.2 ESCOLHA DO AGENTE ESPUMANTE.....	29
5.2.1 Carboximetilcelulose (CMC).....	29
5.2.2 Super Liga Neutra.....	30
5.2.3 PortoGel®	31
5.2.4 Emustab®	32

5.3 ANÁLISES DA ESPUMA	33
5.4 CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA.....	36
5.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO PÓ.....	38
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

O uso de plantas medicinais tem despertado crescente interesse científico devido à presença de compostos bioativos com potencial terapêutico, como compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos secundários. Esses compostos estão associados às diversas atividades biológicas, incluindo propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas, o que tem impulsionado estudos voltados ao aproveitamento de espécies vegetais em diferentes áreas, como alimentos funcionais, produtos farmacêuticos e cosméticos (AZMIR et al., 2013; MICHALSKA; LYSIAK, 2015).

Entretanto, muitos materiais vegetais apresentam elevado teor de umidade, o que favorece a ocorrência de reações de degradação e o crescimento de microrganismos, reduzindo a estabilidade e a vida útil desses produtos durante o armazenamento. Dessa forma, torna-se necessário o emprego de técnicas de conservação capazes de reduzir o teor de água e preservar as propriedades químicas e funcionais do material vegetal (PARK et al., 2001).

A secagem é uma operação unitária amplamente utilizada no processamento de produtos agrícolas e vegetais, consistindo na remoção de água por evaporação mediante a aplicação de calor e a ocorrência simultânea de fenômenos de transferência de calor e massa. A redução do teor de umidade promove diminuição da atividade de água do produto, contribuindo para o aumento da estabilidade microbiológica e química durante o armazenamento (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; KUDRA; RATTI, 2008).

Entre as diferentes técnicas de desidratação, a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) tem se destacado como uma alternativa eficiente para a secagem de materiais líquidos ou pastosos. Nesse método, o material é previamente transformado em uma espuma estável por meio da incorporação de ar e da adição de agentes espumantes, sendo posteriormente distribuído em camadas finas e submetido à secagem com ar aquecido. A formação da estrutura espumosa aumenta a área superficial do material e favorece a transferência de calor e massa, contribuindo para a redução do tempo de secagem (RAJKUMAR et al., 2007; SANGAMITHRA et al., 2015).

A eficiência do processo de secagem em camada de espuma está diretamente relacionada às propriedades da espuma formada antes da secagem. Parâmetros como densidade da espuma, grau de expansão (*over run*) e estabilidade são frequentemente utilizados para avaliar a qualidade da espuma e sua adequação ao processo de desidratação, uma vez que influenciam a incorporação de ar, a formação da estrutura

porosa e o comportamento da espuma durante a secagem (KADAM; PATIL; KAUSHIK, 2010; FALADE; OKOCHA, 2010).

Nesse contexto, espécies do gênero *Kalanchoe*, como *Kalanchoe laetivirens*, apresentam compostos bioativos com potencial funcional, despertando interesse para estudos relacionados ao seu processamento e conservação. Entretanto, estudos relacionados à aplicação da secagem em camada de espuma para materiais derivados dessa espécie ainda são limitados, especialmente no que se refere à avaliação das propriedades da espuma formada e à influência das condições de secagem no processo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Definir os parâmetros utilizados para secagem em camada de espuma da planta *Kalanchoe laetivirens*.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar testes de estabilidade para definir concentração de emulsificantes, tempo de agitação e proporção de diluição.
- Produzir e caracterizar a espuma da *Kalanchoe laetivirens* em termos de densidade, capacidade de incorporação de ar e estabilidade.
- Avaliar o efeito da temperatura no processo de secagem em camada de espuma, conduzido a: 50°C, 60°C e 70°C.
- Caracterizar o pó obtido quanto aos parâmetros físico-químicos, por meio da determinação de atividade de água, pH e acidez total titulável.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Kalanchoe laetivirens* (ARANTO)

A *Kalanchoe laetivirens* (Figura 1) é uma planta suculenta que pertence à família Crassulaceae, originária de Madagascar e atualmente amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais. É popularmente conhecida por “aranto”, “mãe-de-milhares” ou “folha-da-fortuna”; é frequentemente confundida com a *Kalanchoe daigremontiana*, a principal forma de diferenciação é a ausência de manchas nas folhas, já que a *laetivirens* apresenta as folhas uniformemente verdes (SHAW, 2008).

Figura 1 – Planta *Kalanchoe laetivirens*



Morfológicamente, é caracterizada por folhas espessas, suculentas, e bordas serrilhadas que abrigam gemas adventícias, o que permite essa espécie ter uma elevada capacidade de propagação vegetativa, ela se desenvolve em pleno sol, mas também pode se adaptar a sombra (KAEWPBOON et al. 2014).

Taxonomicamente, integra a divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida e ordem Saxifragales. A espécie foi inicialmente descrita em 1997 por Descoings, e ocorreu uma reclassificação em 2008 por Byalt, já que depois de revisões foram distinguidas espécies híbridas e morfológicamente semelhantes dentro do complexo *Kalanchoe/Bryophyllum*, como confusões taxonômicas podem comprometer reprodutibilidade e estudos farmacológicos e fitoquímicos, se fez necessário a distinção (SMITH, 2020).

No Brasil, a planta tem sido estudada para utilização na medicina tradicional para tratamentos de lesão cutânea, ela possui propriedades calmante, anti-inflamatória, podendo ser usada para tratamentos de infecções bacterianas, anticâncer, processo de cicatrização e em tratamentos de insônia e ansiedade (KAEWPIBOON et al. 2014).

3.2 PERFIL FITOQUÍMICO

Uma investigação fitoquímica com o extrato das folhas de gênero *Kalanchoe laetivirens* mostra a presença de fenóis, flavonóis, flavonas, flavononóis, flavonononas, xantonas e alcaloides (PINHEIRO, 2020).

A maior parte dos compostos encontrados na planta são parte dos flavonoides, o qual constitui uma classe importante de metabólitos secundários distribuídos em grande escala no reino vegetal, incluindo espécies do gênero *Kalanchoe*. Esses compostos são pertencentes ao grupo de fenólicos, derivados de rotas biossintéticas mistas envolvendo vias do ácido chiquímico e do acetato. Com base na sua estrutura fundamental, os flavonoides são formados por um esqueleto básico composto por quinze átomos de carbono, são dois anéis aromáticos ligados por uma cadeia de três carbonos que às vezes formam um terceiro anel heterocíclico (SIMÕES et al., 2007).

Por causa de variações estruturais e substituições químicas em suas moléculas, os flavonoides são classificados em subclasses que se encontram em plantas medicinais, como as presentes na *Kalanchoe laetivirens*: flavonas, flavonóis, flavononas e flavononóis; elas diferem entre si pela estrutura do anel heterocíclico e os grupos funcionais presentes, sendo as variações na estruturas as responsáveis pelas propriedades químicas e farmacológicas dos compostos, sendo frequentemente associadas a efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e cardioprotetores (SIMÕES et al., 2007; SILVA et al., 2015).

As xantonas são metabólitos fenólicos que são caracterizadas pela estrutura química do tipo dibenzopirona; elas possuem uma grande diversidade na sua estrutura, podendo apresentar diferentes substituintes no núcleo químico, e estão associadas a propriedades antioxidantes, antimicrobianas e antitumorais (SANTOS et al., 2011).

Os alcaloides são importantes metabólitos secundários, caracterizados pela presença de nitrogênio inserido em um anel heterocíclico, são associados a propriedades analgésicas, antimicrobianas, anti-inflamatórias e antitumorais (BRAZ FILHO, 2006).

3.3 SECAGEM

A secagem é uma operação unitária amplamente utilizada na conservação de produtos agrícolas e materiais biológicos, consistindo na remoção de água por meio da aplicação de calor, promovendo simultaneamente a transferência de calor e de massa. Durante esse processo, a água presente no interior do material é evaporada e transferida para o meio externo na forma de vapor, reduzindo a atividade de água e aumentando a estabilidade do produto durante o armazenamento. Dessa forma, a secagem contribui para evitar deterioração microbológica e reduzir alterações físicas e químicas nos materiais processados (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; PARK et al., 2007).

Diversos métodos de secagem são empregados no processamento de alimentos e materiais vegetais, sendo a escolha da técnica dependente das características do produto e das propriedades desejadas no material final. Entre os métodos existentes, destacam-se a secagem por ar quente, a liofilização e a secagem por atomização. No entanto, técnicas como liofilização e *spray drying* apresentam elevados custos operacionais e de investimento, o que pode limitar sua aplicação em determinados processos. Nesse contexto, a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) tem sido amplamente investigada como uma alternativa eficiente e economicamente viável para a produção de materiais desidratados em pó a partir de produtos líquidos ou pastosos (SANGAMITHRA et al., 2015).

A secagem em camada de espuma consiste na transformação de materiais líquidos, semilíquidos ou pastosos em uma espuma estável antes da etapa de secagem. Esse processo é realizado pela incorporação de ar ou outro gás ao produto, geralmente por meio de agitação mecânica, formando uma estrutura porosa que posteriormente é espalhada em uma camada fina e submetida à secagem com ar aquecido. A estrutura porosa da espuma aumenta significativamente a área superficial exposta ao ar quente, favorecendo a transferência de calor e massa e acelerando a remoção da umidade do material (RAJKUMAR et al., 2007; BRENNAN, 2006).

De modo geral, o processo de secagem em camada de espuma pode ser dividido em três etapas principais: formação da espuma a partir do produto líquido ou pastoso, espalhamento da espuma em camadas finas sobre bandejas ou superfícies de secagem e, por fim, a desidratação do material por meio da passagem de ar aquecido. Após a secagem, o material desidratado pode ser triturado ou moído para obtenção de pó, facilitando o armazenamento e a utilização do produto final (KARIM; WAI, 1999).

Uma das principais vantagens desse método está relacionada à elevada área superficial da espuma formada, que permite maior velocidade de secagem e utilização de temperaturas relativamente mais baixas quando comparadas a outros processos de desidratação. Além disso, os produtos obtidos por esse método geralmente apresentam estrutura porosa, baixa densidade aparente e boa capacidade de reidratação, características importantes para aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica (RAJKUMAR et al., 2007; KUDRA; RATTI, 2008).

Apesar dessas vantagens, a eficiência da secagem em camada de espuma depende diretamente das propriedades da espuma formada antes da secagem. Parâmetros como estabilidade, densidade e capacidade de incorporação de ar são considerados fundamentais para garantir a eficiência do processo. Espumas pouco estáveis podem sofrer colapso estrutural durante a secagem, dificultando a remoção de água e comprometendo a qualidade do produto final (KADAM; PATIL; KAUSHIK, 2010; BAG; SRIVASTAV; MISHRA, 2011).

A estabilidade da espuma pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo o tempo de agitação, a composição do material e a presença de agentes espumantes ou estabilizantes. Em muitos casos, extratos vegetais ou materiais alimentícios apresentam baixa capacidade natural de formação de espuma, sendo necessária a adição de substâncias capazes de promover ou estabilizar essa estrutura (KADAM; PATIL; KAUSHIK, 2010).

Os agentes espumantes e estabilizantes mais utilizados nesse tipo de processo incluem proteínas, hidrocolóides e alguns carboidratos. Essas substâncias atuam reduzindo a tensão superficial do sistema e aumentando a viscosidade da fase líquida, o que favorece a incorporação de ar e a formação de espumas mais estáveis. Entre os compostos frequentemente utilizados destacam-se a albumina, a gelatina, a goma arábica, a carboximetilcelulose e a maltodextrina (FALADE; ADEYANJU; UZO-PETERS, 2003).

Além da presença de agentes espumantes, características físicas da espuma também influenciam diretamente o desempenho da secagem. A densidade da espuma, por exemplo, é uma propriedade importante, pois espumas menos densas apresentam maior incorporação de ar e maior área superficial, favorecendo a remoção de umidade durante o processo de secagem. Dessa forma, espumas com menor densidade tendem a apresentar maior eficiência no processo de desidratação (KUDRA; RATTI, 2008).

Outro parâmetro relevante é o grau de expansão da espuma, também conhecido como *over run*, que representa a quantidade de ar incorporada ao sistema durante a agitação. Valores mais elevados de expansão indicam maior formação de estrutura porosa, contribuindo para o aumento da taxa de secagem e melhorando as características físicas do produto final (FRANCO et al., 2015).

Apesar das vantagens associadas à secagem, muitos metabólitos secundários presentes em plantas medicinais são altamente sensíveis às condições de processamento, especialmente à temperatura. Durante operações unitárias como a secagem, podem ocorrer reações de oxidação, hidrólise e degradação térmica que resultam na redução do teor de compostos bioativos no produto final. Dessa forma, a escolha adequada das condições de processamento torna-se fundamental para preservar a qualidade química do material vegetal (AZMIR et al., 2013).

A temperatura é considerada um dos principais fatores que influenciam a estabilidade de compostos fenólicos durante processos de secagem. Estudos relatam que temperaturas elevadas podem acelerar a degradação desses metabólitos, resultando em redução do teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante de materiais vegetais desidratados (VEGA-GÁLVEZ et al., 2009; MICHALSKA; ŁYSIAK, 2015).

Nesse contexto, a seleção adequada do método de secagem torna-se essencial para minimizar perdas de compostos bioativos presentes em plantas medicinais. A secagem em camada de espuma apresenta potencial para esse tipo de aplicação, pois promove aumento da área superficial do material e redução da espessura da camada de secagem, favorecendo a transferência de calor e massa e permitindo a utilização de temperaturas moderadas durante o processo (SANGAMITHRA et al., 2015).

A utilização de temperaturas moderadas na secagem em camada de espuma pode contribuir para a preservação de compostos sensíveis ao calor presentes em materiais vegetais. Embora o aumento da temperatura acelere a taxa de secagem, temperaturas excessivas podem promover degradação de compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos bioativos. Dessa forma, a otimização das condições de secagem torna-se fundamental para garantir a obtenção de produtos desidratados com elevada qualidade química, nutricional e funcional (DIÓGENES et al., 2022).

Considerando a presença de compostos bioativos sensíveis à temperatura em espécies do gênero *Kalanchoe*, o estudo das condições de secagem aplicadas a *Bryophyllum laetivirens* torna-se particularmente relevante. A avaliação da influência da temperatura no processo de secagem pode contribuir para a preservação de compostos

fenólicos e flavonoides presentes na planta, garantindo maior estabilidade química e potencial funcional do produto obtido após o processamento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

4.1 MATÉRIA-PRIMA

As folhas da planta *Kalanchoe laetivirens* (Figura 2) foram coletadas no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Após a coleta, o material vegetal foi encaminhado ao Laboratório de Termodinâmica, onde foram higienizadas de acordo com a Resolução RDC nº 218/2005 da ANVISA, a qual estabelece o regulamento técnico dos procedimentos higiênicos para manipulação de alimentos e bebidas a partir de vegetais (BRASIL, 2005).

Figura 2 – Folhas *Kalanchoe laetivirens* coletadas na UFPB



4.2 PREPARAÇÃO DO SUCO DAS FOLHAS DA *Kalanchoe laetivirens*

Inicialmente, foram realizados testes preliminares com diferentes proporções de folha e água, sendo o critério de escolha das proporções a estabilidade da espuma formada a partir do suco obtido em cada condição testada.

As folhas de Aranto foram cortadas e pesadas em uma balança semi-analítica e, posteriormente, foram trituradas em um liquidificador Mondial Premium Vitamix L-30

juntamente com a água destilada. A mistura foi submetida à agitação na potência máxima do equipamento por um período de 2 minutos.

Após a realização dos testes preliminares, foi estabelecido um volume fixo de 50 mL de água, variando-se a quantidade de folhas utilizadas. Foram definidos três níveis experimentais: 50 g da folha para fatorial mínimo (1:1), 100 g da folha no ponto central (2:1) e 150 g da folha no fatorial máximo (3:1). Ao final do processo foi obtida uma mistura fluída de coloração verde (Figura 3).

Figura 3 – Suco obtido depois da trituração da folha com água destilada



4.3 PREPARAÇÃO DA ESPUMA

Para a obtenção da espuma, inicialmente foram realizados pré-testes com diferentes agentes espumantes, com o objetivo de selecionar o mais adequado para o processo. Os emulsificantes avaliados foram: Portogel[®]; Emustab[®]; Super Liga Neutra[®] e CMC[®]. Todos os testes realizados foram submetidos às mesmas condições operacionais a fim de possibilitar a comparação entre os agentes espumantes.

O suco obtido das folhas foi então misturado ao emulsificante selecionado e submetido à agitação em uma batedeira (Planetária Deluxe SX80), da marca Arno, operando em velocidade máxima (8) e constante.

Nesse processo foram avaliados o tempo de agitação, concentração do emulsificante e a diluição previamente estabelecida, de acordo com um planejamento

experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais. As variáveis independentes do processo foram o tempo de agitação, a concentração do emulsificante e a diluição do suco, enquanto as variáveis dependentes analisadas foram a densidade, estabilidade da espuma e capacidade de incorporação de ar.

No Quadro 1 são apresentadas as variáveis independentes e seus respectivos níveis, enquanto na Tabela 1 é apresentada a matriz do planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ repetições no ponto central.

Quadro 1 – Valores codificados e reais das variáveis

Variáveis Independentes	Níveis		
	-1	0	+1
Diluição (g/50mL)	50	100	150
Concentração emulsificante (%)	4	6	8
Tempo de agitação (min)	4	6	8

Tabela 1 – Matriz do planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ no ponto central.

Número do Experimento	Variáveis Independentes		
	D (g)	C (%)	T _{ag} (min)
1	(-1)	(-1)	(-1)
2	(+1)	(-1)	(-1)
3	(-1)	(+1)	(-1)
4	(+1)	(+1)	(-1)
5	(-1)	(-1)	(+1)
6	(+1)	(-1)	(+1)
7	(-1)	(+1)	(+1)
8	(+1)	(+1)	(+1)
9	(0)	(0)	(0)
10	(0)	(0)	(0)
11	(0)	(0)	(0)

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA

A caracterização das propriedades da espuma é uma etapa importante na avaliação do processo de secagem em camada de espuma. As propriedades físicas da espuma influenciam em como a mesma vai se comportar durante a secagem, fatores como incorporação de ar, estrutura da espuma e estabilidade podem afetar a transferência de calor e massa no sistema. Logo, a análise dessas características permite avaliar a qualidade da espuma formada e entender a sua influência na eficiência do processo de secagem.

4.4.1 Estabilidade

A estabilidade da espuma está relacionada a diversos fatores físico-químicos, como a densidade da espuma, a espessura e a permeabilidade da interface formada entre o líquido e o agente espumante, além da distribuição do tamanho das bolhas de ar e da tensão superficial do sistema. Entretanto, a natureza e a concentração do agente espumante empregado são consideradas os fatores que exercem maior influência sobre essa propriedade (KANDASAMY et al., 2012).

A avaliação da estabilidade da espuma foi realizada através do método descrito por Karim e Wai (1999), por meio de medição do volume de líquido drenado a partir de 10 g da espuma, ao longo de um período de 90 min, mantido à temperatura ambiente (Figura 4).

Figura 4 – Sistema utilizado para determinação da estabilidade.



4.4.2 Densidade

A determinação da densidade da espuma foi realizada segundo a metodologia de Brock (2008), foram medidos a massa e o volume ocupado pela amostra, à temperatura ambiente. Inicialmente, a espuma foi transferida para uma proveta graduada de 10 mL até atingir o volume total. Em seguida, a amostra foi pesada numa balança semi-analítica para obtenção da massa correspondente (Figura 5).

Figura 5 – Sistema utilizado para determinação da densidade.



A densidade da espuma foi calculada por meio da Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Em que:

m – massa da espuma (g)

v – volume ocupado pela espuma (mL)

4.4.3 Incorporação de ar (*over run*)

A incorporação de ar foi determinada pela comparação entre o volume inicial do material antes da agitação e o volume final obtido após a formação da espuma. Para isso, o volume inicial do suco foi medido em um béquer e, após o processo de agitação, foi determinado o volume final da espuma formada (Figura 6).

Figura 6 – Sistema utilizado para determinação da incorporação de ar. (a) antes da agitação e (b) após a agitação



(a)

(b)

A porcentagem de incorporação de ar foi calculada utilizando a Equação 2.

$$(\%) \text{ over run} = \frac{v_f - v_i}{v_i} \times 100\% \quad (2)$$

Em que:

V_i – Volume inicial do suco

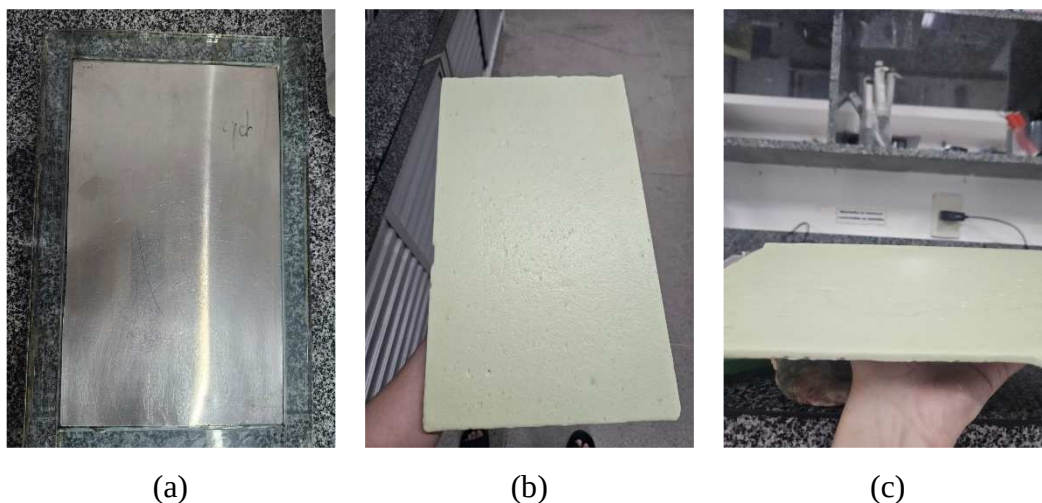
V_f – Volume final da espuma

4.5 OBTENÇÃO DO PÓ

4.5.1 Secagem em camada de espuma

Para a etapa de secagem, foi selecionada a melhor condição experimental da espuma obtido nos testes anteriores, com o objetivo de avaliar a influência da temperatura no processo de secagem. Após a obtenção da espuma nas condições ótimas, esta foi distribuída em uma bandeja de alumínio previamente pesada (a), com dimensões de 36,8 centímetros de comprimento e 21,8 de largura (b), formando uma camada com espessura de aproximadamente 5 mm (c) (Figura 7).

Figura 7 – Processo de distribuição da espuma na bandeja



Em seguida, a bandeja foi colocada em uma estufa com circulação de ar forçada, modelo Luca 82/480, Lucadema, (Figura 8). A secagem foi realizada em três diferentes temperaturas: 50 °C, 60 °C e 70 °C.

Figura 8 – Estufa utilizada para a secagem



Durante o processo de secagem, as amostras foram pesadas em intervalos de tempo regulares para acompanhar a perda de massa. Nos primeiros 30 minutos, as pesagens foram realizadas a cada 5 minutos, a fim de obter maior precisão na coleta de dados na fase inicial da secagem, período no qual a taxa de remoção de umidade é mais

elevada. Após esse período, as pesagens passaram a ser realizadas a cada 10 minutos até atingir 70 minutos de processo. Posteriormente, as medições foram realizadas em intervalos de 20 minutos até a obtenção de massa constante. Para confirmar a estabilização do peso, foram realizadas duas pesagens adicionais com intervalos de 5 minutos.

Com base nos dados de massa obtidos durante o processo de secagem, foi realizada a análise cinética de secagem do material. Para isso, inicialmente foi calculada a variação da umidade da amostra ao longo do tempo com base na perda de massa registrada em cada intervalo de pesagem. O teor de umidade foi calculado pela Equação 3.

$$X_t = \frac{m_t - m_s}{m_s} \quad (3)$$

Em que:

X_t : teor de umidade no tempo t

m_t : massa da amostra no tempo t (g)

m_s : massa seca da amostra (g)

A massa seca da amostra foi considerada a massa constante obtida ao final do processo de secagem.

Em seguida, os dados foram convertidos em razão de umidade, a qual foi considerada como RU, parâmetro amplamente utilizado para representar o comportamento da cinética de secagem de materiais biológicos. A razão de umidade foi calculada conforme a Equação 4.

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (4)$$

Em que:

RU: razão de umidade;

X_t : teor de umidade no tempo t ;

X_0 : teor de umidade inicial;

X_e : teor de umidade de equilíbrio.

Considerando que o teor de umidade de equilíbrio é pequeno em relação aos demais valores, a equação foi simplificada para a Equação 5:

$$RU = \frac{X_t}{X_0} \quad (5)$$

A partir desses valores foram construídas as curvas da razão de umidade em função do tempo de secagem, permitindo avaliar a influência da temperatura no processo.

4.5.2 Análises físico-química do pó

4.5.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

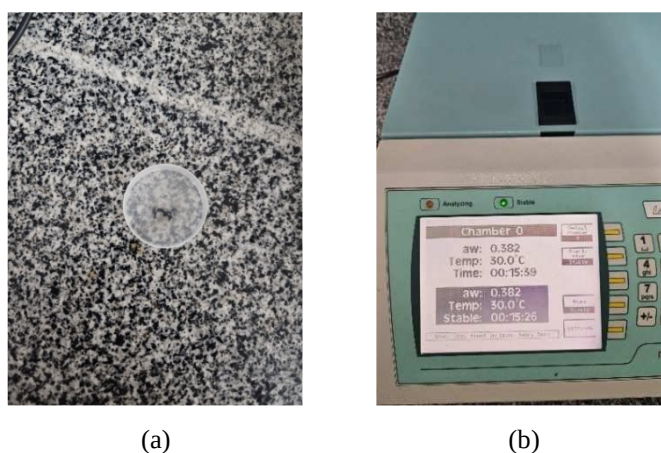
O pH do pó obtido das folhas de *Kalanchoe laetivirens* foi determinado pelo método potenciométrico. Para análise, foram pesados 0,5 g da amostra, os quais foram dissolvidos em 5 mL de água destilada. A mistura foi submetida à agitação em um agitador magnético por 5 minutos, a fim de promover a completa homogeneização da solução.

Após esse período, a solução foi submetida à leitura em pHmetro previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

4.5.2.2 Atividade de água (aw)

A atividade de água (aw) dos pós obtidos a partir da secagem de folhas de *Kalanchoe laetivirens* foi determinada por leitura direta, utilizando o equipamento Novasina LabMaster-aw, operando à temperatura de 30 °C. Para a análise, aproximadamente 0,5 g de cada amostra foram acondicionados em cápsulas de polietileno (a), apropriadas para o equipamento (b) (Figura 9).

Figura 9 – Novasina LabMaster-aw; cápsula de polietileno



Foram analisados três pós obtidos nas diferentes condições de secagem, sendo cada amostra avaliada em triplicata. As leituras foram realizadas imediatamente após a pesagem das amostras, correspondendo ao tempo zero da análise.

4.5.2.3 Acidez Total Titulável (ATT)

A acidez total titulável (ATT) foi determinada conforme a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Inicialmente, aproximadamente 0,3 g do pó das folhas da *Kalanchoe laetivirens* foram pesados e dissolvidos em 50 mL de água destilada, com auxílio de um agitador magnético para promover a homogeneização da amostra.

Após homogeneização, a mistura foi filtrada e ao filtrado foram adicionadas quatro gotas do indicador fenolftaleína. Em seguida, a solução foi titulada com solução padrão de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M até a obtenção do ponto de viragem. O ponto final da titulação foi determinado quando o sistema atingiu pH entre 8,2 e 8,4, sendo essa verificação realizada com auxílio do pHmetro previamente calibrado com soluções padrão de pH de 4,0 e 7,0.

A acidez total titulável foi calculada de acordo com a Equação 6 e expressa em gramas de ácido cítrico.

$$ATT = \frac{V \times N \times MM \times f}{m \times n} \quad (6)$$

Em que:

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

N – molaridade da solução de hidróxido de sódio;

MM – massa molecular do ácido cítrico (g mol^{-1});

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

m – massa da amostra (g);

n – número de hidrogênios ionizáveis do ácido cítrico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TESTES PRELIMINARES

Inicialmente, foram realizados testes preliminares com diferentes proporções de folha e água destilada, com o objetivo de definir a concentração mais adequada para a obtenção do suco utilizado na formação da espuma. Durante esses testes, observou-se que variações na quantidade de água influenciavam diretamente na qualidade da espuma e na eficiência da trituração das folhas.

A partir dessas avaliações preliminares foi estabelecido o volume fixo de 50 mL de água destilada, uma vez que concentrações com maior volume de água resultaram em espumas com baixa estabilidade, enquanto menores volumes dificultaram a trituração adequada das folhas no liquidificador.

Com base nessa definição, foram estabelecidos os níveis do planejamento experimental. O fatorial mínimo foi definido pela proporção de 1:1, correspondente a 50 g de folhas para 50 mL de água. Já o fatorial máximo foi definido pela proporção de 3:1, correspondente a 150 g de folhas para 50 mL de água. Portanto, o ponto central foi definido pela proporção de 2:1, correspondente a 100 g de folhas para 50 mL de água.

Após a definição dessas concentrações, foram iniciados os testes para avaliação dos diferentes agentes espumantes.

5.2 ESCOLHA DO AGENTE ESPUMANTE

Nos testes preliminares, observou-se que o suco obtido das folhas do aranto não apresentou capacidade natural de formação de espuma, evidenciando a necessidade da adição de um agente espumante para possibilitar a formação e estabilização da espuma.

Dessa forma, foram realizados testes com quatro agentes espumantes, a saber: carboximetilcelulose (CMC); Super Liga Neutra; Portogel® e Emustab®. As análises foram conduzidas nas condições de diluição previamente definidas, utilizando-se concentração de 8% do emulsificante e tempo de agitação de 8 minutos.

5.2.1 Carboximetilcelulose (CMC)

Durante os testes preliminares com os agentes espumantes, observou-se que a carboximetilcelulose (CMC) não apresentou capacidade de formação de espuma nas

condições utilizadas. No primeiro teste realizado, a adição do composto resultou na formação de uma mistura com aspecto gelatinosa, sem incorporação significativa de ar (Figura 10). Resultados semelhantes foram observados por Simões (2017), ao estudar a secagem em camada de espuma de folhas de mastruz, no qual o CMC também não apresentou eficiência na formação de espumas estáveis. Dessa forma, o CMC foi descartado das etapas posteriores do estudo, uma vez que não apresentou desempenho adequado para a formação de espuma necessária ao processo de secagem em camada de espuma.

Figura 10 – Mistura obtida após adição de CMC ao suco da *Kalanchoe laetivirens* (1:1)



Esse comportamento pode ser explicado pelo fato que o CMC atua como um agente espessante/estabilizante, logo, ocorre a formação de uma estrutura mais viscosa, o que dificulta a incorporação e retenção de bolhas de ar necessárias para formação de espuma.

5.2.2 Super Liga Neutra

Nos testes realizados com o emulsificante Super Liga Neutra, observou-se que esse composto também não apresentou capacidade de formação de espuma nas condições experimentais avaliadas. Após sua adição ao suco e posterior agitação, foi observado apenas um leve aumento na viscosidade da mistura em relação ao suco inicial. No entanto,

o sistema permaneceu com comportamento predominantemente fluido, sem incorporação significativa de ar, e consequentemente, sem formação de espuma (Figura 11). Resultados semelhantes foram observados por Simões (2017)

Figura 11 – Mistura obtida após adição de Super Liga Neutra ao suco da *Kalanchoe laetivirens* (1:1)



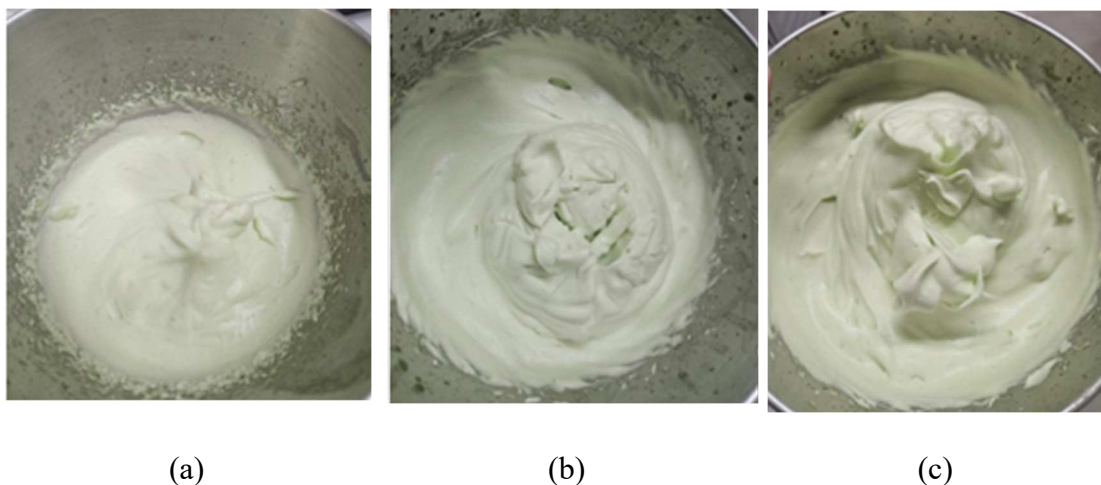
Como a formação e estabilidade da espuma são etapas necessárias para o processo de secagem em camada de espuma, o uso desse emulsificante se mostrou inadequado. Então, o Super Liga Neutra também foi descartado das etapas posteriores do estudo.

5.2.3 PortoGel®

Nos testes realizados com o emulsificante PortoGel®, observou-se a formação de espuma após o processo de agitação do suco das folhas *Kalanchoe laetivirens*, indicando a capacidade desse agente em promover a incorporação de ar no sistema. A espuma formada apresentou estrutura visível de bolhas e maior consistência em comparação aos sistemas obtidos com os emulsificantes avaliados anteriormente.

Diante desse comportamento, foram realizados testes utilizando PortoGel® nas três diluições previamente estabelecidas no planejamento experimental: 1:1, 2:1 e 3:1 (Figura 12), com o objetivo de avaliar a estabilidade da espuma.

Figura 12 – Espuma formada a partir do suco de *Kalanchoe laetivirens* nas três concentrações após adição de PortoGel® e agitação em batedeira: (a) 1:1; (b) e (c) 3:1



A estabilidade foi determinada por meio da medição do volume de líquido drenado durante o período de 60 minutos. Após o período de avaliação, os volumes drenados observados foram de 3,8 mL, 1,8 mL e 2,2 mL para as proporções 1:1, 2:1 e 3:1, respectivamente.

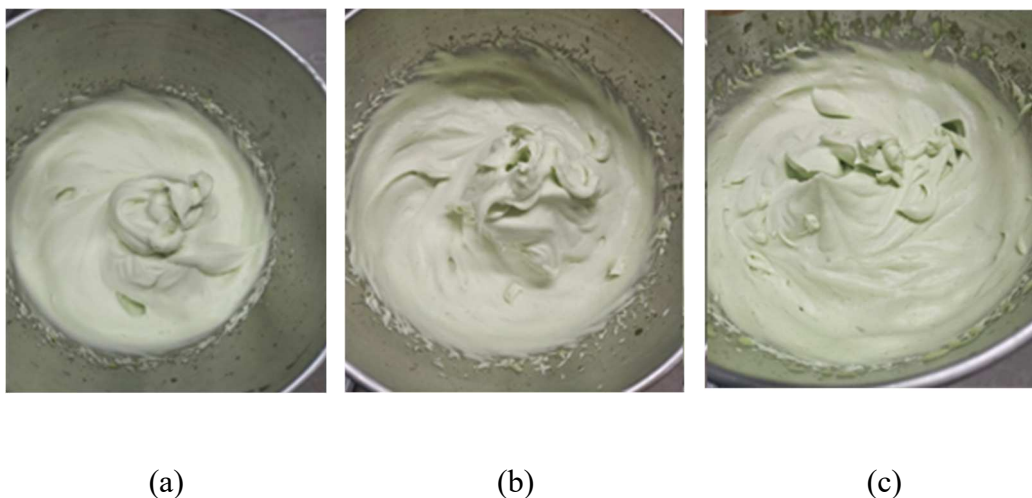
Os resultados indicaram um volume elevado de líquido drenado em todas as condições avaliadas, evidenciando baixa estabilidade da espuma formada. Esse comportamento sugere que a estrutura da espuma não apresentou resistência suficiente para manter bolhas de ar ao longo do tempo, o que poderia levar ao colapso da espuma durante o processo de secagem.

5.2.4 Emustab®

Após os testes realizados com o PortoGel®, o mesmo procedimento experimental foi aplicado ao emulsificante Emustab®. Observou-se que a adição desse agente ao suco das folhas, seguido do processo de agitação, resultou na formação de uma espuma com estrutura mais homogênea e com maior incorporação de ar.

Assim como realizado anteriormente, foram avaliadas três diluições estabelecidas no planejamento experimental: 1:1, 2:1 e 3:1 (Figura 13), com o objetivo de analisar a estabilidade da espuma formada, a qual foi determinada por meio da medição do volume drenado em período de 60 minutos.

Figura 13 – Espuma formada a partir do suco de *Kalanchoe laetivirens* nas três concentrações após adição de Emustab® e agitação em batedeira: (a) 1:1; (b) 2:1 e (c) 3:1.



Após o tempo estabelecido para a drenagem, foi observado um volume drenado de aproximadamente 0,1 mL nas três amostras. Esse resultado indica que a espuma obtida com Emustab® apresentou menor drenagem quando comparada com os valores observados para o PortoGel®, evidenciando maior estabilidade da espuma formada. Esse comportamento sugere que esse emulsificante apresenta maior capacidade estabilização das bolhas de ar presentes na espuma, favorecendo a manutenção de sua estrutura ao longo do tempo e tornando-o mais adequado para aplicação no processo de secagem em camada de espuma.

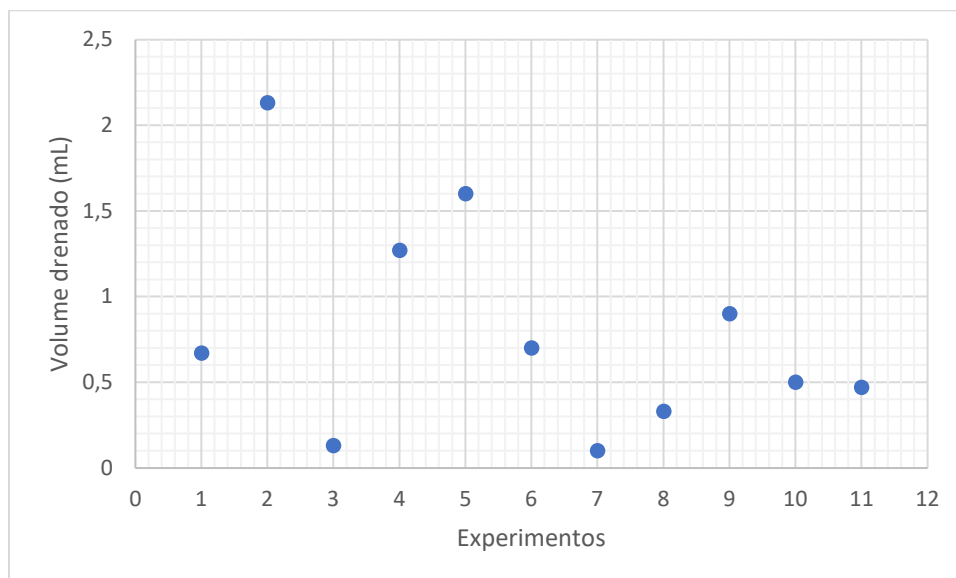
Resultados semelhantes foram reportados por Simões (2017), ao estudar a secagem em camada de espuma de folhas de mastruz, no qual o Emustab® também apresentou melhor desempenho na formação de espumas aeradas e estáveis, sendo selecionado como agente mais adequado para o processo.

Dessa forma, o Emustab® foi selecionado como agente espumante para etapas posteriores do estudo.

5.3 ANÁLISES DA ESPUMA

Na Figura 14 é mostrado o volume médio drenado de líquido das espumas da planta Aranto para cada experimento feito de acordo com o planejamento experimental fatorial.

Figura 14 – Volume médio de líquido drenado das espumas da *Kalanchoe laetivirens*



A estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado, ou seja, quanto menor o volume drenado, maior a estabilidade da espuma formada. De acordo com os resultados apresentados na Figura 14, observou-se que os Experimentos 3 e 7 apresentaram os menores volumes de líquido drenado, com valores de aproximadamente 0,1 mL, indicando maior estabilidade da espuma quando comparada aos demais ensaios.

A elevada estabilidade observada, evidenciada pelo baixo volume de drenagem, está em concordância com resultados descritos por Kadam, Wilson e Kaur (2010), que relatam que espumas com menor drenagem apresentam maior resistência à coalescência.

Essa característica é desejável para o processo de secagem em camada de espuma, uma vez que espumas mais estáveis tendem a manter sua estrutura por mais tempo, evitando o colapso durante o processo de secagem. Por outro lado, os demais experimentos apresentaram volumes de drenagem mais elevados, indicando menor estabilidade da espuma, o que pode comprometer sua aplicação no processo de secagem. Dessa forma, tais condições foram desconsideradas para as etapas subsequentes do estudo.

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos parâmetros da espuma obtidos para cada experimento do planejamento experimental fatorial completo. Entre os parâmetros avaliados estão a densidade da espuma e a incorporação de ar, que corresponde à incorporação de ar durante o processo de agitação.

A densidade da espuma está relacionada à quantidade de ar incorporado ao sistema, sendo que valores menores indicam maior incorporação de ar e, conseqüentemente, uma espuma mais leve. Já a incorporação de ar expressa, em termos percentuais, o aumento de volume da espuma em relação ao volume inicial da amostra, sendo um parâmetro amplamente usado para avaliar a eficiência da formação de espuma.

A análise conjunta desses parâmetros permite avaliar a qualidade e a estabilidade da espuma formada, aspectos fundamentais para aplicação no processo de secagem.

Tabela 2 – Valores das densidades e incorporação de ar

Experimento	Densidade (g/mL)	Incorporação de ar (%)
1	0,254	700
2	0,335	550
3	0,269	500
4	0,315	200
5	0,277	700
6	0,245	800
7	0,171	700
8	0,251	262,5
9	0,348	566,7
10	0,242	833,3
11	0,308	700

Considerando os resultados de estabilidade da espuma, os experimentos 3 e 7 apresentaram os menores volumes de líquido drenado, indicando maior estabilidade quando comparados aos demais ensaios. Dessa forma, ambos foram analisados de forma mais detalhada quanto aos parâmetros de densidade de espuma e incorporação de ar, apresentados na Tabela 2.

Ao comparar esses dois experimentos, observou-se que o experimento 7 apresentou menor densidade da espuma, indicando maior incorporação de ar no sistema. Além disso, esse experimento também apresentou maior valor de incorporação de ar em relação ao experimento 3, o que confirma uma maior expansão volumétrica da espuma durante o processo de agitação.

Espumas com menor densidade e maior incorporação de ar são desejáveis no processo de secagem em camada de espuma, pois favorecem a formação de uma estrutura mais aerada e porosa, facilitando a transferência de calor e massa durante a secagem.

Dessa forma, considerando conjuntamente os resultados de estabilidade, densidade e a incorporação de ar, o experimento 7 foi selecionado como ponto mais adequado para a realização dos ensaios de secagem.

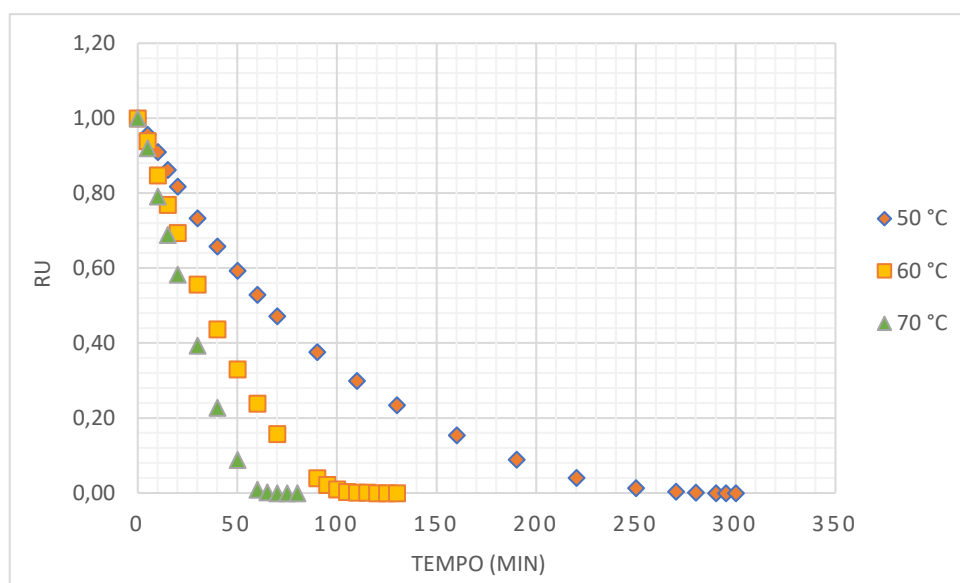
5.4 CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

A cinética de secagem das espumas produzidas a partir das folhas da *Kalanchoe laetivirens* foi avaliada com o objetivo de analisar o comportamento de remoção de umidade do material ao longo do tempo e verificar a influência da temperatura no processo. Para isso, as espumas foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Durante o processo, a massa das amostras foi monitorada em intervalos regulares de tempo até atingir massa constante. A partir desses dados experimentais foram calculados os valores de razão de umidade (RU), possibilitando a construção das curvas de cinética de secagem.

Na Figura 15 são apresentadas as curvas da razão de umidade em função do tempo para as diferentes temperaturas de secagem avaliadas.

Figura 15 – Cinética de secagem

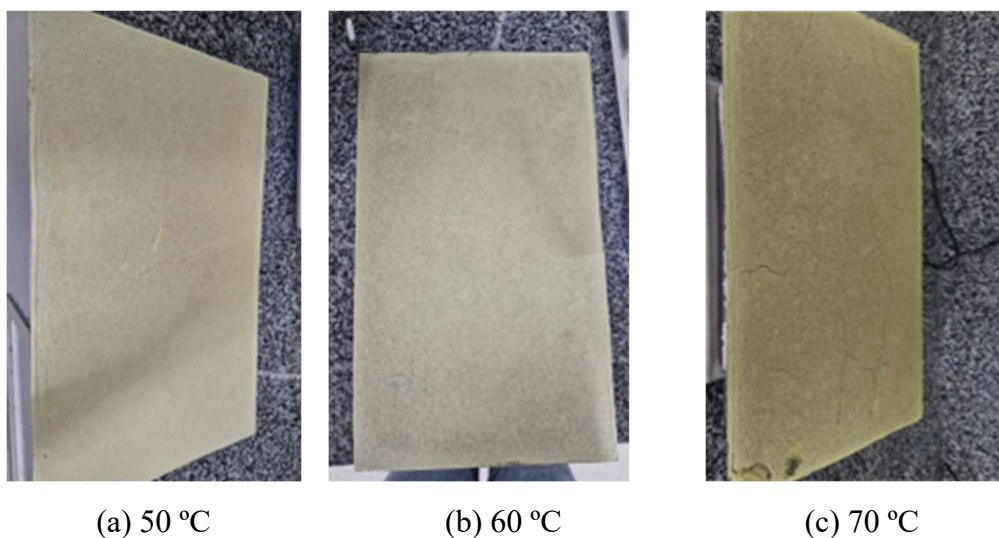


Pela Figura 15 foi observado que o aumento da temperatura promoveu uma redução mais rápida da razão de umidade ao longo do tempo, indicando maior velocidade de secagem. Esse comportamento ocorre porque temperaturas mais elevadas aumentam o gradiente de pressão de vapor entre o interior do material e o ar de secagem, favorecendo a transferência de massa e, assim, a remoção de água do produto.

Comparando as condições estudadas, percebeu-se que a secagem feita a 70 °C apresentou maior taxa de remoção de umidade, resultando em menor tempo necessário para atingir o equilíbrio quando comparada às temperaturas de 50 °C e 60 °C.

Na Figura 16 são apresentadas as imagens das amostras após o processo de secagem nas temperaturas avaliadas. Apesar da maior velocidade de secagem observada a 70 °C, durante o processo experimental foi verificado que o material apresentou rachaduras e fissuras na camada seca formada sobre a placa, possivelmente devido à rápida evaporação da água e ao encolhimento da matriz vegetal.

Figura 16 – Aspecto das espumas secas em diferentes temperaturas de secagem: (a) 50 °C; (b) 60 °C e (c) 70 °C



Esse fenômeno pode ocorrer quando a taxa de evaporação superficial é muito elevada, provocando tensões estruturais no material. Em produtos de origem vegetal, esse comportamento pode resultar em alterações estruturais e possível degradação de compostos sensíveis ao calor, o que deve ser considerado na escolha da temperatura de secagem.

Dessa forma, entre as condições avaliadas neste estudo, a secagem a 60 °C apresentou comportamento intermediário, conciliando tempo de secagem e características físicas do material obtido.

5.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO PÓ

Após o processo de secagem, os pós obtidos nas diferentes temperaturas (Figura 17) foram submetidos às análises de pH, atividade de água (a_w) e acidez total titulável (ATT), com o objetivo de avaliar possíveis alterações nas propriedades físico-químicas do material em função da temperatura de secagem; os respectivos resultados são mostrados na Tabela 3.

Figura 17 – Pós obtidos após secagem nas temperaturas de secagem: (a) 50 °C; (b) 60 °C e (c) 70 °C

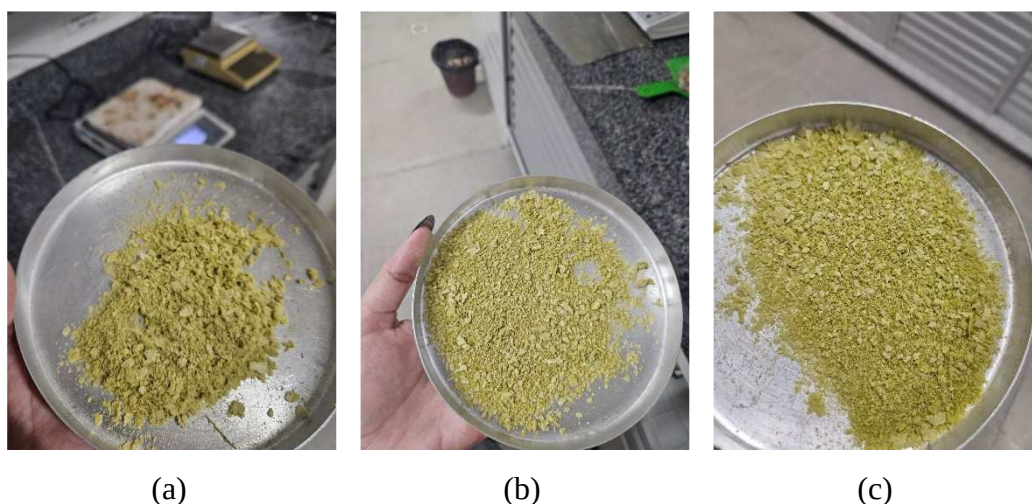


Tabela 3 – Propriedades físico-químicas do pó de *Kalanchoe laetivirens* obtidos em diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura (°C)	pH (°Brix)	Atividade de água (a_w)	ATT (g de ácido cítrico/100g)
50	4,01 ± 0,05	0,41 ± 0,03	8,20 ± 0,09
60	3,94 ± 0,01	0,39 ± 0,04	9,71 ± 0,36
70	4,40 ± 0,02	0,40 ± 0,03	5,88 ± 0,18

Observou-se que os valores de pH apresentaram pequenas variações entre as amostras secas nas diferentes temperaturas. O pó obtido a 60 °C apresentou o menor pH ($3,94 \pm 0,01$), indicando maior acidez em comparação às amostras secas a 50 °C e 70 °C. Já a secagem a 70 °C apresentou o maior valor de pH ($4,40 \pm 0,02$), sugerindo possível alteração na composição de compostos orgânicos do material vegetal em temperaturas mais elevadas.

Em relação à atividade de água, todos os valores obtidos foram inferiores a 0,6, faixa considerada segura para estabilidade microbiológica de produtos desidratados. A amostra seca a 60 °C apresentou o menor valor médio de atividade de água ($0,39 \pm 0,04$), o que reforça sua adequação para obtenção de um produto com maior estabilidade.

A acidez total titulável (ATT) também apresentou variações entre as condições de secagem. O maior valor foi observado para amostra seca a 60 °C ($9,71 \pm 0,36$ g de ácido cítrico/100g), enquanto o menor valor obtido foi a 70 °C ($5,88 \pm 0,18$ g de ácido cítrico/100g). Essa redução na acidez em temperaturas mais elevadas pode estar relacionada à possível degradação térmica de alguns compostos orgânicos presentes no material vegetal.

6. CONCLUSÃO

A secagem em camada de espuma demonstrou ser uma técnica viável para a desidratação do suco das folhas da *Kalanchoe laetivirens*, permitindo a obtenção de um produto desidratado a partir de um material com elevado teor de umidade. As análises das propriedades da espuma, por meio dos parâmetros densidade, capacidade de incorporação de ar e estabilidade permitiu avaliar o comportamento da espuma formada e identificar as melhores condições experimentais para a continuação do processo.

Os resultados mostraram que a condição experimental correspondente ao Experimento 7 (-,+,+) proporcionou uma espuma com características mais apropriadas para secagem. Em relação ao processo de secagem, a temperatura de 60 °C mostrou-se adequada para a remoção da umidade do material, possibilitando a desidratação da espuma sem comprometer significativamente a estrutura formada. A escolha do agente espumante também desempenhou papel fundamental na formação da espuma, sendo o Emustab selecionado devido à sua capacidade de promover a incorporação de ar e contribuir para a estabilidade da espuma durante o processo.

Considerando conjuntamente os resultados da cinética de secagem e das propriedades físico-químicas do pó obtido, a condição de 60 °C apresentou desempenho satisfatório, com valores de atividade de água dentro da faixa considerada segura para estabilidade microbiológica, embora sem diferença significativa em relação as demais temperaturas avaliadas quando considerados os desvios padrão. Além disso, essa condição apresentou maior acidez titulável e ausência de alterações estruturais significativas no material seco, ao contrário do observado em temperaturas mais elevadas, que podem favorecer processos de degradação térmica. Assim, 60 °C foi considerada a temperatura mais adequada para secagem em camada de espuma das folhas de *Kalanchoe laetivirens* nas condições avaliadas nesse estudo.

REFERÊNCIAS

- AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHAFOOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 426–436, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>.
- BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, p. 1450–1458, 2011.
- BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 218, 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, DF, 1 de Ago. de 2005.
- BRAZ-FILHO, R. Contribuição da fitoquímica para o desenvolvimento de um país emergente. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 229–239, 2006.
- BRENNAN, J. G. **Food processing handbook**. 1. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. p. 85-95.
- BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEWSKI, C.; CASTILHO, F.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 3, p. 564-570, 2008.
- DIÓGENES, A. M. G. et al. Mathematical models to describe the foam mat drying process of cumbeba pulp (*Tacinga inamoena*) and product quality. **Foods**, v. 11, n. 12, p. 1751, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11121751>.
- ELGAMAL, R.; SONG, C.; RAYAN, A. M.; LIU, C.; AL-REJAIE, S.; ELMASRY, G. Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: a comprehensive overview. **Agronomy**, v. 13, p. 1580, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>.
- FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 6, p. 486–491, 2003.
- FALADE, K. O.; OKOCHA, J. O. Foam-mat drying of plantain and cooking banana (*Musa spp.*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 4, p. 1173–1180, 2010.
- FRANCO, T. S.; ELLENDERSEN, L. N.; FATTORI, D.; GRANATO, D.; MASSON, M. L. Influence of the addition of ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam mat drying process. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 10, p. 2012–2026, 2015.
- GUINÉ, R. P. F.; BARROCA, M. J.; GONÇALVES, F. J.; ALVES, M.; OLIVEIRA, S.; CORREIA, P. M. R. Effect of drying on total phenolic compounds, antioxidant activity,

and kinetics decay in pears. **International Journal of Fruit Science**, v. 15, n. 2, p. 173–186, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/15538362.2015.1017073>.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 1 ed. online. São Paulo, 1020 p. 2008.

KADAM, D. M.; PATIL, R. T.; KAUSHIK, P. Foam mat drying of fruit and vegetable products. In: **Drying of foods, vegetables and fruits**. v. 1, p. 111–124, 2010.

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

KAEWPIBOON, C.; SRISUTTEE, R.; MALILAS, W.; MOON, J.; KAOWINN, S.; CHO, I.; JOHNSTON, R. N.; ASSAVALAPSAKUL, W.; CHUNG, Y. Extract of *Bryophyllum laetivirens* reverses etoposide resistance in human lung A549 cancer cells by downregulation of NF- κ B. **Oncology Reports**, v. 31, p. 161–168, 2014.

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

KUDRA, T.; RATTI, C. Process and energy optimization in drying of foamed materials. **Transactions of the Tambov State Technical University**, v. 14, n. 4, p. 812–819, 2008.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2005.

MICHALSKA, A.; ŁYSIAK, G. Bioactive compounds of blueberries: post-harvest factors influencing the nutritional value of products. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, p. 18642–18663, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms160818642>.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas, Março de 2007.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73–77, 2001.

PINHEIRO, N. A. P.; ALVES, A. M. B.; CAMPOS, A. E. Q. R.; FURTADO, M. L.; LIMA, A. S.; SIQUEIRA, S. M. C. Avaliação *in vitro* da atividade fotoprotetora de *Bryophyllum laetivirens* (Desc.) V. V. Byalt. **Revista Coleta Científica**, v. 4, n. 7, p. 11–16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7764818>.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1452–1459, 2007.

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

SANTOS, J. M. S.; SILVA, A. I. B.; NUNES, L. E.; SÁ-FILHO, G. F. Utilização da planta aranto (*Bryophyllum laetivirens*) no tratamento de lesões cutâneas. **Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança**, v. 21, n. 1, p. 142–148, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17695/rcsne.vol21.n1.p142-148>.

SANTOS, T. O.; CORRÊA, A. G.; ROCHA, M. E. Síntese e avaliação antitumoral de novas alquilxantonas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**, 51., 2011.

SHAW, J. M. H. **Hanburyana: notes from the Royal Horticultural Society Botany Department**. Royal Horticultural Society, n. 3, 2008.

SILVA, L. R. et al. Flavonoides: constituição química, ações medicinais e potencial tóxico. **Acta Toxicológica Argentina**, v. 23, n. 1, p. 36–43, 2015.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS; Florianópolis: UFSC, 2007.

SIMÕES, T. B. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) das folhas do mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.)**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SMITH, G. F. Taxonomy and nomenclature of *Kalanchoe* × *laetivirens* (Crassulaceae subfam. Kalanchooideae), a further invasive nothospecies from Madagascar. **Phytotaxa**, v. 460, n. 1, p. 97–109, 2020.

VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PEREZ-WON, M. Effect of air-drying temperature on physicochemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum* L.). **Food Chemistry**, v. 117, n. 4, p. 647–653, 2009.