



SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DO CAJU (*ANACARDIUM OCCIDENTALE L.*): ANÁLISE E AVALIAÇÃO DA CINÉTICA

*Foam-mat layer drying of cashew pulp (*Anacardium occidentale L.*): analysis and evaluation of kinetics*

*Secado por capa de espuma de la pulpa de anacardo (*Anacardium occidentale L.*): análisis y evaluación de la cinética*

Luiz Eduardo Freitas de Moura ^{1*}, Emanuelle Maria de Oliveira Paiva ², Raul Gomes Leite Freitas ³, Gabriel Felipe de Vasconcelos Souza ⁴, & André Anderson Costa Pereira ⁵

^{1 2 3 4 5} Universidade Federal do Rio Grande do Norte

¹freitaseduardo265@gmail.com ²paiva.emanuelle@outlook.com ³freitasraul98@gmail.com ^{4*}gabriel.vasconcellos.1@ufrn.br ⁵andre.pereira.1@ufrn.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 09.01.2026

Aprovado: 05.03.2026

Disponibilizado: 29.03.2026

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa; emulsificantes; foam-mat; modelos cinéticos; atividade antioxidante.

KEYWORDS: Biomass; emulsifiers; foam-mat; kinetic models; antioxidant activity.

PALABRAS CLAVE: Biomasa; emulsionantes; esterilla de espuma; modelos cinéticos; actividad antioxidante.

*Autor Correspondente: Moura, L. E. F. de.

RESUMO

O caju possui grande importância econômica e social no desenvolvimento da região Nordeste. Apesar disso, o caju seu potencial é subutilizado devido à alta perecibilidade. Neste contexto, a secagem em camada de espuma se apresenta como alternativa, reduzindo a quantidade de água presente no alimento e impedindo o desenvolvimento de microrganismos. Dito isso, o objetivo desse trabalho foi realizar o estudo da cinética de secagem em camada de espuma da polpa do caju. As condições experimentais de 3, 6 e 8% de emulsificante, tempo de batimento para formação de espuma de 5, 10 e 20 minutos, adição de leite de 40% e pré-tratamento ultrassônico durante 2 minutos foram avaliadas. Também foi avaliado o ajuste de modelos cinéticos de secagem, e os modelos de Midilli e Weibull apresentaram um ótimo ajuste. As análises do teor de umidade e atividade de água dos pós obtidos indicaram que esses estão em boas condições para armazenamento e posterior aplicação. Por fim, em análises de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante por DPPH e ABTS foram obtidos resultados de até 12,55 mg GAE/mg de amostra, 44,38 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra e 325,46 $\mu\text{mol Trolox/g}$ de amostra.

ABSTRACT

Cashew fruit holds great economic and social importance in the development of the Northeast region of Brazil. Despite this, its potential is underutilized due to its high perishability. In this context, foam-layer drying presents itself as an alternative, reducing the amount of water present in the food and preventing the development of microorganisms. Therefore, the objective of this work was to study the kinetics of foam-layer drying of cashew pulp. The experimental conditions of 3, 6, and 8% emulsifier, beating times for foam formation of 5, 10, and 20 minutes, addition of 40% milk, and ultrasonic pretreatment for 2 minutes were evaluated. The fit of kinetic drying models was also assessed, and the Midilli and Weibull models showed an excellent fit. Analyses of the moisture content and water activity of the obtained powders indicated that they are in good condition for storage and subsequent application. Finally, analyses of total phenolic compounds and antioxidant capacity by DPPH and ABTS yielded results of up to 12.55 mg GAE/mg of sample, 44.38 $\mu\text{mol TE/g}$ of sample, and 325.46 $\mu\text{mol Trolox/g}$ of sample.

RESUMEN

El fruto del anacardo tiene gran importancia económica y social para el desarrollo de la región nordeste de Brasil. Sin embargo, su potencial se encuentra subutilizado debido a su alta perecibilidad. En este contexto, el secado por espuma se presenta como una alternativa, reduciendo la cantidad de agua presente en el alimento y previniendo el desarrollo de microorganismos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar la cinética del secado por espuma de la pulpa de anacardo. Se evaluaron las condiciones experimentales de 3, 6 y 8 % de emulsionante, tiempos de batido para la formación de espuma de 5, 10 y 20 minutos, adición de 40 % de leche y pretratamiento ultrasonico durante 2 minutos. También se evaluó el ajuste de los modelos cinéticos de secado, y los modelos de Midilli y Weibull mostraron un excelente ajuste. Análisis del contenido de humedad y la actividad de agua de los polvos obtenidos indicaron que se encuentran en buenas condiciones para su almacenamiento y posterior aplicación. Finalmente, análisis de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante mediante DPPH y ABTS arrojaron resultados de hasta 12,55 mg GAE/mg de muestra, 44,38 $\mu\text{mol TE/g}$ de muestra y 325,46 $\mu\text{mol Trolox/g}$ de muestra.

INTRODUÇÃO

O Cajueiro (*Anacardium occidentale*) é uma planta tropical de grande importância econômica para o Brasil. Seu fruto verdadeiro é a castanha, enquanto o caju é um pedúnculo, parte esta que se projeta a partir da castanha e serve de sustentação e fonte nutricional. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), o cultivo do cajueiro ocorre primordialmente na região Nordeste, representando 99,7% da produção nacional, principalmente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí.

O Brasil é o 6º maior produtor da castanha de caju no mundo e o 1º na produção do pedúnculo, correspondendo a 86,3% da produção mundial do pseudofruto (Brainer, 2022). O negócio da cajucultura se estabeleceu e beneficiou uma maior comercialização da amêndoa; e, mesmo representando quase 90% do fruto, o pedúnculo é subutilizado, visto que o caju possui grande potencial de ser melhor aproveitado industrialmente, sendo possível produzir sucos, néctares, refrigerantes e doces com a fruta, inclusive para exportação.

Além da importância financeira, há a importância social, uma vez que a cultura do caju desempenha um papel fundamental na sustentabilidade e desenvolvimento da região nordestina. A colheita e o processamento do caju envolvem diversas etapas que proporcionam emprego e renda para famílias em áreas onde as oportunidades econômicas são limitadas. Programas de cooperativismo e associações de produtores de caju têm fortalecido a organização comunitária, melhorando as condições de trabalho e promovendo a inclusão social (Maciel et al., 2019)

O pseudofruto do caju tem uma grande perecibilidade e, além disso, sua casca é frágil, isso acaba dificultando a logística de armazenamento e transporte do produto in natura. Assim, técnicas de desidratação visando a remoção da umidade de um material para conservá-lo por mais tempo tornam-se cada vez mais necessárias para viabilizar novas opções para indústrias e rotas comerciais. Entre os métodos de secagem, a secagem em camada de espuma é uma técnica promissora que aumenta a superfície de contato do material com o ar, o que resulta em uma transferência de calor e massa mais eficientes (Franco et al., 2015).

Para Marques (2009), a técnica de secagem em camada de espuma oferece uma melhor preservação de nutrientes num processo simples e de custo operacional menor e ainda possibilita o uso de temperaturas mais baixas durante a secagem. Esse método também permite a formação de uma espuma estável com a adição de agentes emulsificantes, que melhoram a uniformidade e a qualidade do produto seco.

Alguns agentes emulsificantes têm marca registrada e estão estabelecidos no mercado, como o Emustab®, ao deixar produtos com custo menor em processos de grande escala. Assim, em conjunto com a preservação das propriedades sensoriais e nutritivas após o período da secagem, podem estimular a venda de produtos obtidos pela secagem em camada de espuma. Entende-se a necessidade de buscar tecnologias de baixo custo e realizar estudo da secagem da polpa de fruto do caju pelo método camada de espuma, ao analisar efeitos do tempo de batimento, concentração de emulsificante, adição de leite e pré-tratamento ultrassônico à polpa na secagem. Também, estudar a cinética de secagem (temperatura de 70°C), ao ajustar dados experimentais aos modelos matemáticos da literatura, a atividade de água, pH, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante dos pós obtidos, e como o teor de umidade é afetado.

REFERENCIAL TEÓRICO

O CAJUEIRO, O CAJU E SUAS POLPAS

O cajueiro, de nome científico *Anacardium occidentale*, é uma planta tropical de origem brasileira e, posteriormente, levada a outros países tropicais. Pertence à família Anacardiaceae, que possui muitas espécies com frutos comestíveis, dentre elas: a manga, o cajá, a siriguela e o próprio caju. Trata-se de uma árvore perene, caracterizada por galhos baixos, porte médio de 6 a 12 m. Suas raízes se espalham profunda e lateralmente, obtendo vantagem competitiva em relação a outras plantas, o que garante sua sobrevivência em períodos de estiagem (Jeyavishnuet al., 2021).

O tronco do cajueiro é robusto, tortuoso, com casca áspera e cor acinzentada. Ao envelhecer, o tronco se divide em vários ramos principais, formando uma copa densa e espalhada, chegando a 14m nos cajueiros anão-precoce e até 20m no cajueiro comum. Os ramos são comumente fortes e suportam o peso dos frutos, embora possam ser suscetíveis a quebras em ventos fortes devido à sua estrutura ramificada (Embrapa Agroindústria Tropical, 2021).

As folhas do cajueiro são simples, coriáceas, de formato elíptico, com bordas inteiras. Elas são dispostas de forma alternada nos ramos e possuem uma coloração verde-escura e brilhante na face superior, enquanto a face inferior é mais pálida. As folhas apresentam uma textura firme e são bastante espessas, o que ajuda a minimizar a perda de água por evaporação, uma adaptação importante para as condições semi-areadas onde a planta frequentemente cresce. A Figura 1 apresenta uma foto de um cajueiro.

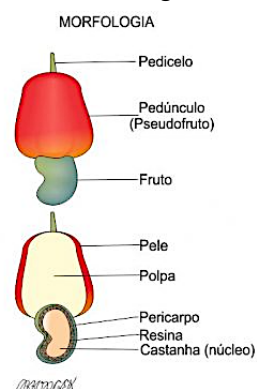
Figura 1. Maior cajueiro do mundo em Pirangi/RN



Fonte: Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA, n.d.).

Morfologicamente, o fruto do cajueiro é a castanha, sendo o caju o pseudofruto, com o processo de frutificação ocorrendo na primavera e verão. É possível visualizar o pedúnculo, correspondendo a 90% do volume da composição, e a castanha (Figura 2). O caju ocorre na coloração amarela, laranja ou vermelha, variando do tipo de solo onde cultivado e é bastante succulento, carnoso e com gosto adstringente.

Figura 2. Morfologia do Caju



Fonte: Adaptado de Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP, 2025).

A polpa de fruta é produzida com objetivo de armazenar e propiciar o consumo das vitaminas presentes nas frutas ao longo do ano sem perdas drásticas das qualidades nutricionais e sensoriais das frutas frescas. A produção de polpas concentra nutrientes, minerais e fibras em recipiente durável e permite a utilização desse produto principalmente para sucos (Tabela 1).

Tabela 1. Composição de 100 g da polpa de caju congelada

Componente	Quantidade	Componente	Quantidade
Umidade (%)	89,81	Cálcio (mg)	0,84
Energia (kcal)	37,57	Magnésio (mg)	7,07
Proteína (g)	0,481	Manganês (mg)	0,05
Lipídeos (g)	0,154	Fósforo (mg)	9,77
Carboidratos (g)	9,351	Ferro (mg)	0,15
Fibra alimentar (g)	0,815	Potássio (mg)	88,66
Vitamina C (mg)	119,72	Cobre (mg)	0,07
Sódio (mg)	4,16	Zinco (mg)	0,08

Fonte: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA, 2011).

O Caju é extremamente nutritivo e tem ótimo teor de polifenóis, carotenoides, vitamina C, aminoácidos e minerais, o que promovem a manutenção de bem-estar e saúde, pois proporcionam reforço da imunidade. Fito químicos como os flavonoides, taninos e outros ácidos presentes no caju contribuem bastante com propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes (Vasconcelos et al., 2015; Akyereko et al., 2023).

Tais substâncias, também encontradas em outros frutos da família Anacardium, tornam o caju em um pseudofruto com uma ação forte de componentes naturais importantes, os quais inibem a presença de radicais livres do corpo humano, prevenindo doenças cardiovasculares e danos aos componentes celulares (Salehi et al., 2020). Ademais, os compostos bioativos dificultam o desenvolvimento de micro-organismos patogênicos em grandes concentrações, mostrando eficácia contra *Staphylococcus aureus* e *Streptococcus mutans* (Vivek et al., 2013).

EMULSIFICANTES E ESTABILIZANTES

Uma emulsão é caracterizada pela mistura entre líquidos imiscíveis na qual um deles, a fase dispersa, encontra-se em glóbulos encapsulados no outro líquido, a fase contínua, formando uma mistura com uma única fase. Emulsões bastante utilizadas no dia a dia são a margarina, o leite e estão presente em cosméticos. Cita-se que um agente emulsificante tem caráter anfifílico, ou seja, a mesma molécula possui uma parte polar, solúvel em água, e uma apolar, insolúvel em água. Outra característica das emulsões é a instabilidade termodinâmica, devido a isso, além dos emulsionadores é possível também a adição de estabilizantes.

A emulsificação é importante na formação da consistência da mistura. É necessário fornecer energia durante o processo agitando o sistema, dessa forma ocorre uma aeração e o envolvimento da chamada fase dispersa, geralmente em gotículas, na fase contínua. Isso acontece pela redução da tensão superficial entre as duas fases, o que evita que as gotículas coalesçam. Os emulsificantes mais comuns nas indústrias de alimentos são os ésteres de ácidos lácticos e os monoglicerídeos (Gurgel, 2014). O Emustab® é um emulsificante comercial de bom custo-benefício e é composto por monoglicerídeos de ácidos graxos destilados e sorbitana (estabilizante) (Elpídio, 2021). E comercializado na forma de pasta, reduz consideravelmente o tempo para aeração das emulsões.

Outro produto importante destacar é a Liga Neutra, comercializada na forma de pó, a base de Carboximetilcelulose (CMC), ela atua nos alimentos aumentando afixação e absorção da água livre, retardando o tempo de desmanche da emulsão, dessa forma, confere cremosidade e evita o derretimento (Gurgel, 2014).

SECAGEM

Operação por meio da qual a água ou qualquer outro líquido é removido de um material (Celestino, 2010). É muito utilizada para aumentar o tempo de prateleira de muitos produtos alimentícios devido aos micro-organismos não se desenvolverem na ausência de água (Martins et al., 2020). Com a massa do sistema reduzida pela remoção da água, os custos de armazenamento e transporte são reduzidos, agregando valor ao produto.

A secagem combina transferência de massa e a de calor. O sistema a ser seca, troca calor com o ar em volta, e, a água, ou outro material volátil no sistema, é evaporado. Este material resultado da evaporação deixa o sistema através da difusão ou convecção (Silva Jr., 2018). Dessa forma, uma secagem depende de vários fatores, como as características do material a ser seca, velocidade do ar de secagem e temperatura (Rahman & Perera, 2007).

Existem diversos métodos de secagem, contudo o *foam-mat-drying*, ou secagem em camada de espuma é um processo de secagem que está ganhando destaque na desidratação de gêneros alimentícios líquidos ou semilíquidos, consistindo na circulação de uma corrente de ar quente em sob placas com materiais formados por uma espuma estável, que tem uma tendência a produzir uma secagem mais homogênea.

TAXA DE SECAGEM

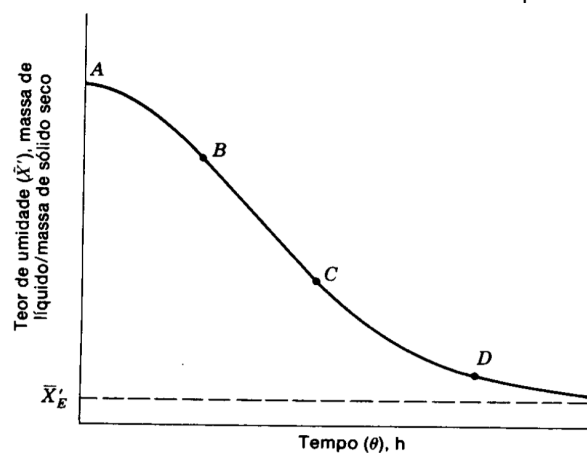
Para manter a qualidade dos produtos, é fundamental obter as curvas de secagem, pois elas indicam a velocidade com que a água é removida da interface do sistema desde o início do processo. Assim, o estudo da cinética de secagem seleciona tempo, temperaturas e outras condições para tentar uma semelhança de resultados.

Há duas formas principais de representar os resultados obtidos durante uma prática de secagem. Na primeira, é feita uma curva de teor de umidade (ou razão de umidade) em base seca por tempo de secagem (Figura 3). O teor de umidade em base seca (X_{bs}) é um número adimensional, com unidade em g de H₂O/g de sólido seco (Equação 1).

$$X_{bs} = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que m_u é a massa úmida do sólido e m_s é a massa de sólido seco (sem a presença de água).

Figura 3. Gráfico da curva de Teor de umidade vs. Tempo de secagem



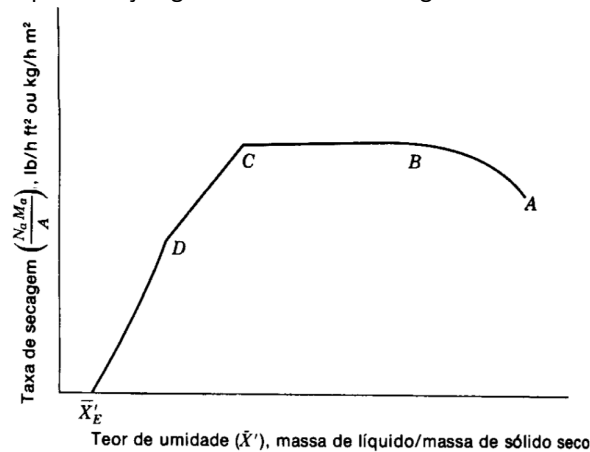
Fonte: Foust (1982).

A partir dos dados de X_{bs} , foi possível obter a taxa de secagem (R) (Equação 2) (Figura 4).

$$R = -\frac{dX_{bs}}{dt} \frac{m_s}{A} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que dX_{bs}/dt é a variação do teor de umidade ao longo do tempo e A é a área de secagem.

Figura 4. Representação gráfica da Taxa de secagem vs. Teor de umidade



Em ambos os gráficos, o período AB destaca-se por ser o início da secagem, caracterizado por uma concavidade para baixo. Nesse período, a temperatura dentro do sólido ainda está aumentando e, portanto, a taxa de secagem aumenta gradativamente. No período BC, também chamado de “período de secagem a taxa constante”, a taxa mantém em um valor fixo, pois o sólido atinge temperatura de bulbo úmido do gás e difusão do seu interior se iguala à vaporização da superfície. Essa etapa termina quando é atingido o teor de umidade crítico (ponto crítico C). A partir disso, têm-se o “período de taxa decrescente”, com as forças resistivas à transferência de massa se tornando maiores que a difusão da água, reduzindo a taxa de secagem até o valor nulo no teor de umidade de equilíbrio (\bar{X}'_E), com o menor teor possível nas condições operacionais do processo (Foust et al., 1982; Martins et al., 2020).

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

Também chamada de *foam-mat-drying*, a secagem em camada de espuma consiste em produzir uma espuma por meio de um produto úmido, seja ele líquido ou semilíquido, com o emprego de emulsificantes e/ou estabilizantes. Devido à incorporação de ar durante a formação da espuma, a superfície de contato da interface de secagem é maior, aumentando a taxa da secagem a uma dada temperatura. Dessa forma, esse processo pode ser utilizado para a produção em larga escala de sucos de frutas em pó devido à preservação da qualidade nutricional, fácil reconstituição e custo-benefício de produção (Sangamithra et al., 2015).

A principal vantagem da secagem em camada de espuma é minimizar o tempo de secagem, diminuindo gastos energéticos e, mesmo que uma grande incorporação de ar possa interferir no processo devido a transferências internas de calor, isto não é suficiente para superar a maior exposição da área superficial de secagem (Elpídio, 2021). Outra característica vantajosa é a obtenção de um pó poroso que pode ser reidratado com maior facilidade, com isso esse tipo de técnica de secagem é muito utilizada em polpas e sucos (Deepa & Mohapatra, 2019).

Santos (2022) utilizou a caseína extraída de leite bovino, agregando valor nutricional ao produto, para emulsificar polpas de umbu, seriguela e jabuticaba em concentrações de 30% e 50% do agente emulsificante. Realizando a secagem a uma temperatura de 60°C, indicou ainda duas formas de incorporar a polpa ao processo e concluiu que a polpa incorporada sobre a caseína evitava a caramelização e a secagem ocorria de forma constante.

Paiva (2022) também usou caseína, dispondo uma espuma com diversas formulações para a polpa de tomate para otimizar a operação, concluindo que 50% em concentração da polpa de tomate crua, a uma temperatura de 65°C, obtinha-se os melhores resultados no estudo.

CINÉTICA DE SECAGEM

Na literatura sobre modelagem matemática em secagem por camada de espuma, diversos estudos utilizam modelos cinéticos e de transferência de massa para descrever o comportamento do processo e aperfeiçoar condições de secagem. Maciel et al. (2017) fez a secagem de polpa de goiaba pelo método de camada de espuma e detalhou o uso de modelos para descrever a relação entre variáveis, como temperatura e concentração de emulsificante, com o objetivo de encontrar os parâmetros ideais para garantir um produto de qualidade. Sendo que modelos matemáticos auxiliam no dimensionamento de equipamentos e na previsão da performance de um processo de secagem, permitindo a simulação e otimização das suas condições de operação, o que é essencial para controlar a qualidade e o custo em escala industrial (Verma et al., 2022).

TEOR DE UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA

A água pode estar presente nos alimentos de uma forma livre ou ligada. O valor do teor de umidade representa o total de água em um sistema, independente da forma. Quanto maior este valor, mais propenso o alimento é a proliferação de microrganismos e conseqüente deterioração. Entretanto, este número só não é capaz de determinar a permissibilidade do produto, assim é necessário a análise da atividade de água (a_w) que mede o quão livre as moléculas de água estão pelo alimento em uma escala de 0 a 1, em que 1 corresponde à água pura, ou seja, extremamente livre. Portanto, um alimento pode ter um alto teor de umidade, mas se sua atividade de água for baixa, suas moléculas de água não são tão livres e isso confere maior estabilidade ao alimento que será menos propenso a estragar.

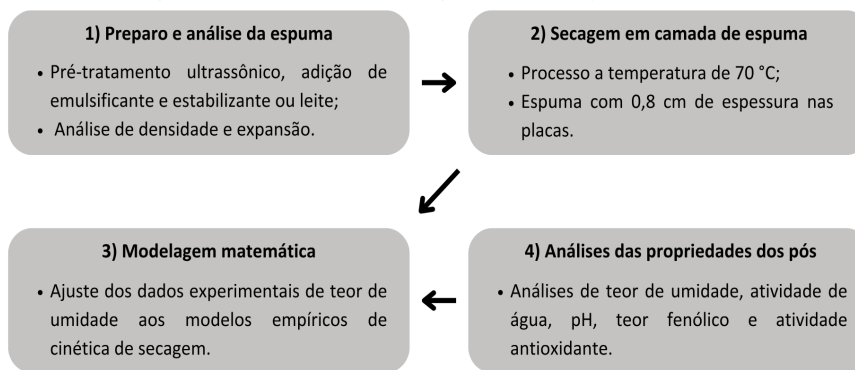
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante refere-se à capacidade de uma substância de neutralizar radicais livres, que são moléculas reativas e instáveis produzidas pelo corpo durante processos metabólicos normais e em resposta a fatores ambientais, como poluição e radiação. Os radicais livres podem causar danos oxidativos a células, proteínas e DNA, levando ao desenvolvimento de várias doenças crônicas, como câncer, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas. Os antioxidantes agem doando elétrons para os radicais livres, transformando-os em moléculas menos reativas e prevenindo assim o estresse oxidativo e seus efeitos danosos no organismo (Mathew et al., 2011).

Os antioxidantes podem ser encontrados em uma ampla variedade de alimentos, especialmente em frutas, vegetais, nozes, grãos e alguns tipos de carnes. Bianchi e Antunes (1999), e.g., citam as vitaminas C e E como compostos bioativos, como os flavonoides e carotenoides, exemplos de poderosos antioxidantes presentes na dieta humana. A inclusão de uma variedade de antioxidantes na dieta essencial para garantir uma defesa adequada contra os danos oxidativos e para promover a saúde geral. Também, Vieira et al. (2011) quantificaram o teor de fenólicos totais de várias polpas de frutas, inclusive a de caju, e constatou 201,61 mg de ácido gálico/100g de polpa, o que indica que mesmo na polpa ainda há uma grande atividade antioxidante.

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi desenvolvida em 4 etapas principais, descritas a seguir (Figura 5).



Fonte: Autores (2025).

PREPARAÇÃO DA ESPUMA

O agente espumante escolhido na preparação da espuma para secagem foi o Emustab® e a Liga Neutra Du Porto foi usada como agente estabilizante. A polpa usada nos seis primeiros ensaios foi misturada aos dois para preparação da espuma em batedeira planetária PHP 500 da marca *Philco* na velocidade máxima e potência de 500 w por batimentos de 5, 10 e 20 minutos; concentrações de Emustab® a 3, 6 e 8% e de Liga Neutra sempre a 1%. Outra parte da polpa foi misturada ao leite com fração de 40% em dois ensaios. Todas essas concentrações foram adicionadas em cima da base de cálculo, considerando sempre 200g de polpa. Certos ensaios também passaram por pré-tratamento com ultrassom antes da adição, realizado no equipamento de sonificador ultrassônico QR550 da marca Ecosonics durante 2 min e com 30% de sua potência máxima (550 W) (Figura 5) (Tabela 2).

Figura 6. Preparo da espuma



Fonte: Autores (2025).

Tabela 2. Condições de preparo da espuma em cada ensaio

Ensaio	Emustab® (%)	Tempo de batimento (min)	Leite	Tempo de Ultrassom
1	3	5	—	—
2	3	20	—	—
3	6	10	—	—
4	6	20	—	—
5	8	10	—	—
6	8	20	—	—
7	—	—	40%	2
8	—	—	40%	—
9	—	—	—	2

Fonte: Autores (2025).

CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA

A densidade da espuma foi medida em triplicata pela sua inserção em provetas de material plástico com volume de 25 mL. A partir da diferença das massas das provetas com e sem espuma e o seu volume foi calculada a densidade pela Equação 3 a seguir.

$$\rho_{esp} = \frac{m_{esp}}{25 \text{ (mL)}} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que ρ_{esp} é a densidade da espuma, m_{esp} é a massa da espuma. Também foi encontrada a expansão da espuma, ou seja, o quanto a espuma aumentou em volume com relação à polpa original (Equação 4).

$$E \text{ (\%)} = \frac{1/\rho_{esp} - 1/\rho_{polpa}}{1/\rho_{polpa}} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que E é a expansão e ρ_{polpa} é a densidade da polpa de caju.

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

Após a preparação das espumas, elas foram colocadas em placas de alumínio com 0,8 cm de espessura, comprimento de 36,5 cm e largura de 21,7 cm, as quais foram introduzidas em uma estufa de circulação de ar Marconi MA035 e realizada a secagem em camada de espuma a temperatura fixa de 70°C. Esta temperatura foi indicada como maior eficiência no tempo de secagem e preservação de bioativos no estudo com outras frutas, como foi o caso de Cruz (2013) com a goiaba e Silva et al. (2020) com a polpa de graviola. A cada 10 minutos de secagem as placas eram pesadas. Após cada procedimento, os pós obtidos foram raspados com ajuda de espátulas, acondicionadas em sacos plásticos e colocadas em freezer a uma temperatura de -18°C.

O estudo da cinética da secagem foi realizado pelo acompanhamento da massa remanescente da placa com a espuma ao longo do tempo em intervalos de 10 minutos até atingir a umidade de equilíbrio. A razão de umidade foi calculada pela Equação 5 a seguir.

$$RU = \frac{U(t) - U_e}{U_0 - U_e} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que RU é a razão de umidade, $U(t)$ é a umidade no tempo t , U_0 é a umidade inicial e U_e é a umidade de equilíbrio. A taxa de secagem, por sua vez, obtida pela Equação 2.

MODELAGEM MATEMÁTICA

Para encontrar um modelo que melhor se ajustava à secagem da polpa foi usado o software Statistica 7.0 (Statsoft Inc. South América, Toulusa, Oklahoma, Estados Unidos). Foram escolhidos três modelos para avaliação (Tabela 3).

Tabela 3. Modelos matemáticos de secagem

Modelo	Equação	Referência
Newton	$RU = e^{-kt}$	O'Callaghan et al., 1971
Midilli	$RU = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$	Midilli et al., 2002
Distribuição de Weibull	$RU = a - b \cdot \exp(-kt^n)$	Azizpour et al., 2014

Fonte: Autores (2025).

Em que RU é a razão de umidade; a , b e n são os parâmetros dos modelos; t é o tempo de secagem (min) e k é a constante de secagem (min^{-1}).

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DOS PÓS

Após o final de cada secagem, realizou-se análises físico-químicas para caracterizar os pós obtidos, sendo preciso preparar o extrato dos pós para certas análises, com 10 mL de etanol e 1 grama de pó produzido nos experimentos. Calculou-se o teor de umidade em triplicata, a partir da pesagem de cadinhos vazios, com polpa e após 24 horas de secagem, a 105°C em estufa de circulação de ar. O teor de umidade, porcentagem, medido pela Equação 6 abaixo.

$$U \text{ (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i - m_c} \cdot 100 \quad \text{Eq. 6}$$

As atividades de água foram medidas a partir de amostras com 1g de cada pó e com o equipamento AQUALAB (SERIE 3TE, Brasil). O pH foi calculado solubilizando 1g de pó em 10 mL de água destilada em tubos de ensaio que posteriormente foram lidos com um Medidor de pH de bancada microprocessado Tec-5. Já o teor de fenólicos totais foi calculado com o reagente FolinCiocalteau, através da metodologia de Obanda et al. (1997). A análise realizada em quadruplicada em leitor de microplacas com a leitura de 765nm. Os resultados calculados calibrando uma curva com diferentes concentrações de ácido gálico de 0 a 250 mg/L. A unidade é dada é mg equivalente de ácido gálico por g de amostra.

Encontrou-se a atividade antioxidante por duas metodologias. A de Bobo-Garcia et al. (2015), com solução de 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) e metanol inserida em microplacas de 96 poços com uma solução de Trolox (2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), que serve para fazer a curva de calibração. Ao final, as microplacas ficam incubadas no escuro e depois é feita a leitura de suas absorvâncias com a 515 nm. Já no método do radical ABTS (2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)), realizado em penumbra, adicionando extrato e solução diluída de ABTS em cada poço da microplaca. Um grupo de controle foi efetuado trocando amostras por metanol e ABTS por Trolox. As microplacas foram incubadas sem luz e submetidas a análise de absorvância a 714 nm. Ambos resultados de potencial oxidante expressos em mol equivalente de Trolox por grama de amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA

Os valores da densidade da espuma são de alta importância no processo da secagem. VanArsdel e Copley (1964) sugeriram valores entre 0,1 e 0,6 g/cm³ em processos de desidratação. Como visto na Tabela 4 acima, as densidades obtidas estão no intervalo de 0,2299 g/cm³ a 0,3934 g/cm³ (ensaios 6 e 9, respectivamente), ou seja, é possível inferir que as densidades obtidas foram satisfatórias conforme os autores. Ademais, a maior adição do emulsificante Emustab[®] reduziram a densidade e aumentou a expansão da espuma, visto que os ensaios 5 e 6, com 8% de concentração, tiveram menores e maiores resultados, respectivamente. Tal comportamento vai ao encontro dos resultados de Abd El-Salam et al. (2021), em que pode se observar que concentrações mais altas de emulsificante no processo de secagem da polpa de mamão resultaram em espumas com menores densidades, aumentando a porosidade e melhorando a qualidade final do produto seco.

Tabela 4. Propriedades físicas densidade e porcentagem de expansão determinados nos 9 experimentos

Ensaio	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)
1	0,2988	252,12
2	0,3213	227,38
3	0,2617	302,00
4	0,2448	329,81
5	0,2336	350,27
6	0,2299	357,52
7	0,2742	283,60
8	0,3337	215,21
9	0,3934	167,43

Fonte: Autores (2025).

A densidade da espuma influencia diretamente na transferência de calor e massa durante o processo de secagem. Estudos mostram que o aumento da concentração de emulsificante de fato pode não apenas melhorar a estabilidade da espuma, mas também reduzir sua densidade, o que contribui para uma secagem mais rápida e uniforme do produto (Hossain et al., 2024). Todavia, salienta-se que concentrações muito altas do agente espumante podem

diminuir a expansão da espuma, como descrito por Li et al. (2021), atribuindo o fenômeno à saturação dos agentes nas superfícies das bolhas e à maior viscosidade da espuma. Até concentração de 8% de emulsificante, não se constatou a diminuição da expansão.

Ao secar o caju, também em camada de espuma, mas utilizando albumina como agente espumante, Machado (2019) notou que para maiores concentrações de albumina (7%) e maior tempo de batimento (25 min.) promoveu maior variação na expansão da mesma forma que experimentos da Tabela 4. Outros pontos a serem analisados são as influências do tempo de ultrassom e da adição do leite. Pode-se perceber que ao serem realizados em conjunto no experimento 7, elevaram a expansão da espuma em comparação com o experimento 1, entretanto, nos experimentos 8 e 7, quando realizados separadamente, acabaram por diminuir a expansão.

Gurgel (2014) secou graviola utilizando concentrações de 1% de Emustab® com adição de leite e identificou que grandes quantidades de leite, adicionadas as espumas se tornaram menos estáveis e coalesceram. Dessa forma, os experimentos com caju podem também ter ficado com excesso de emulsificantes o que acaba atrapalhando o processo de expansão. Já para concluir algo sobre o efeito combinado do ultrassom com o leite são necessários mais estudos.

CINÉTICA DE SECAGEM

Os cálculos da razão de umidade em cada ponto obtiveram curvas vs. tempo de secagem em minutos (Tabelas 5, 6 e 7), com dados experimentais modelados pelas equações da Tabela 3.

Tabela 5. Parâmetros do modelo de Newton

Ensaio	k	R ²
1	0,01232	0,9591
2	0,01495	0,9505
3	0,01213	0,9415
4	0,01239	0,9360
5	0,01260	0,9377
6	0,01242	0,9400
7	0,01455	0,9377
8	0,01439	0,9482
9	0,01318	0,9557

Tabela 6. Parâmetros do modelo de Midilli

Ensaio	k	n	a	b	R ²
1	0,005363	1,1031	0,9942	-0,0012	0,9992
2	0,003699	1,2593	0,9938	-0,0011	0,9989
3	0,004133	1,1053	0,9972	-0,0021	0,9978
4	0,003043	1,1335	0,9957	-0,0030	0,9997
5	0,002481	1,2714	0,9889	-0,0014	0,9991
6	0,003102	1,1879	0,9942	-0,0020	0,9997
7	0,003862	1,1736	0,9964	-0,0024	0,9992
8	0,002065	1,4065	0,9873	-0,0005	0,9993
9	0,003510	1,2375	0,9881	-0,0008	0,9989

Tabela 7. Parâmetros da distribuição de Weibull

Ensaio	k	n	a	b	R ²
1	0,00489	1,0693	-0,4164	-1,4117	0,9993
2	0,00381	1,2177	-0,2635	-1,2580	0,9989
3	0,00305	1,1235	-0,6858	-1,6796	0,9996
4	0,00232	1,0763	-1,6084	-2,6045	0,9997
5	0,00261	1,2118	-0,4406	-1,4304	0,9992
6	0,00288	1,1315	-0,7622	-1,7569	0,9998
7	0,00345	1,1201	-0,8211	-1,8180	0,9992
8	0,00225	1,3692	-0,1187	-1,1069	0,9994
9	0,00364	1,1966	-0,2383	-1,2277	0,9990

Fonte: Autores (2025).

Com base nas tabelas anteriores e coeficientes R^2 , constata-se que os modelos de Midilli e a Distribuição de Weibull, se ajustaram aos dados, enquanto o modelo de Newton não. Isso ocorreu pelo fato do modelo de Newton ser exponencial com um único parâmetro, e, como as secagens tiveram um tempo de taxa constante prolongado, esse modelo não se adequa suficientemente bem como os outros dois (Figuras 7, 8 e 9).

Figura 7. Curvas de secagem para 3% de emulsificante

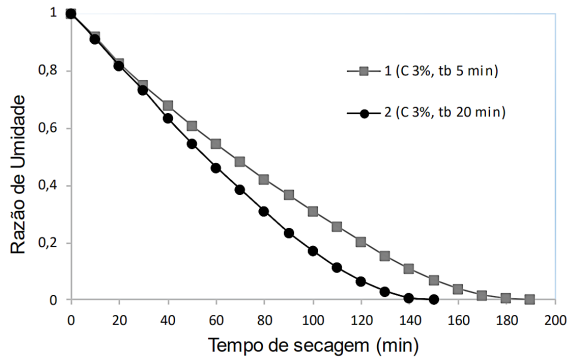


Figura 8. Curvas de secagem para 6% de emulsificante

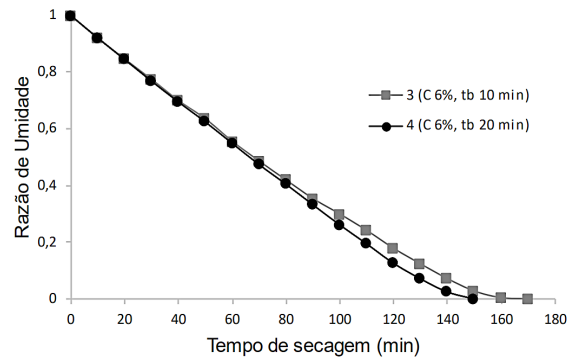
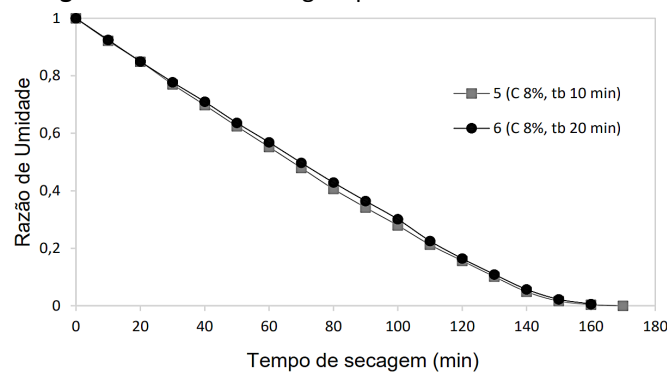


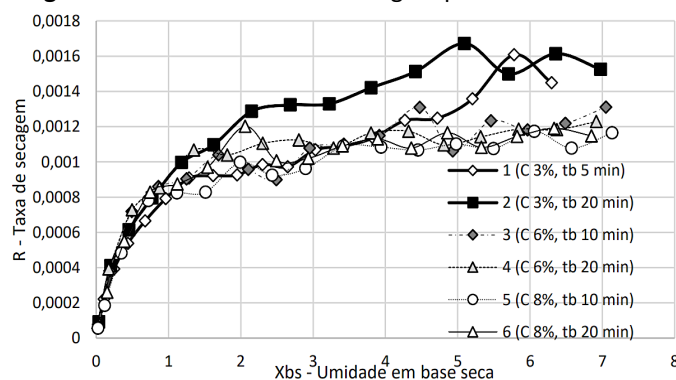
Figura 9. Curvas de secagem para 8% de emulsificante



Fonte: Autores (2025).

Kadam e Balasubramanian (2011) secaram suco de tomate em camada de espuma e narraram o mesmo ocorrido com a secagem da espuma do caju, como, visto nos gráficos anteriores, até certo ponto, em altas concentrações de agentes espumantes, não fazendo sentido operar com tempos de batimentos elevados. Na Figura 7, há uma ampla redução no tempo de secagem, com avanço do tempo de batimento, porém, o desempenho não é ratificado (Figuras 8 e 9).

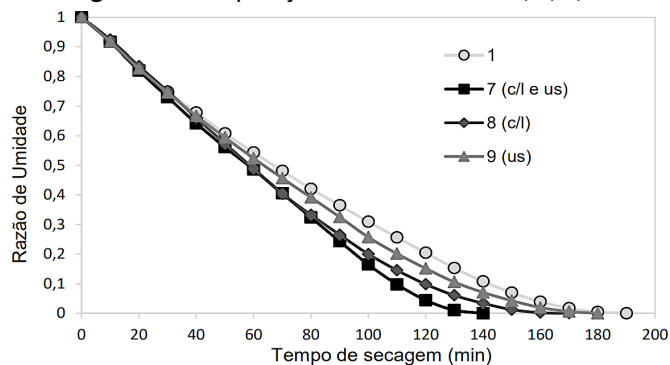
Figura 10. Gráfico de taxa de secagem por teor de umidade



Fonte: Autores (2025).

A Figura 10 confirma que, nos 6 primeiros ensaios, o período de taxa constante foi maior e que, naqueles com 3% de Emustab®, as taxas foram maiores, principalmente no ensaio 2, com maior tempo de batimento.

Figura 11. Comparação entre os ensaios 1, 7, 8, 9



Fonte: Autores (2025).

É possível identificar (Figura 11) que tanto o efeito do ultrassom, como a adição de leite isoladamente e em conjunto diminuíram o tempo de secagem do caju. Cita-se Kadam et al. (2010) que secaram manga com o método *foam-mat-drying* usando leite como aditivo e concluíram que, em uma concentração de 10% de leite, os resultados dos pós eram melhores. Já Infante (2021), secou batata-doce com pré-tratamento ultrassônico, mostrando que a microestrutura do material apresentou maior aglomeração e quebra, aumentando a porosidade e a área superficial de contato, diminuindo, assim, o tempo de secagem.

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DOS PÓS

De acordo com Resolução nº 272/2005, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2005) determina que o máximo permitido para produtos de frutas secas deve ser no máximo de 25% de umidade, com todos os pós passando o quesito (Tabela 8). Já para a atividade de água, Celestino (2010), indicam atividades abaixo de 0,6, tendo pequeno ou nenhum crescimento de microrganismos e atividades abaixo de 0,3 chegando à zona de absorção primária, que moléculas de água estão fortemente ligadas ao alimento e chance de desenvolvimento de microrganismos quase nula. Importante advertir que os experimentos 7 e 8, com adicional de 40% de leite, tiveram redução no teor de umidade e atividade em água.

Tabela 8. resultados de teor de umidade e atividade de água dos pós obtidos

Ensaio	Teor de umidade	Atividade de água	pH
1	16,04%	0,3137	4,48
2	15,41%	0,3997	4,49
3	17,64%	0,4140	4,47
4	15,97%	0,3663	4,45
5	15,57%	0,3917	4,34
6	15,55%	0,3137	4,24
7	13,23%	0,2807	4,63
8	13,52%	0,2673	4,94
9	16,93%	0,3283	4,57

Fonte: Autores (2025).

A Instrução Normativa número 37 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018), o pH mínimo indicado para o suco e polpa do caju é 3,8. Assim, todos valores de potencial hidrogeniônico estão acima do limite, com compostos fenólicos totais e resultados das análises dos sequestros dos radicais de DPPH e ABTS (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de fenólicos totais e atividade antioxidante

Ensaio	Teor de Fenólicos Totais (mg GAE/mg de amostra)	Atividade Antioxidante	
		DPPH ($\mu\text{molTE}/\text{mg de amostra}$)	ABTS ($\mu\text{molTEAC}/\text{mg de amostra}$)
1	6,45	44,38	324,90
7	8,28	32,68	325,46
8	8,90	32,59	314,71
9	12,55	43,62	316,71

Fonte: Autores (2025).

Moraes et al. (2014) desidrataram caju via secagem convectiva e identificou um valor de 21,57 $\mu\text{mol TE/mg}$ de amostra e 2,71mg GAE/mg de amostra nas análises de DPPH e CFT, respectivamente. Na Tabela 9 é possível identificar valores superiores nos testes feitos, demonstrando uma possível maior retenção de fenólicos e antioxidantes com a técnica da secagem em camada de espuma.

Vieira et al. (2011) analisou a capacidade antioxidante via método ABTS como caju e outras frutas tropicais e identificou 561 $\mu\text{mol TEAC/mg}$ de polpa em extrato hidroalcolico. Ao comparar os dados com a Tabela 9 vemos valores entre 314,71 e 325,46, o que já era esperado, pois é comum a degradação de substâncias em processos de secagem.

No ensaio 9, é possível identificar uma retenção maior de Compostos fenólicos totais, isso deve ter ocorrido devido ao pré-tratamento dado a polpa, como observado no trabalho de Fonteles (2014), que verificou que o uso de pré-tratamento ultrassônico ao bagaço de caju reteve mais fenólicos, dando mais qualidade ao produto seco e explicou esse fato pela diminuição atividades das enzimas oxirredutases e peroxidases.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos no trabalho, pode-se concluir que o tempo de secagem foi mais reduzido com a presença da menor concentração de Emustab[®] (3%) estudada e com o maior tempo de batimento de 20 min. Ao aumentar as concentrações do emulsificante, a diminuição do tempo de secagem e aumento da taxa de secagem não foram significativas.

O tempo de secagem também diminuiu com a presença do adicional de leite e com um pré-tratamento em sonificador ultrassônico, entretanto, como foram feitas somente análises comparativas, faz-se necessário o desenvolvimento de mais experimentos.

Os modelos matemáticos de secagem em camada delgada que melhor se ajustaram aos dados foram o de Midilli e a Distribuição de Weibull, ambos com R^2 com acima de 0,999. Já o modelo de Newton não se ajustou bem aos resultados.

As análises de teor de umidade e a atividade de água demonstraram que os pós obtidos podem resistir ao desenvolvimento de microrganismos e estão de acordo com as normas da legislação vigente. Na análise de teor de fenólicos totais e atividade antioxidante por DPPH, foram encontrados valores maiores que a literatura, indicando maior eficiência em preservar esses compostos. O experimento com pré-tratamento ultrassônico teve a maior retenção de desses compostos.

REFERÊNCIAS

Abd El-Salam, E. A. E.-S., Ali, A. M., & Hammad, K. S. (2021). Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1449-1461. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04657-2>

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2005). *Resolução-RDC Nº 272*, de 22 de setembro de 2005. Recuperado de https://bvmsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0272_22_09_2005.html

Arsdel, W. B. V. & Copley, M. J. (1964). *Food Dehydration, Volume 2: Products and Technology*. Westport: *Avi Publishing Company*.

Akyereko, Y. G., Yeboah G. B., Wireko-Manu F. D., Alemawor F., Mills-Robertson, F. C., & Odoom W. (2023). Nutritional value and health benefits of

cashew apple. *JSFA Reports*, 3(3), 110-118. <https://doi.org/10.1002/jsf2.107>

Azizpour, M., Mohebbi, M., Khodaparast, M. H. H., & Varidi, M. (2014). Optimization of foaming parameters and investigating the effects of drying temperature on the foam-mat drying of shrimp (*Penaeus indicus*). *Drying Technology*, 32(4), 374-384. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.794829>

Bianchi, M. de. L. P. & Antunes, L. M. G. (1999). Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. *Revista de Nutrição*, 12(2), 123-130. <https://doi.org/10.1590/S1415-52731999000200001>

Brainer, M. S. de. C. P. (2021). Cajucultura. *Caderno Setorial ETENE*, 7(230). Recuperado de <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2819>

Bobo-García, G., Pardo, G. D., Arroqui, C., Vírseda, P., Arroyo, M. R. M., & Navarro, M. (2015). Intra-

laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 204-209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6706>

Celestino, S. M. C. (2010). Princípios de secagem de alimentos. Planaltina: *Embrapa Cerrados*. Recuperado de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883845/1/doc276.pdf>

Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. (2025). *Hortipedia*. Recuperado de <https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/caju>

Cruz, W. F. (2013). Obtenção de polpa de goiaba (*Psidiumguajava L.*) em pó pelo método de secagem em camada de espuma (Dissertação de mestrado). *Universidade Federal de Viçosa*, Viçosa, MG, Brasil.

Deepa, K. & Mohapatra, M. (2020). Foam-mat drying characteristics of custard apple pulp. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 8(4), 89-95. <https://doi.org/10.11648/j.jfns.20200804.13>

Elpídio, C. M. D. A. (2020). *Secagem de ameixa pelo método de camada de espuma: otimização dos parâmetros e caracterização do produto* (Tese de Doutorado). *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, RN, Brasil.

Embrapa Agroindústria Tropical. (2021). *Caju - Características da planta*. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/caju/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-planta>

Fonteles, T. V. (2014). Uso do ultrassom seguido de secagem para o aproveitamento do bagaço do pedúnculo do caju (*Anacardium occidentale L.*): efeitos sobre o potencial antioxidante e bioacessibilidade de nutrientes. (Tese de Doutorado), *Universidade Federal do Ceará*, Fortaleza, CE, Brasil.

Franco, T. S., Ellendersen, L. N., Fattori, D., Granato, D., & Masson, M. L. (2015). 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*, 8(10), 2012-2026. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1553-5>

Gurgel, C. E. M. R. (2014). Secagem da polpa de graviola (*Annonamuricata L.*) em camada de espuma-desempenho do processo e características do produto (Dissertação de mestrado). *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, RN, Brasil.

Hossain, M. A., Ahmed, T., Ferdous, J., Zzaman, W. (2024). Optimization of the foam-mat drying process to develop high-quality tomato powder: a response surface methodology approach. *Heliyon*, 10(21),

e39811.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39811>

INFANTE, R. A. (2021). Efeito sobre as características estruturais e nutricionais da utilização do ultrassom como pré-tratamento da secagem de batata-doce (*Ipomoea batatas*) biofortificada, cultivar Beaugard (Tese de Doutorado). *Universidade Federal de Pernambuco*, Recife, RE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2024). *Levantamento sistemático da produção agrícola*. Recuperado de [https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2024/estProdAgri_2024_09.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2024/estProdAgri_2024_09.pdf)

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (n.d.). Recuperado de <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2021/12/20/maior-cajueiro-do-mundo-no-rn-comemora-133-anos-com-programacao-cultural-e-entrada-gratuita.ghtml>

Jeyavishnu, K., Thulasidharan, T., Shereen, M. F., & Arumugam, A. (2021). Increased revenue with high value-added products from cashew apple (*Anacardium occidentale L.*) - addressing global challenges. *Food and Bioprocess Technology*, 14(6), 985-1012. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02623-0>

Kadam, D. M. & Balasubramanian, S. (2011). Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 488-495. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00492.x>

Kadam, D. M., Wilson, R. A., & Kaur, S. (2010). Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1626-1632. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02308.x>

Li, T. S., Sulaiman, R., Rukayadi, Y., & Ramli, S. (2020). Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. *Food Hydrocolloids*, 116, 106492. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106492>

Maciel, S. C., Marques, A. F., Oliveira, A. B. de., & Siqueira, A. C. P. (2019). O caju no Nordeste: importância econômica, social e cultural. *Anais dos Encontros Universitários da UFC*, 4(4), 3425, Fortaleza, CE.

Maciel, R. M. G., Afonso, M. R. A., Costa, J. M. C., Severo, L. S., & Lima N. D. (2017). Mathematical modeling of the foam-mat drying curves of guava pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(10), 721-725. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p721-725>

- Marques, G. M. R. (2009). Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto (Dissertação de mestrado). *Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia*, Itapetinga, BA, Brasil.
- Martins, F. P., Neto, J. C. B., Silva, A. J. O., & Siqueira, A. M. O. (2020). Secagem: uma revisão. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 6(4), 0600-0607i. <https://doi.org/10.18540/icecvl6iss4pp0600-0607i>
- Mathew, B. B., Tiwari, A., & Jatawa, S. K. (2011). Free radicals and antioxidants: a review. *Journal of Pharmacy Research*, 4(12), 4340-4343. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262175269_Mathew_B_B_Tiwari_A_Jatawa_S_K_2011_Free_Radicals_and_Antioxidants_A_Review_Journal_of_Pharmacy_Research_412
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying technology*, 20(7), 1503-1513. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2018). *Instrução Normativa Nº 37*, de 1º de outubro de 2018. Recuperado de https://in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/44304943/do1-2018-10-08-instrucao-normativa-n-37-de-1-de-outubro-de-2018-44304612
- Moraes, F. P., Silva, E. S., Rocha, P. M., Fernandes, T. R. N., Vidal, R. H. L., & Correia, R. T. P. (2014). Impacto da secagem convectiva sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante do resíduo de caju (*Anacardium occidentale L.*). *Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Florianópolis, SC, Brasil, 8p.
- Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA). (2011). *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos*. Recuperado de <https://nepa.unicamp.br>
- O'callaghan, J. R., Menzies, D. J., & Bailey, P. H. (1971). Digital simulation of agricultural drier performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16(3), 223-244. [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(71\)80016-1](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(71)80016-1)
- Obanda, M., Owuor, P. O., & Taylor, S. J. (1997). Flavanol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 74(2) 209-215. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199706\)74:2%3C209::AID-JSFA789%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199706)74:2%3C209::AID-JSFA789%3E3.0.CO;2-4)
- Paiva, E. M. de O. (2022). Estudo da caseína como agente espumante na secagem de tomate pelo método foam-mat (Dissertação de Mestrado), *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, RN, Brasil.
- Salehi, B., Gültekin-Özgülven, M., Kirkin, C., Özçelik, B., Morais-Braga, M. F. B., Carneiro, J. N. P., ... & Martins, N. (2020). Antioxidant, antimicrobial, and anticancer effects of anacardium plants: an ethnopharmacological perspective. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 295. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00295>
- Sangamithra, A., Venkatachalam, S., Jonh, S. G., & Kuppuswamy, K. (2015). Foam mat drying of food materials: a review. *Journal of Food Processing and preservation*, 39(6), 3165-3174. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12421>
- Silva, E. G. de., Tebaldi, A. C., Geraldi, C. A. Q., Loss, R. A., & Guedes, S. F. (2021). Influência da temperatura de secagem em camada de espuma da polpa da graviola. Cap. 3, 31-60pp. Belo Horizonte: *Editora Synapse*. https://doi.org/10.36599/editpa-2020_pann-0003
- Santos, A. B. F. M. dos. (2022). Secagem de polpa de jabuticaba, siriguela e umbu em camada de espuma utilizando a caseína como emulsificante (Trabalho de Conclusão de Curso), *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, RN, Brasil.
- Vasconcelos, M. S. da., Gomes-Rochette, N. F., Oliveira, M. L. M. de., Nunes-Pinheiro, D. C. S., Tomé, A. R., Sousa, F. Y. M. de., Pinheiro, F. G. M., Moura, C. F. H., Miranda, M. R. A., Mota, E. F., & Melo, D. F. de. (2015). Anti-inflammatory and wound healing potential of cashew apple juice (*Anacardium occidentale L.*) in mice. *Experimental Biology and Medicine*, 240(12), 1648-1655. <https://doi.org/10.1177/1535370215576299>
- Verma, S., Usenov, A. B., Sobirova D. U., Sulstonova S. A., & Safarov J. E. (2022). Mathematical description of the drying process of mulberry leaves. *IOP Publishing*, 1112, 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1112/1/012012>
- Vieira, L. M., Sousa, M. S. B., Mancini-Filho, J., & Lima, A. de. (2011). Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(3), 888-897. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000099>
- Vivek, M. N., Manasa, M., Pallavi, S., Swamy, S. H., & Prashith, K. T. R. (2013). Antibacterial potential of cashew apple (*Anacardium occidentale L.*) juice against clinical isolates of *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus mutans*. *Science, Technology and Arts Research Journal*, 2(3), 144-146. <https://doi.org/10.4314/star.v2i3.98756>