

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CAMPUS CENTRAL DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – SEDE: ANÁPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PATRÍCIA CARVALHO RIOS

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE POLPA DO TAMARINDO EM
LEITO DE ESPUMA E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

ANÁPOLIS-GO
2025

PATRÍCIA CARVALHO RIOS

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE POLPA DO TAMARINDO EM
LEITO DE ESPUMA E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – Campus Central de Ciências Exatas e Tecnológicas – Sede: Anápolis, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla

ANÁPOLIS-GO
2025

PATRÍCIA CARVALHO RIOS

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE POLPA DO TAMARINDO EM
LEITO DE ESPUMA E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – Campus Central de Ciências Exatas e Tecnológicas – Sede: Anápolis, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: 31 de janeiro de 2025.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla – UEG/Campus Central
Orientador

Prof. Dr. André José de Campos – UEG/Campus Central
Membro

**Prof.^a Dra. Renata Cunha dos Reis – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás**
Membro

Dedico à minha família, pais e filhos, aos
meus amigos e ao meu orientador.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo suporte, pois houve vários momentos difíceis que não teria superado sem a presença d'Ele em minha vida.

Aos meus pais, pelo apoio constante e torcida.

Aos meus filhos que, mesmo muito pequenos, compreenderam com muita conversa minha ausência durante essa jornada.

Aos meus amigos, cujo incentivo e ajuda foram como a presença de anjos nessa caminhada.

Ao meu orientador, por toda a sabedoria, paciência, compreensão e calma ao longo desse trajeto, sempre me instruindo com serenidade.

À CAPES pelo apoio financeiro, que possibilitou a realização desta pesquisa.

Agradeço a todos pelo incentivo e apoio, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

“Com desperdício, a turma toda padece. Sem desperdício, a cidadania se fortalece.”

(Daniel Oyan)

RESUMO

Frutos e hortaliças frescos são comumente consumidos devido à sua disponibilidade, fácil processamento, sabor e efeito benéfico que traz à saúde humana. Esses produtos são fontes naturais de antioxidantes e outros compostos bioativos. O tamarindo (*Tamarindus indica* L.) é cultivado especialmente em países tropicais como o Brasil, tendo destaque no nordeste brasileiro. Dentre as diversas partes aproveitáveis, seu fruto é o componente que possui maior procura comercial e apresenta cerca de 55% de polpa. Esta pesquisa visou determinar e avaliar a cinética de secagem da polpa de tamarindo em leito de espuma na faixa de temperatura de 60 a 85°C e as propriedades físico-químicas após o processo de secagem. O experimento da cinética de secagem foi realizado utilizando um Delineamento Inteiramente Casualizado com seis tratamentos (60, 65, 70, 75, 80 e 85°C) em três repetições, os modelos matemáticos, foram ajustados com o método de Gauss-Newton. Foram analisados os teores de ácido ascórbico, acidez titulável, sólidos solúveis, coloração, água, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos e fibras para estimar as propriedades físico-químicas da polpa *in natura* e dos pós. As curvas de secagem obtidas indicam claramente que a temperatura tem um efeito significativo sobre o tempo total de secagem. O modelo de Midilli foi selecionado para representar a cinética de secagem nas temperaturas estudadas. Com o aumento da temperatura de secagem, os sólidos solúveis e os carboidratos aumentaram, enquanto os lipídeos e minerais atingiram máximos em temperaturas moderadas, seguido de redução em temperaturas mais altas. As coordenadas de cor (L*, a*, b*, croma e °Hue), ácido ascórbico e acidez titulável diminuíram continuamente, evidenciando sensibilidade térmica. Os resultados indicaram que a temperatura teve impacto significativo em todos os componentes, exceto proteínas. Portanto, conclui-se que a secagem em leito de espuma é viável para obtenção de polpa de tamarindo desidratada com qualidade para consumo.

Palavras-chaves: secagem, *Tamarindus indica* L, qualidade, conservação, vida útil.

ABSTRACT

Fresh fruits and vegetables are commonly consumed due to their availability, easy processing, taste, and beneficial effects on human health. These products are natural sources of antioxidants and other bioactive compounds. Tamarind (*Tamarindus indica* L.) is especially cultivated in tropical countries like Brazil, with notable prominence in the northeastern region. Among the various usable parts, its fruit is the component with the highest commercial demand, comprising about 55% pulp. This research aimed to determine and evaluate the drying kinetics of tamarind pulp in a foam bed at temperatures ranging from 60 to 85°C, and to assess the physicochemical properties after the drying process. The drying kinetics experiment was conducted using a Completely Randomized Design with six treatments (60, 65, 70, 75, 80, and 85°C) in three replications. The mathematical models were adjusted using the Gauss-Newton method. The contents of ascorbic acid, titratable acidity, soluble solids, color, water, ash, proteins, lipids, carbohydrates, and fibers were analyzed to estimate the physicochemical properties of the fresh pulp and powders. The drying curves obtained clearly indicate that temperature has a significant effect on the total drying time. The Midilli model was selected to represent the drying kinetics at the studied temperatures. With the increase in drying temperature, soluble solids and carbohydrates increased, while lipids and minerals reached their maximum at moderate temperatures, followed by a reduction at higher temperatures. The color coordinates (L, a, b*, chroma, and °Hue), ascorbic acid, and titratable acidity continuously decreased, evidencing thermal sensitivity. The results indicated that temperature had a significant impact on all components except proteins. Thus, it is concluded that foam bed drying is viable for obtaining dehydrated tamarind pulp with quality suitable for consumption.

Keywords: drying, *Tamarindus indica* L, quality, conservation, shelf life.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tamarindos adquiridos no CEASA, da cidade de Anápolis, Goiás, Brasil.....	25
Figura 2 – Extração da polpa de tamarindo, na proporção de 1:1,5 (p/v).....	26
Figura 3 – Processo de produção das espumas. (A) polpa + emulsificante (B) polpa + emulsificante, com 5 minutos de agitação e; (C) polpa + emulsificante, com 20 minutos de agitação.....	27
Figura 4 – Razão de Umidade (RX) com valores experimentais nas temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C, para os diferentes experimentos de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo.....	34
Figura 5 – Razão de Umidade com valores experimentais e estimados pelos modelos de Midilli nas temperaturas de 60 (A), 65 (B), 70 (C), 75 (D), 80 (E) e 85°C (F) para os diferentes experimentos de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo.	43
Figura 6 - Relação entre a temperatura e luminosidade (L*) (A), a* (B), b* (C), ângulo Hue (°Hue) (D) e Cromo (E) com ajuste de regressão linear.....	45
Figura 7 - Polpas de tamarindo secas em leito de espuma nas temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C, da esquerda para direita.	46
Figura 8 - Relação entre a temperatura dos sólidos solúveis (A), da água (B), dos carboidratos (C), do extrato etéreo (D), das cinzas (E), da fibra alimentar total (F), da acidez titulável (G) e do ácido ascórbico (H) com ajuste de regressão linear.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para ajustes da cinética de secagem.	30
Tabela 2 – Valores médios e desvios padrão do teor de água das espumas de tamarindo e o tempo de secagem nas temperaturas estudadas	35
Tabela 3 - Parâmetros estimados dos modelos matemáticos nas temperaturas 60 e 65°C.	38
Tabela 4 - Parâmetros estimados dos modelos matemáticos nas temperaturas 70 e 75°C.	39
Tabela 5 - Parâmetros estimados dos modelos matemáticos nas temperaturas 80 e 85°C.	40
Tabela 6 - Valores médios \pm desvio padrão da luminosidade (L^*), a^* , b^* , ângulo Hue ($^\circ$ Hue) e Croma da polpa <i>in natura</i> e das polpas de tamarindo secas em leite de espuma.....	44
Tabela 7 - Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis L^* , a^* , b^* , Ângulo Hue e Croma em função da temperatura de secagem em leite de espuma da polpa de tamarindo.	44
Tabela 8 - Teor médio e desvios padrão do teor de água (U), de sólidos solúveis (SS), dos carboidratos (CHO), das proteínas (PTN), do extrato etéreo (LIP), das cinzas (MIN), da fibra alimentar total (FAT), da acidez titulável (AT) e do ácido ascórbico (AA) da polpa <i>in natura</i> e das polpas de tamarindo secas em leite de espuma.....	49
Tabela 9 - Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis químicas em função da temperatura das polpas de tamarindo secas em leite de espuma.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Secagem de alimentos	14
3.2 Secagem em leito de espuma.....	16
3.3 Tamarindo	17
3.4 Parâmetros de secagem em leito de espuma e o impacto nas propriedades físico-químicas de alimentos.....	20
3.5 Cinética de Secagem e Modelagem Matemática.....	22
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Matéria prima	25
4.2 Produção da espuma de tamarindo	26
4.3 Cinética de secagem	27
4.4 Modelagem matemática.....	28
4.5 Propriedades físico-químicas da polpa <i>in natura</i> e do pó de tamarindo	28
4.5.1 Sólidos Solúveis	28
4.5.2 Teor de Água.....	28
4.5.3 Cor	29
4.5.4 Proteínas	29
4.5.5 Extrato etéreo.....	29
4.5.6 Cinzas	31
4.5.6 Fibra Alimentar Total.....	31
4.5.8 Carboidratos	31
4.5.9 Acidez titulável total.....	31
4.5.10 Ácido Ascórbico	31
4.6 Análise estatística	32
4.6.1 Estatística da modelagem da cinética de secagem.....	32
4.6.2 Estatística dos parâmetros físico-químicos.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O tamarindo (*Tamarindus indica* L.) é um fruto originário da Índia e da África que se adaptou bem no Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. Sua polpa macia e espessa, de cor amarronzada, possui um sabor ácido e adocicado. O tamarindo é rico em fibras solúveis, açúcares, ácido tartárico, cítrico e málico, além de compostos fenólicos com potencial antioxidante (AMARAL *et al.*, 2022; AZAD, 2018; BOWE; HAQ, 2010).

O comércio e a industrialização de frutas são práticas comuns globalmente. De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutos, com uma produção anual de 41 milhões de toneladas. Vinte e um frutos produzidos no território nacional geraram R\$ 76,1 bilhões em valor de produção, representando um aumento de 16,7% em relação ao ano anterior. Seja por meio de atividades extrativistas ou cultivo em grandes pomares, as frutas são apreciadas de diversas formas.

Diante das crescentes demandas por novos alimentos com alto valor nutricional e funcional, o tamarindo se apresenta como um fruto que deve ser amplamente explorado. Além disso, com o aumento dos custos dos alimentos convencionais e a oferta muitas vezes insuficiente, o tamarindo desponta como uma alternativa viável, devido a sua rica composição nutricional, propriedades funcionais e adaptabilidade às regiões brasileiras (AMARAL *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2020). Seu potencial para a produção de uma variedade de produtos industriais, como polpa em pó e concentrado de suco, o coloca em uma posição estratégica no mercado (AZAD, 2018; VIEIRA *et al.*, 2011). Investir na exploração desse fruto pode não apenas diversificar a oferta de alimentos, mas, também, agregar valor à produção agrícola nacional.

Nesse contexto, os sistemas agroflorestais desempenham um papel fundamental na sustentabilidade ambiental, econômica e social, especialmente em pequenas propriedades rurais. Em Goiás, a inclusão do tamarindo nesses sistemas representa uma alternativa viável para diversificação da produção e aumento da renda familiar, uma vez que seus frutos possuem alta demanda no mercado local, seja para consumo *in natura* ou para a produção de polpas e derivadas. Além disso, o tamarindo contribui para a conservação do solo e da biodiversidade, promovendo a circulação de nutrientes e suavização da necessidade de insumos químicos (CAMARGOS; MOURA; MIRANDA, 2013).

Compreender a composição de uma matriz alimentar, é essencial para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de processamento mais adequadas. Isso permite melhorar a estabilidade do alimento durante o armazenamento, o transporte e a comercialização.

A secagem, em especial, é uma técnica importante nesse processo, com o objetivo de reduzir a atividade de água, que inibe diversas reações indesejáveis (FELLOWS, 2022; FENNEMA, DAMODARAN, PARKIN, 2017).

A secagem por leito de espuma é um processo no qual alimentos líquidos e semilíquidos sensíveis ao calor, são transformados em espuma estáveis, por incorporação de ar ou outros gases e, então, desidratados (ÇALIŞKAN KOÇ *et al.*, 2022; FELLOWS, 2022; MOUNIR, 2018). Ao longo dos anos, a técnica de secagem em leito de espuma tem sido usada em uma variedade de sucos e concentrados de frutos, extratos de sementes como, extratos de café, cacau e soja, além de outros alimentos de origem animal (AZIZPOUR, MOHEBBI, KHODAPARAST, 2016; FELLOWS, 2022; MACIEL *et al.*, 2022; MOHAMED *et al.*, 2022; MOUNIR, 2018; OMIDI *et al.*, 2024; QADRI, OSAMA, SRIVASTAVA, 2020; SHAMEENA BEEGUM *et al.*, 2022).

Osama *et al.* (2022) utilizaram a secagem em leito de espuma (50, 60 e 70°C) para produzir o pó do fruto kadam (*Neolamarkia cadamba*) e observaram que o processo de secagem ocorreu no período de taxa decrescente, sendo a difusão o mecanismo governante do movimento interno de água. Constatou-se que esse método de secagem é uma boa alternativa, pois, além de reduzir o tempo de secagem, diminui a exposição ao calor e, conseqüentemente, a degradação de compostos sensíveis ao calor presentes nos alimentos, evitando alterações nas propriedades físicas dos produtos.

Os pós resultantes da secagem em leito de espuma são facilmente reconstituídos e mais econômicos em comparação com a secagem por pulverização, o que favorece sua aplicação em produtos como pães, sorvetes, salgadinhos, bebidas, pastas e alimentos instantâneos (DIÓGENES *et al.*, 2022; FELLOWS, 2022; MOUNIR, 2018; SHAMEENA BEEGUM *et al.*, 2022).

Considerando as tendências atuais por alimentos nutritivos e de rápido preparo, a desidratação de polpa de frutas para utilização em bebidas instantâneas desponta como uma interessante alternativa, com grande potencial econômico, substituindo similares artificiais existentes no mercado. No entanto, pouca informação está disponível sobre o uso das técnicas de leito de espuma na desidratação de polpa de tamarindo como método de conservação, bem como sobre o impacto desses processos na composição química da polpa. Portanto, este trabalho objetivou avaliar a cinética de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo e investigar os efeitos desse processo sobre a composição química da polpa seca.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar a cinética de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo em diferentes temperaturas e avaliar o efeito da temperatura de secagem nas características físico-químicas da polpa seca.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a secagem da polpa de tamarindo em leito de espuma;
- Avaliar a cinética de secagem nas temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C;
- Caracterizar as propriedades físico-químicas da polpa de tamarindo *in natura* e em pó submetida à secagem em leito de espuma nas temperaturas 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C;
- Avaliar o efeito da temperatura de secagem sobre a composição físico-química dos pós da polpa do tamarindo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Secagem de alimentos

A água é um dos principais componentes das matrizes alimentares, participando de reações bioquímicas com impacto significativo sobre as propriedades dos alimentos. No contexto industrial, a água é um fator relevante na escolha de métodos de conservação, influenciando diretamente a durabilidade e características geral dos alimentos (BELITZ, GROSCH, SCHIEBERLE, 2009; FENNEMA, DAMODARAN, PARKIN, 2017; KUHN, TORALLES, 2013).

O teor de água nos alimentos é crucial para o controle da deterioração e das propriedades sensoriais, e pode ser encontrado em duas formas: livre e ligada, ambas influenciando a qualidade dos alimentos. A água disponível para atividades microbiológicas, enzimáticas e químicas determina a vida útil dos alimentos, e esse parâmetro é chamado de atividade de água (Aa). A Aa mede a interação da água livre, que desencadeia inúmeras reações (DEMAN *et al.*, 2018; FELLOWS, 2022). Já a água ligada está fortemente associada a macromoléculas, como proteínas e polissacarídeos, sendo retida por forças intermoleculares, o que a torna indisponível para essas reações (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 2020).

Alimentos com alta Aa são mais suscetíveis à deterioração, enquanto uma Aa baixa reduz essas reações e prolonga a conservação. Outros fatores como temperatura, pH, oxigênio e dióxido de carbono também influenciam a preservação durante o armazenamento (FELLOWS, 2022).

O tratamento térmico é um dos métodos mais importantes no processamento de alimentos, não só pelos seus efeitos desejáveis na qualidade, mas, também, pela sua eficácia na conservação. Nesse contexto, a secagem ou desidratação é uma das técnicas mais antigas e amplamente utilizadas. Trata-se de uma operação que remove a água dos alimentos por meio de calor, reduzindo a Aa e contribuindo para a durabilidade. Dessa forma, garante-se a manutenção da qualidade e segurança dos alimentos ao longo do tempo (ÇALIŞKAN KOÇ *et al.*, 2022; FELLOWS, 2022).

Além de aumentar a vida útil, a secagem concentra os componentes naturais dos alimentos, reduzindo o teor de água e aumentando a concentração de solutos (DEHNAD, JAFARI, AFRASIABI, 2016). Isso facilita o armazenamento, transporte e comercialização, já que os alimentos secos são mais leves, compactos e, muitas vezes, podem ser transformados

em pó, preservando suas qualidades por longos períodos (CELESTINO, 2010; MARTINS *et al.*, 2020; WU *et al.*, 2023).

Dentre as vantagens da secagem está o fato de ser um processo econômico, geralmente de baixo custo, não requerendo mão de obra especializada na maioria dos métodos. Além disso, os alimentos secos demandam menos custos de armazenamento, tornando a secagem prática tanto para o manuseio, quanto para o consumo (CELESTINO, 2010; FELLOWS, 2022; SINGH, HELDMAN, 2014).

Muitos alimentos desidratados, tanto de origem vegetal quanto animal, são de grande importância comercial como, café, leite em pó, frutas secas, cereais, chás, nozes, charque e pescados (FELLOWS, 2022; KUHN, TORALLES, 2013). Esses produtos não apenas têm uma longa vida útil, mas também mantêm suas propriedades nutricionais, facilitando a logística de armazenamento e distribuição.

Os processos de secagem podem ser classificados em secagem natural ou ao sol e secagem artificial, de acordo com Celestino (2010). A secagem natural é, a mais antiga técnica de preservação, com registros por volta de 3000-1500 a.C., feita pelos egípcios, para conservar carnes de peixes e aves. Essa técnica foi adotada no Oriente Médio e em outras regiões, ajudando a preservar alimentos em épocas de escassez, além de melhorar a qualidade da alimentação e proporcionar uma dieta mais variada (FELLOWS, 2022).

A secagem natural é amplamente usada, com cerca de 300 milhões de toneladas de frutas e grãos sendo secos anualmente com energia solar (FELLOWS, 2022). No entanto, por depender de condições climáticas, essa técnica não permite controle de temperatura, água ou fluxo de ar, tornando-se um processo lento e com riscos de contaminação (CELESTINO, 2010; HARYANTO *et al.*, 2021; KUHN, TORALLES, 2013; LIM *et al.*, 2012).

Por essa técnica depender das condições climáticas, não é possível controlar a temperatura, água relativa e o fluxo de ar. Consequentemente, por ser um processo lento, e depender das condições climáticas e do tipo de alimento podem ser necessários de 2 a 12 dias para sua secagem. Para evitar a contaminação por poeiras e outras sujidades, é indicado que a região tenha baixo índice de poluição e seja um local cercado e longe de vias (CELESTINO, 2010; DESHMUKH, KHAMBALKAR, KALBANDE, 2018; HARYANTO *et al.*, 2021).

A secagem artificial, por outro lado, evoluiu ao longo dos anos e utiliza calor gerado artificialmente, em condições controladas. A escolha do tipo de secador depende da matéria-prima, das características desejadas e de fatores econômicos. Autores classificam os métodos e equipamentos de secagem em gerações e grupos.

Vega-Mercado, Góngora-Nieto e Barbosa-Cánovas (2001) classificam os secadores em gerações: de primeira geração, secadores de bandeja ou túnel; de segunda, secadores por pulverização e tambor rotativo; de terceira, liofilização e desidratação osmótica; e de quarta, micro-ondas, radiofrequência, fluidização e vácuo.

Por outro lado, Kuhn e Toralles (2013) organizam a classificação em três grupos: conforme o fluxo de carga, contínuo ou descontínuo; a pressão, atmosférica ou a vácuo; e o método de aquecimento, direto ou indireto. Já Singh e Heldman (2014) sugerem uma classificação baseada no mecanismo de transferência de calor e massa, secadores de bandeja ou cabine, túnel, liofilizadores, leito fluidizado, secadores por pulverização e secagem em leito de espuma.

3.2 Secagem em leito de espuma

De acordo com a pesquisa de Mounir (2023), a primeira patente de um método de secagem em espuma foi registrada em 1917, para o leite evaporado. Posteriormente, patentes relacionadas à secagem em espuma de clara de ovo foram concedidas em 1939 e 1940. Em 1961, Morgan *et al.* (1959) descreveram o método em detalhes. Já a pesquisa de Çalişkan Koç *et al.* (2022) afirma que a técnica de secagem em leito de espuma – nomeada, pelos autores, de esteira de espuma - foi desenvolvida pelo *Western Regional Research Laboratory*, EUA, durante o ano de 1959. Desde então, este método de secagem tem ganhado destaque, por ser uma técnica amplamente aplicada para a obtenção de pós, especialmente de alimentos líquidos e semilíquidos sensíveis ao calor, promovendo, assim, uma desidratação acelerada.

Na literatura, há muitos estudos em que alimentos, como carne de sargo japonês (*Nemipterus japonicus*) (MOHAMED *et al.*, 2022) e camarão (AZIZPOUR, MOHEBBI, KHODAPARAST, 2016) foram secos por secagem em esteira de espuma, bem como muitos sucos, purês ou polpas de frutas e vegetais, como mamão (QADRI, OSAMA, SRIVASTAVA, 2020), café instantâneo (LOPES *et al.*, 2024; MACIEL *et al.*, 2022), polpa de cumbeba (*Tacinga inamoena*) (DIÓGENES *et al.*, 2022), leite de coco (SHAMEENA BEEGUM *et al.*, 2022) e beterraba (OMIDI *et al.*, 2024).

Neste método de secagem, os alimentos são transformados em espumas, podendo utilizar agentes espumantes e estabilizantes, com a incorporação de ar ou nitrogênio pelo processo de aeração, para, depois, ser disposta em esteiras ou bandejas de secagem, com

espessura de 2 a 3 mm, e seca por meio da aplicação de fluxos de ar (FELLOWS, 2022; MOUNIR, 2018; VEGA-MERCADO, GÓNGORA-NIETO, BARBOSA-CÁNOVAS, 2001).

De acordo com Fellows (2022) e Çalişkan Koç *et al.* (2022), a secagem em leito de espuma é um processo rápido, que possui boa propriedade de reidratação e resulta em alimentos secos de alta qualidade nutricional e sensorial. Esse método é indicado para alimentos líquidos, semilíquidos e pastosos, especialmente aqueles sensíveis ao calor, viscosos ou com alta concentração de açúcar, devido à secagem rápida em baixas temperaturas.

Uma das principais diferenças entre a secagem em leito de espuma e outros métodos é que, no primeiro, a estrutura física do alimento é alterada pela quebra das paredes celulares e pela incorporação de ar ou gás. Em outros métodos, a estrutura do alimento permanece intacta antes da secagem, exceto em casos de pré-tratamentos (MOUNIR, 2018).

Apesar das vantagens, a secagem em leito de espuma apresenta algumas desvantagens, principalmente devido à grande área de superfície necessária, o que eleva o custo inicial da planta. A estabilidade da espuma durante o processo é crucial para a eficiência da desidratação. No entanto, a incorporação de aditivos estabilizantes ajuda na estabilidade, porém podem afetar nas características sensoriais do alimento (FELLOWS, 2022; MOUNIR, 2018).

A secagem em leito de espuma pode ser realizada com a combinação dos outros métodos de secagem, como secagem por ar quente, secagem por micro-ondas e liofilização (ÇALIŞKAN KOÇ *et al.*, 2022). Dessa forma, apesar de suas limitações, a secagem em leito de espuma destaca-se como uma técnica eficaz e versátil, especialmente quando combinada com outros métodos de secagem. Além disso, a flexibilidade da técnica facilita sua aplicação em diversos tipos de alimentos, tornando-a uma opção viável para a indústria alimentícia. Com a evolução contínua da tecnologia e a adaptação de novas abordagens, a secagem em leito de espuma tem o potencial de se tornar ainda mais eficiente e amplamente utilizada.

3.3 Tamarindo

O tamarindo (*Tamarindus indica* L.) é o fruto do tamarindeiro, uma árvore frutífera da classe *Dicotyledoneae* e da família *Fabaceae* (*Leguminosae*), originária da África e Índia. Essa árvore, de crescimento lento pode alcançar de 20 a 30 metros de altura, com uma copa densa, e viver até 200 anos (AZAD, 2018; YAHIA, SALIH, 2011).

No Brasil, o tamarindeiro está bem adaptado em vários estados, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e no cerrado (HAMACEK *et al.*, 2013). Por ser uma árvore frutífera

que oferece diversos serviços ambientais, pode ser cultivada em terras marginais e é tolerante à seca, sendo considerada adequada para sistemas agrícolas multifuncionais de sequeiro. Além disso, é vista como uma cultura ideal para pequenos agricultores em regiões tropicais e subtropicais (BOWE, HAQ, 2010).

A polpa do fruto, é importante para a segurança alimentar e a subsistência de populações rurais. No entanto, as folhas, flores e cascas também possuem múltiplos usos nutricionais, industriais e medicinais (BHADORIYA *et al.*, 2011; BOWE, HAQ, 2010). Apesar de sua importância, o tamarindo recebe pouca atenção em pesquisas e ainda não é um grande contribuinte nos mercados globais. Outro obstáculo para o uso do fruto é sua disponibilidade em determinadas estações do ano e a perecibilidade do fruto *in natura*, o que torna sua conservação e armazenamento desafiadores.

Na África, a polpa, folhas e cascas do tamarindeiro são usadas na medicina tradicional para diversos fins, incluindo laxante, tratamento de feridas, dores abdominais, infecções por helmintos, febre, malária, além de ser considerado afrodisíaco e útil para problemas respiratórios. Essas aplicações se devem à presença de compostos fitoquímicos com propriedades antioxidantes. As folhas também são utilizadas como forragem, e a madeira dura do tamarindeiro serve para fabricar ferramentas agrícolas e utensílios de cozinha (CHIMSAH, NYARKO, ABUBAKARI, 2020; HAVINGA *et al.*, 2010).

A polpa do tamarindo pode ser consumida fresca ou usada na produção de molhos, condimentos, sucos, iogurtes, sorvetes, geleias e doces. As sementes são fontes de polissacarídeos, e sua farinha é recomendada como estabilizante em sorvetes, maioneses e queijos, além de ser utilizada em bolos e pães (AMARAL *et al.*, 2022).

O fruto do tamarindeiro tem a forma de uma vagem com extremidades arredondadas, podendo variar de 2,5 a 17,5cm de comprimento, com 1 a 12 sementes e pesando entre 10 e 15g. A casca é pardo-escura, lenhosa e frágil, envolvendo uma polpa macia e espessa de cor marrom ou marrom-avermelhada, com sabor que varia entre ácido e doce, dependendo da estação de cultivo. Em média, o fruto é composto por 11 a 30% de casca e fibras, 30 a 50% de polpa e 25 a 40% de sementes (AZAD, 2018; YAHIA, SALIH, 2011).

A Índia é o maior produtor mundial de tamarindo, com uma produção anual estimada em 150 mil toneladas (SPICES BOARD INDIA, 2024). Segundo a TBCA, USP e FORC (2023) e USDA (2019), a polpa de tamarindo contém 22-32% de água, 63-73% de carboidratos, 3-3,5% de proteínas, 0,4-0,6% de lipídios e 5-6,5% de fibra alimentar, além de ser rica em cálcio, magnésio, fósforo e potássio. A polpa também é rica em compostos fitoquímicos e fenólicos, essenciais para a saúde humana (VIEIRA *et al.*, 2011). De acordo com Amaral *et al.* (2022) e

Azad (2018), a polpa é rica em fibras solúveis e açúcares, frutose ou açúcar invertido, ácido tartárico, cítrico e málico, os quais contribuem com a conservação dos frutos, além de substâncias aromáticas.

Os compostos fenólicos presentes no tamarindo têm grande potencial antioxidante, tanto *in vitro* quanto *in vivo*, com efeitos benéficos amplamente relatados em modelos que envolvem estresse oxidativo (COSTA *et al.*, 2023; FAGBEMI *et al.*, 2022; SULIMAN *et al.*, 2023; ZHOU *et al.*, 2023). Esses compostos bioativos são capazes de eliminar espécies reativas de oxigênio e, assim, reduzir o dano celular oxidativo (CHRISTOFI *et al.*, 2022; LIU *et al.*, 2021).

Bhadoriya *et al.* (2011) revisaram os constituintes fitoquímicos do tamarindo e concluíram que o fruto é um alimento funcional, contendo todos os aminoácidos essenciais, exceto triptofano. As sementes também têm propriedades nutricionais semelhantes. A análise fitoquímica revelou compostos como catequina, procianidina B2, epicatequina, ácido tartárico, mucilagem, pectina, arabinose, xilose, galactose, glicose, ácido urônico e triterpenos (FAGBEMI *et al.*, 2022).

Para garantir a comercialização do tamarindo durante todo o ano e preservar sua qualidade nutricional, as indústrias alimentícias utilizam métodos de conservação, como congelamento, adição de solutos e secagem.

Silva *et al.* (2008) estudaram a cinética de secagem da polpa de tamarindo em leito de espuma e observaram que o processo ocorreu apenas na fase de taxa decrescente, diminuindo que a difusão foi o principal mecanismo de remoção da água. A ausência de um período de taxa constante pode estar relacionada à forma como a água está presente na amostra: além da água livre na superfície, parte dela pode estar retida em células ou dissolvida em açúcares e outras moléculas, reduzindo sua pressão de vapor em comparação com a água pura. Esse comportamento também foi observado em outros estudos sobre secagem em leito de espuma.

Muzaffar e Kumar (2017) secaram a polpa de tamarindo com isolado de proteína de soja, utilizando o *spray drying*, e observaram o aumento significativo do rendimento e da solubilidade, proporcional ao aumento da concentração do isolado e da temperatura de secagem. Rajkumar *et al.* (2022) desenvolveram um secador de esteira e otimizaram a secagem da polpa de tamarindo, avaliando a temperatura, taxa de alimentação e fluxo de ar e observaram que o tratamento que obteve melhores resultados de eficiência e retenção da cor foi a 60°C com a taxa de alimentação a 5kg .h⁻¹ e taxa de fluxo de velocidade do ar a 1,5m .s⁻¹.

3.4 Parâmetros de secagem em leito de espuma e o impacto nas propriedades físico-químicas de alimentos

Quando se fala de secagem em leito de espuma, a temperatura e a velocidade do ar, bem como a espessura da camada de espuma e a concentração dos agentes espumantes, desempenham um papel crucial nesse processo térmico (DIÓGENES *et al.*, 2022). Temperaturas mais altas aceleram a secagem, pois aumentam a energia cinética das moléculas de água no material, facilitando a conversão da água líquida em vapor. Esse aumento de calor acelera a remoção de água e suaviza o tempo necessário para o processo de secagem, o que pode ser benéfico em termos de produtividade. Essa eficiência na evaporação resulta em menor tempo de processamento, tornando o método mais rápido e eficaz para aplicações industriais (DELFIYA *et al.*, 2022). No entanto, é necessário equilibrar essa vantagem com possíveis impactos negativos na qualidade do produto, como a manipulação de nutrientes e alterações na textura e aparência.

Temperaturas mais altas podem causar alterações nos componentes dos alimentos e influenciar as interações entre eles. O uso de calor durante o processamento pode oferecer benefícios, como a eliminação de microrganismos patogênicos e a inativação de enzimas que comprometem a qualidade dos alimentos. Entretanto, o aquecimento também pode levar a efeitos negativos, como a redução de nutrientes importantes. A extensão dessas mudanças depende do método de cocção empregado e do tipo específico de alimento envolvido (SUCUPIRA, XEREZ, SOUSA, 2012). As principais consequências negativas das altas temperaturas nos alimentos incluem a redução de nutrientes, especialmente vitaminas sensíveis ao calor, a alteração no sabor e aroma, a oxidação de pigmentos naturais, levando a mudanças de cor, e a modificação da textura (CORREIA, FARAONI, PINHEIRO-SANT'ANA, 2008).

Souza *et al.* (2021) realizaram uma caracterização físico-química da polpa de umbu *in natura* e do pó obtido pela secagem em leito de espuma. O estudo revelou que o pH não apresentou variações significativas após o processo de secagem. No entanto, foi observado um aumento na concentração de ácido ascórbico (Vitamina C) no pó, quando comparado ao fruto *in natura*, demonstrando que o processo de secagem em camada de espuma pode preservar ou até concentrar alguns nutrientes. Ferreira (2017) observou o aumento na acidez da polpa após a secagem da polpa de jabuticaba. Gurgel (2019) produziu pó de banana verde e madura por meio da secagem em leito de espuma e identificou uma alta concentração de sólidos solúveis (°Brix). A pesquisa também mostrou que os maiores valores de acidez titulável foram encontrados a 60°C para a banana madura (2,11% de ácido málico) e a 70°C para a banana

verde (0,96% de ácido málico), demonstrando aumento na acidez total titulável nessas condições específicas de secagem.

Temperaturas de secagem mais amenas ajudam a preservar as propriedades sensíveis ao calor dos produtos alimentícios, mas frequentemente resultam em uma taxa de secagem mais lenta, o que pode aumentar tanto o tempo de secagem quanto o consumo de energia (JANGAM, 2020). Essa relação entre temperatura de secagem e uso de energia é comum em processos como os de secagem em leito de espuma, em que temperaturas mais baixas retardam a evaporação da água. O aumento no tempo de secagem leva a custos operacionais mais altos devido à maior energia necessária para a operação prolongada (BETORET *et al.*, 2016). Por isso, embora métodos de secagem suaves sejam preferidos para manter a qualidade do produto, eles são menos eficientes em termos de energia em comparação aos métodos de temperatura mais alta.

A velocidade do ar desempenha um papel importante no processo de secagem, pois influencia diretamente a remoção de água da espuma, garantindo maior uniformidade na hidratação e redução do tempo total do processo (GANTNER, KOSTYRA, 2023). A circulação do ar em torno do material em secagem, combinada com uma velocidade adequada, melhora a eficiência do processo, impactando tanto o tempo de secagem quanto a uniformidade do produto (INYANG, OBOH, ETUK, 2018). Por isso, é fundamental controlar de maneira precisa a velocidade do ar, ajustando-a conforme necessário para alcançar o equilíbrio ideal entre a proteção eficiente da água e a manutenção das propriedades físicas da espuma e do produto ,(MAROULIS, KIRANOUDIS, MARINOS-KOURIS, 1995).

Controlar a espessura da espuma contribui para melhorar a taxa de desidratação, preservando as propriedades físicas e nutricionais do produto, sendo um fator crítico para a eficiência do processo de secagem em leito de espuma. O ideal é que seja utilizada uma espessura menor, para reduzir a distância que a água precisa percorrer até a superfície e, assim facilitar a evaporação e promover maior uniformidade na secagem (MANGUEIRA *et al.*, 2021). Camadas mais espessas podem prolongar o tempo de secagem, uma vez que a água na parte interna da espuma demora mais para ser removida, além de gerar secagem desigual, onde a superfície seca mais rapidamente que o interior (THUY *et al.*, 2022).

Os agentes espumantes desempenham um papel crítico na formação e estabilidade da espuma, e a concentração adequada desses agentes garanti que a espuma forme uma película forte o suficiente para suportar que a maior parte da água seja removida sem colapsar (ARAÚJO *et al.*, 2017). Além disso, contribuem para aumentar a área de superfície exposta com o aumento da capacidade de expansão do material, criando uma rede tridimensional que sustenta bolhas

de ar (SANGAMITHRA *et al.*, 2015). Isso facilita a remoção da água durante o processo de secagem, permitindo que o material perca água de forma mais eficiente e rápida (BAG, SRIVASTAV, MISHRA, 2011).

3.5 Cinética de Secagem e Modelagem Matemática

O processo de secagem em leito de espuma pode ser dividido em três estágios principais. No primeiro estágio, ocorre o início do processo, com um aumento gradual na temperatura do produto e na pressão do vapor de água. Esse aumento prossegue até que uma quantidade de calor limitada se iguale à transferência de massa (RATTI, 2001). No segundo estágio, conhecido como o período de taxa constante de secagem, as transferências de calor e massa permanecem equilibradas. Durante essa fase, enquanto houver uma quantidade suficiente de água na superfície do produto para sustentar a evaporação, uma taxa de permanência permanece constante. No terceiro e último estágio, a taxa de secagem começa a diminuir à medida em que a quantidade de água na superfície do produto é reduzida, resultando em uma menor transferência de massa. O processo de secagem é encerrado quando o produto atinge o ponto de água de equilíbrio em relação ao ar (VARZAKAS, TZIA, 2016).

Para estimar o tempo necessário para a remoção da água de um produto, os modelos matemáticos são ferramentas valiosas. Eles auxiliam na tomada de decisões e no aprimoramento da eficiência do processo (RADÜNZ *et al.*, 2011). É essencial ajustar esses modelos aos dados experimentais de secagem, especialmente para diferentes espécies vegetais, como plantas medicinais, aromáticas e condimentares, a fim de identificar o modelo mais adequado para cada espécie, garantindo a eficácia do processo de secagem (RESENDE *et al.*, 2011). As curvas de secagem podem variar significativamente dependendo da espécie, variedade, condições ambientais e métodos de preparo pós-colheita. Por isso, determinar o efeito da temperatura no produto e desenvolver um modelo de secagem que represente adequadamente os dados experimentais. Isso permite minimizar as alterações indesejadas causadas pelo processo de secagem e preservar a qualidade do produto. Ajustes adequados nos parâmetros de secagem garantem uma desidratação eficiente e a manutenção das propriedades sensoriais e nutricionais do material.

Estudos da cinética de secagem têm despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diferentes produtos como, pimenta e maracujá (SOUSA *et al.*, 2020a), acerola (ARAÚJO *et al.*, 2017), patauí (COSTA SANTOS *et al.*, 2019), dentre outros. Neste processo,

a modelagem matemática é fundamental para descrever o comportamento da remoção de água ao longo do tempo.

A modelagem matemática das curvas de secagem permite determinar índices físicos e termodinâmicos relacionados à transferência de calor e massa, como o coeficiente de difusão. Esses índices físicos possibilitam a comparação da taxa de secagem de produtos com diferentes características, como tamanho e textura (BOTELHO *et al.*, 2015). Os índices termodinâmicos, por sua vez, expressam como o coeficiente de difusão varia com a temperatura, o que é essencial para avaliar a energia necessária no processo de secagem, estudar a microestrutura dos produtos e projetar equipamentos eficientes para essa finalidade (CORRÊA *et al.*, 2007).

A modelagem matemática desempenha um papel crucial na compreensão e descrição precisa de especificações, facilitando o entendimento por meio de equações que levam em conta os dados mais relevantes (RODRIGUES, 2010). Isso é especialmente importante na representação de processos complexos, como o de análise de produtos, em que modelos matemáticos, tanto empíricos quanto semiempíricos, são amplamente utilizados para descrever o comportamento.

Diversos modelos têm sido ajustados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Dentre eles, estão os modelos de Midilli, de Page, de Logaritmo, de Henderson e Pabis, de Page modificado, de dois termos, de exponencial de dois termos, de Newton, e de Wang e Singh (AKPINAR, 2006; DIAMANTE, MUNRO, 1993; MIDILLI, KUCUK, 2003; MORAIS *et al.*, 2013). Cada um desses modelos possui características próprias para diferentes tipos de materiais e condições de secagem, sendo necessário ajustá-los de acordo com as propriedades do produto a ser desidratado e as condições impostas. A escolha do modelo adequado é fundamental para otimizar o processo de secagem. Isso inclui a determinação do tempo de processamento, da energia necessária e dos parâmetros que garantam a qualidade do produto.

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento do processo de secagem de polpa de tamarindo são relevantes para a simulação e para a obtenção de informações teóricas e práticas a respeito do comportamento do produto durante a secagem em leito de espuma. Para isso, a utilização de modelos matemáticos nas simulações das operações de secagem pode auxiliar de forma promissora na avaliação da otimização de secagem. As potenciais aplicações comerciais da polpa de tamarindo desidratada em leito de espuma, podem ser uma nova oportunidade no mercado de alimentos desidratados, por ser um processo relativamente simples e de baixo custo operacional. O pó de tamarindo pode facilitar sua incorporação em produtos como, bebidas instantâneas, condimentos, suplementos alimentares e até produtos farmacêuticos, preservando

as características sensoriais e nutritivas, aumentando, assim seu valor agregado, além de ser um processo de baixo custo energético e possibilitar, também, o aproveitamento de frutos que estariam sujeitos ao descarte. A polpa de tamarindo desidratada em leite de espuma pode ajudar a minimizar o impacto ambiental do processamento industrial, e o aproveitamento de frutas que estariam sujeitas ao descarte, ponto crucial para o futuro da indústria de alimentos. Essa redução de desperdício poderia minimizar o impacto no preço dos frutos para o consumidor final.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria prima

Os tamarindos Figura 1, foram adquiridos no Centro Estadual de Abastecimento (CEASA), da cidade de Anápolis, Goiás, Brasil. Os frutos foram transportados para o Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais da Universidade Estadual de Goiás, Campus Central - Anápolis, em embalagem plástica de Polietileno de Baixa Densidade e armazenados sob refrigeração ($7 \pm 5^{\circ}\text{C}$) em uma incubadora de Demanda Bioquímica de Oxigênio (B.O.D.), até o processamento. Posteriormente, foram selecionados, manualmente, eliminando os frutos com danos nas cascas, com doenças e verdes. Os frutos foram sanitizados com solução de hipoclorito de sódio (100 mg L^{-1}), por 15 minutos. Após a sanitização, os frutos foram enxaguados e encaminhados para a extração da polpa.

Figura 1 – Tamarindos adquiridos no CEASA, da cidade de Anápolis, Goiás, Brasil



Fonte: Autoria própria.

Na extração da polpa de tamarindo, Figura 2, os frutos foram descascados e imersos em água filtrada, na proporção de 1:1,5 (p/v) (1 kg de fruto para 1,5 L de água), por duas horas para hidratação em temperatura ambiente ($23,17 \pm 1,66^{\circ}\text{C}$). Após a hidratação, os frutos foram despulpados manualmente, utilizando-se peneira de aço inoxidável comum, visando a separar a polpa da semente.

Figura 2 – Extração da polpa de tamarindo, na proporção de 1:1,5 (p/v).



Fonte: Autoria própria.

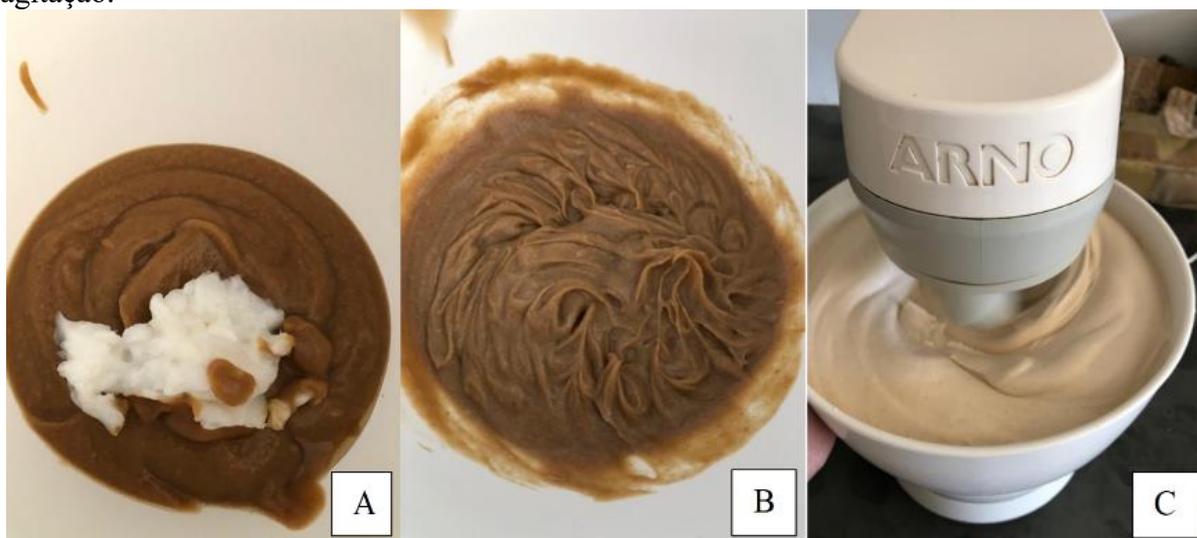
4.2 Produção da espuma de tamarindo

O agente espumante utilizado foi o emulsificante comercial Emustab® (Selecta), adquirido no comércio local, da cidade de Anápolis/GO.

A espuma, Figura 3, foi preparada com a agitação de uma batedeira planetária (Arno, SX80/82, Brasil). Testes preliminares (não apresentados) utilizando Emustab®, foram realizados para a produção de uma espuma densa e persistente, e o melhor resultado obtido foi na concentração de 8% (m/m) (ARAÚJO *et al.*, 2017), juntamente com a polpa do tamarindo, batidos por 20 minutos na batedeira planetária até incorporarem ar suficiente e atingir uma

espuma estável, conforme mostrado na Figura 3. Durante os cinco primeiros minutos, foi mantido a velocidade mínima da bateadeira, e, os 15 minutos seguintes com a velocidade máxima (VIMERCATI et al., 2019).

Figura 3 – Processo de produção das espumas. (A) polpa + emulsificante (B) polpa + emulsificante, com 5 minutos de agitação e; (C) polpa + emulsificante, com 20 minutos de agitação.



Fonte: Autoria própria.

4.3 Cinética de secagem

Para o estudo da cinética de secagem, a espuma obtida foi colocada em placas de Petri com 3mm de espessura, sendo registrada a massa inicial do conjunto (placa de Petri + amostra). As amostras foram secas em estufa (Marconi/MA035/5, Brasil) com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C, no Delineamento Inteiramente Casualizado com seis tratamentos em três repetições. A determinação da massa do produto foi realizada em balança analítica (Marte®/AL500), a cada 5 minutos, durante os primeiros 60 minutos, e após, a cada 10 minutos, até que atingissem massa constante. O tempo de secagem foi padronizado para todas as repetições. Os dados coletados foram utilizados para a estimativa da razão de umidade (RX), conforme Equação 1.

$$RX = \frac{x - x_e}{x_i - x_e} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que, RX é a razão de umidade do produto (adimensional), x é teor de água do produto em determinado tempo (b.s.), x_i é teor de água inicial do produto (b.s.) e x_e é teor de água equilíbrio do produto (b.s.).

O material seco foi armazenado em recipientes de vidro, contendo sachês de sílica gel. As tampas de plástico, sem fechamento hermético, foram vedadas com cera de vela para impedir a entrada de ar ambiente. Os recipientes com o produto foram mantidos à temperatura ambiente ($23,17 \pm 1,66^\circ\text{C}$) até serem submetidos às análises físico-químicas.

4.4 Modelagem matemática

Na avaliação do comportamento da perda de água ao longo do tempo, foram utilizados modelos empíricos e semiempíricos, mostrados na Tabela 1.

4.5 Propriedades físico-químicas da polpa *in natura* e do pó de tamarindo

As propriedades físico-químicas da polpa e da espuma foram analisadas no Centro de Pesquisa em Alimentos, da Universidade Federal de Goiás e no Laboratório de Pós-Colheita da Universidade Estadual de Goiás. Os reagentes utilizados nas análises de caracterização da polpa de tamarindo, *in natura* e do pó, são de grau analítico e fornecidos pela Universidade Estadual de Goiás e pela Universidade Federal de Goiás.

4.5.1 Sólidos Solúveis

Os teores de sólidos solúveis foram determinados por leitura refratométrica, com refratômetro digital portátil (Reichert, Brix/RI-Chek, Estados Unidos), conforme descrito pela AOAC (2016) e expresso em $^\circ\text{Brix}$ a 25°C .

4.5.2 Teor de água

O teor de água inicial da espuma de tamarindo foi determinado conforme a AOAC (2016), utilizando estufa com circulação de ar, a 105°C até atingir massa constante. O teor de água das amostras foi estimado utilizando a Equação 13.

$$U (\%) = \left(\frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 13})$$

Em que: m_s é a massa seca (kg), m_u é a massa úmida (kg) e U é o teor de água, em% b.s.

4.5.3 Cor

Os parâmetros instrumentais de cor foram obtidos por refletância, com o colorímetro (Konica Minolta, CR-400), com escala CIE L*, a* e b*. A partir dos valores obtidos, foram calculados o Croma e o ângulo Hue. A coordenada L* indica quão escuro (0) e quão claro (100) é o produto; a coordenada a* está relacionada à intensidade de verde (-a) a vermelho (+a); e a coordenada b* está relacionada à intensidade de azul (-b) a amarelo (+b). O Croma indica a saturação ou intensidade da cor (0 a 60), enquanto o ângulo Hue (°Hue) é o ângulo formado entre as coordenadas a* e b*, com o qual se obtém a cor real da amostra (0 a 360°).

4.5.4 Proteínas

O teor de proteínas foi determinado por meio do método de Kjeldal, e o teor de nitrogênio multiplicado pelo fator 6,25, resultando no teor de proteína bruta (AOAC, 2016).

4.5.5 Extrato etéreo

O extrato etéreo foi determinado por meio do método de extração a quente em extrator tipo Soxhlet, com éter de petróleo P.A (AOAC, 2016).

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para ajustes da cinética de secagem.

Modelo	Equação	Referência
Aproximação da difusão	$RX = a * \exp(-k * t) + (1 - a) * \exp(-k * b * t)$	(Equação 2) (KASSEM, 1998)
Dois termos	$RX = a * \exp(-k_0 * t) + b * \exp(-k_1 * t)$	(Equação 3) (HENDERSON, 1974)
Exponencial de dois termos	$RX = a * \exp(-k * t) + (1 - a) * \exp(-k * a * t)$	(Equação 4) (SHARAF-ELDEEN, BLAISDELL, HAMDY, 1980)
Henderson e Pabis	$RX = a * \exp(-k * t)$	(Equação 5) (HENDERSON; PABIS, 1961)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a * \exp(-k * t) + b * \exp(-k_0 * t) + c * \exp(-k_1 * t)$	(Equação 6) (KARATHANOS, 1999)
Logaritmo	$RX = a * \exp(-k * t) + c$	(Equação 7) (YAGCIOGLU, DEGIRMENCIOGLU; CAGATAY, 1999)
Midilli	$RX = a * \exp(-k * t^n) + b * t$	(Equação 8) (MIDILLI, KUCUK, YAPAR, 2002)
Newton	$RX = \exp(-k * t)$	(Equação 9) (LEWIS, 1921)
Page	$RX = \exp(-k * t^n)$	(Equação 10) (PAGE, 1949)
Thompson	$RX = \exp((-a - (a^2 + 4 * b * t)^{0,5}) / 2 * b)$	(Equação 11) (THOMPSON, PEART; FOSTER, 1968)
Wang e Singh	$RX = 1 + a * t + b * t^2$	(Equação 12) (WANG, SINGH, 1978)

*RX: razão de umidade (adimensional); t: tempo de secagem (min); k: constante de secagem (min^{-1}); a, b, c e n são os coeficientes dos modelos (adimensionais).

Fonte: Autoria própria.

4.5.6 Cinzas

Na determinação do teor de cinzas, foi utilizado o método gravimétrico, com mufla a 550°C, até a obtenção de massa constante e de cinzas claras (AOAC, 2016).

4.5.6 Fibra Alimentar Total

A determinação do teor de fibra alimentar total, foi realizada pelo método gravimétrico, não-enzimático, de acordo com o método descrito por Li e Cardozo (1992), modificado por Guerra et al. (2004).

4.5.8 Carboidratos

O teor de carboidratos foi estimado pelo método de diferença, subtraindo-se de cem os valores de água, extrato etéreo, proteína, fibra e cinzas (AOAC, 2016).

4.5.9 Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada por titulação com NaOH (0,1 mol L⁻¹). Os resultados serão expressos em porcentagem (%) de ácido tartárico (AOAC, 2016).

4.5.10 Ácido Ascórbico

Para a determinação do teor de ácido ascórbico foi utilizada a metodologia descrita por Benassi e Antunes (1988), por meio de titulação oxidativa, com 2,6-diclorofenolindofenol a 0,02%. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 mg de amostra.

4.6 Análise estatística

4.6.1 Estatística da modelagem da cinética de secagem

Os dados experimentais da cinética de secagem foram analisados no software Statistica® (Statsoft Inc., versão 12.0). Os gráficos foram gerados no software Excel® (Microsoft Office, Professional Plus 2019).

Estimados os valores de R^2 , conforme item 4.3, os modelos matemáticos, item 4.4, foram ajustados por meio de análise de regressão não linear, com o método de Gauss-Newton. A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes estimadores estatísticos: coeficiente de determinação (R^2); diferença de quadrado médio (DQM), Equação 14; e erro médio (SE), Equação 15, em que quanto menor o valor de DQM, melhor será a representação do modelo empregado (CAVALCANTE *et al.*, 2020), e o erro médio (SE).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y-y)^2}{n}} \quad (\text{Equação 14})$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y-y)^2}{GLM}} \quad (\text{Equação 15})$$

Em que, Y é o valor observado experimentalmente, y é o valor estimado pelo modelo, n é o número de dados observados e GLM é o grau de liberdade do modelo.

4.6.2 Estatística dos parâmetros físico-químicos

As análises estatísticas dos dados experimentais dos parâmetros físico-químicos foram submetidas ao software Sisvar v.5.8 (FERREIRA, 2019). Os gráficos foram gerados no software Excel® (Microsoft Office, Professional Plus 2019).

O delineamento experimental adotado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado, considerando a temperatura de secagem como fator único. A influência da temperatura de secagem sob os parâmetros físico-químicos foi avaliada por meio da Análise de Variância (ANOVA) e o teste de F, considerando um nível de significância de 5%. Equações de regressão linear foram ajustadas aos dados experimentais utilizando-se o mesmo software.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A polpa de tamarindo apresentou teor médio de sólidos solúveis de $22 \text{ }^\circ\text{Brix} \pm 1,00$. Os valores encontrados foram superiores aos apresentados por Lima *et al.* (2015) e Santos, Figueiredo Neto e Donzeli (2016), que avaliaram polpas congeladas, e apresentaram valores de 7,25 a 12,58 $^\circ\text{Brix}$ nas polpas de tamarindo comercializadas.

O teor de sólidos solúveis é uma característica de interesse para produtos comercializados *in natura* e polpas, para o processamento industrial, visto que elevados teores na matéria-prima implicam em menor adição de açúcares, menor tempo de evaporação da água, menor gasto de energia e maior rendimento do produto, resultando assim em maior economia no processamento (SILVA *et al.*, 2002). Dessa forma, os resultados deste estudo demonstram que a polpa estudada pode proporcionar maior economia no processamento em comparação com as polpas comerciais descritas na literatura

A Instrução Normativa Nº 37 de 1º de outubro de 2018, emitido pela Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, estabelece os parâmetros analíticos de suco e de polpa de frutas e demais quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade. A polpa de tamarindo deve conter no mínimo 6 $^\circ\text{Brix}$ (MAPA, SDA, 2018).

Garcia-Amezquita *et al.* (2018) produziram a polpa de tamarindo com 36 $^\circ\text{Brix}$, enquanto a polpa produzida por Canuto *et al.* (2010) apresentou 24 $^\circ\text{Brix}$. Muzaffar e Kumar (2015) estudaram os parâmetros de extração da polpa de tamarindo variando concentração de água, tempo e temperatura de hidratação, e concluíram que nas condições otimizadas, obtiveram teor máximo de 8,4 $^\circ\text{Brix}$. A extração foi realizada na proporção de 1:2,5 (p/v) (1kg de fruto:2,5L de água) por 31 min a 38°C. Joshi, Kshirsagar e Sawate (2012) extraíram a polpa de tamarindo na proporção 1:2 (p/v) (1kg de fruto:2L de água), por 10 min a 70°C, e concluíram que a polpa apresentou o teor de 27, 26 e 31 $^\circ\text{Brix}$ para os cultivares Ajanta, Thailand e Local, respectivamente.

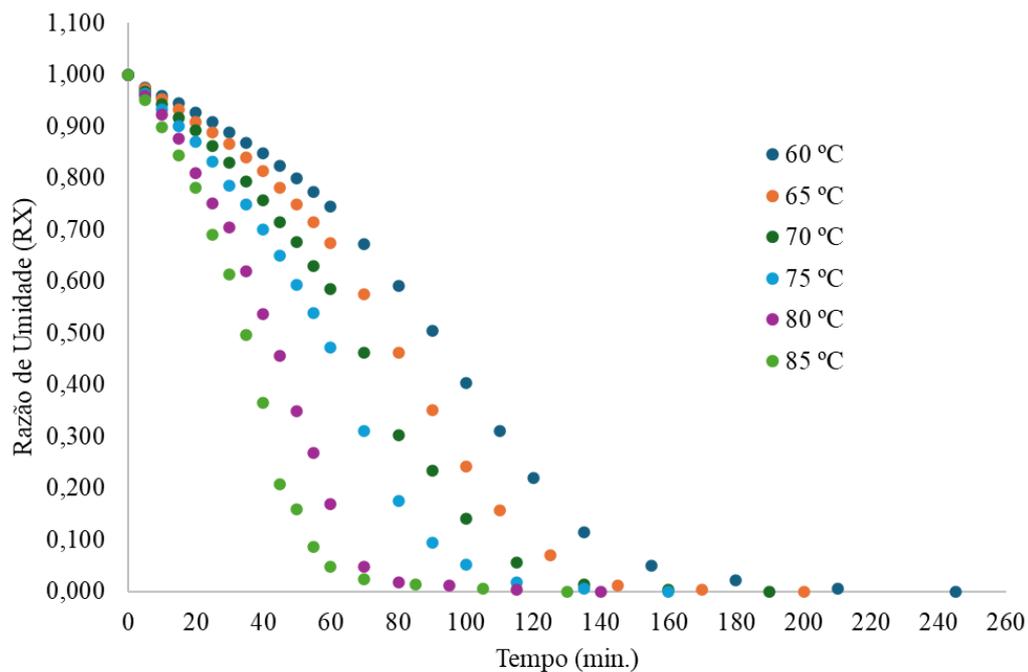
A diferença do teor de sólidos solúveis pode estar relacionada ao clima, à pluviosidade durante o cultivo e à adição de água para a extração da polpa (SANTOS, NETO, DONZELI, 2016), bem como ao tempo de maturação e aos cultivares, uma vez que o teor de sólidos solúveis apresenta correlação com teores de açúcares e ácidos orgânicos (CHITARRA, CHITARRA, 2005). Outros fatores que podem ser levados em consideração são as temperaturas médias elevadas e a alta luminosidade, as quais influenciam a atividade fotossintética das

plantas, podendo aumentar os valores de sólidos solúveis nos frutos (KLUGE, TEZOTTO-ULIANA, SILVA, 2015).

O aumento do teor de sólidos solúveis foi observado por Souza *et al.* (2019), ao secar o mesocarpo do pequi, por Azizpour *et al.* (2013), em secagem de leito de espuma de camarão e por Wanderley *et al.* (2023), ao secar cascas e sementes de romã.

A Figura 4 permite compreender os efeitos cinéticos envolvidos no processo de secagem da espuma de polpa de tamarindo, bem como os diferentes comportamentos apresentados ao longo do tempo.

Figura 4 – Razão de Umidade (RX) com valores experimentais nas temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C, para os diferentes experimentos de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo.



Fonte: Autoria própria.

A secagem é um processo de transferência de massa e calor que depende diretamente da diferença de temperatura entre o material a ser seco e o ar de secagem. À medida em que a temperatura do ar aumenta, a capacidade de transporte de vapor de água do ar também aumenta, permitindo que a secagem ocorra de maneira mais rápida (ERBAY; ICIER, 2010; JOARDDER et al., 2021). Isso é corroborado pelos resultados obtidos, que mostram uma diferença significativa no tempo de secagem entre as diferentes temperaturas estudadas (Tabela 2).

À medida em que as temperaturas aumentaram em 5°C, houve um decréscimo de 18,37% (65°C), 22,45% (70°C), 34,69% (75°C) e 42,86% (80°C) em relação ao tempo de secagem na temperatura de 60°C, conforme a Tabela 2. Este comportamento foi observado por Souza *et al.* (2019) ao secar o mesocarpo do pequi, por Azizpour *et al.* (2013) em secagem de leite de espuma de camarão e por Wanderley *et al.* (2023) ao secar cascas e sementes de romã.

Tabela 2 – Valores médios e desvios padrão do teor de água das espumas de tamarindo e o tempo de secagem nas temperaturas estudadas

Temperatura	Teor de água inicial (% b.u.)	Tempo de secagem (min)	Teor de água final (% b.u.)
60°C	78,21 ± 0,001	245	14,65 ± 0,23
65°C	71,90 ± 0,103	200	13,97 ± 0,08
70°C	77,55 ± 0,001	190	14,74 ± 0,88
75°C	78,31 ± 0,001	160	12,16 ± 0,31
80°C	78,24 ± 0,001	140	12,14 ± 0,66
85°C	78,24 ± 0,001	130	10,47 ± 0,21

Valores médios ± Desvio padrão

Fonte: Autoria própria.

Thuwapanichayanan, Prachayawarakorn e Soponronnarit (2008) também observaram a mesma tendência ao estudarem secagem em leito de espuma de polpa de banana, em que o tempo de secagem foi menor em aproximadamente 50% quando aumentou-se a temperatura de secagem para 80°C.

Essa tendência de redução no tempo de secagem com o aumento da temperatura pode ser explicada pelo aumento na taxa de evaporação da água em temperaturas mais elevadas, uma vez que a transferência de calor é mais eficiente. O aumento da energia térmica acelera a evaporação da água livre na superfície e a difusão da água do interior do material para sua superfície, o que reduz significativamente o tempo necessário para a secagem (FREITAS *et al.*, 2018).

As curvas de secagem observadas no presente estudo indicam claramente que a temperatura tem um efeito significativo sobre o tempo total de secagem. Este fato também foi observado na secagem de espuma de graviola (BAPTESTINI *et al.*, 2015), na espuma de polpa de manga (RAJKUMAR *et al.*, 2007), na espuma de polpa de mamão (KANDASAMY, VARADHARAJU, SHAIK, 2012), espuma de polpa de abóbora (DIÓGENES *et al.*, 2022), e na espuma de polpa de tomate (SRAMEK *et al.*, 2015).

Este fenômeno ocorre, possivelmente, devido ao processo em que a superfície do produto seca rapidamente e a difusão das moléculas de água se torna menor que sua convecção externa. A frente de secagem migra para o interior do produto, e a resistência interna ao

movimento das moléculas de água se torna o mecanismo de transporte dominante e, por isso, a taxa de secagem diminui (BABALIS, BELESSIOTIS, 2004).

Apesar da rápida secagem obtida nas temperaturas de 80 e 85°C, é importante considerar que a secagem rápida em altas temperaturas pode impactar a qualidade do produto, especialmente, em termos de preservação de compostos bioativos, textura e cor. Em temperaturas mais altas, como as utilizadas no presente estudo, o processo de secagem é mais rápido, mas isso pode levar à degradação de compostos sensíveis ao calor, como antioxidantes e vitaminas (WOJDYŁO, LECH, NOWICKA, 2020).

Além disso, a formação de uma crosta superficial nas amostras, em altas temperaturas pode dificultar a remoção de água nas fases posteriores da secagem, impactando a homogeneidade da secagem (MPHAHLELE *et al.*, 2016). Esse comportamento não foi observado, visualmente, nas amostras estudadas.

O aumento da temperatura acelera a taxa de secagem, porém é fundamental equilibrar esse fator para preservar a qualidade do produto. Mencarelli *et al.* (2023) sugerem uma abordagem em que o processo de secagem se inicia em temperatura elevada e, após um período determinado, a temperatura é reduzida para finalizar a secagem. Essa estratégia é respaldada pelas curvas apresentadas na Figura 4, mostrando que, a 85°C, a taxa de secagem é significativamente maior nos primeiros 30 minutos em comparação a 60°C, seguida por uma desaceleração progressiva.

Portanto, ao diminuir a temperatura após esse período, é possível minimizar os efeitos indesejáveis causados pelo calor excessivo, como o escurecimento e a perda de sabor e de compostos nutricionais, além de obter uma economia de energia. Um outro fator que pode ter influenciado no menor tempo de secagem é a densidade das espumas.

De acordo com Azizpour *et al.* (2013), espumas menos densas retêm mais ar durante a agitação, o que acelera a difusão de água pela espuma, resultando em um menor tempo de secagem. A concentração do agente espumante é um dos principais fatores na estabilidade e densidade da espuma (OUBELLA *et al.*, 2022).

Durante o processo de secagem, especialmente nas fases iniciais, a temperatura do produto e do ar de secagem costuma ser diferente. No entanto, conforme a remoção de água avança, a temperatura do produto aumenta gradualmente até atingir um equilíbrio térmico (DIÓGENES *et al.*, 2022).

Os dados da razão de umidade, apresentados na Figura 4, indicam a ocorrência de um período de aquecimento no início da secagem, seguido por uma fase de taxa decrescente. Os perfis de taxa de secagem revelam a ausência de um período de taxa constante, onde a razão de

umidade permaneceria estável por um tempo significativo. Em vez disso, o processo de secagem da espuma de polpa de tamarindo, em todas as temperaturas analisadas, ocorreu exclusivamente no período de taxa decrescente, com uma redução contínua da razão de umidade ao longo do tempo.

Observações semelhantes foram feitas por Rajkumar *et al.* (2007) ao estudarem a secagem de espuma de purê de manga. Por outro lado, Brygidyr, Rzepecka e Mcconnell (1977) identificaram tanto um período de taxa constante quanto um período de taxa decrescente ao analisarem a secagem de espuma de purê de tomate. Assim, percebe-se que os padrões de secagem em leito de espuma parecem variar conforme o produto, o que pode estar relacionado ao teor de sólidos e à composição química específica de cada fruta.

A atenção especial às curvas nos primeiros minutos de secagem, especialmente em temperaturas mais altas (como 80 e 85°C), reflete essa alta taxa de evaporação da água livre. À medida em que a secagem avança, a água livre na superfície do material diminui e o processo de remoção de água passa a ser controlado pela difusão da água do interior da espuma para sua superfície, entrando no período de taxa decrescente.

A literatura sugere, que o teor de água correspondente à água ligada varia em diferentes materiais e, nesse ponto, a taxa de secagem muito baixa é provavelmente devido à pouca água livre disponível e à difusão da água ligada, que se torna o principal mecanismo que controla o transporte de água (THUWAPANICHAYANAN, PRACHAYAWARAKORN, SOPONRONNARIT, 2008). Isso indica que, no início do processo, a secagem é controlada, principalmente, pela quantidade de calor transferido do ar para o material e pela facilidade de evaporação da água superficial.

Nas Tabelas 3, 4 e 5 estão apresentados os valores dos parâmetros estimados, o coeficiente de determinação ajustado (R^2), o erro médio (SE) e a diferença de quadrado médio (DQM) para os modelos matemáticos, nas temperaturas de 60 a 85°C.

Os parâmetros mostrados nas Tabelas 3, 4 e 5 são cruciais para determinar qual modelo matemático descreve melhor o processo de secagem em diferentes temperaturas. Embora o coeficiente de determinação (R^2) não seja o parâmetro mais indicado para avaliar o ajuste de modelos não-lineares, ele ainda pode fornecer uma indicação geral da qualidade do ajuste (SOUZA *et al.*, 2019).

Tabela 3 - Parâmetros estimados dos modelos matemáticos nas temperaturas 60 e 65°C.

Temperatura	Modelos	Parâmetros							R ²	SE	DQM
		a	b	c	k	k0	k1	n			
60°C	Aproximação da difusão	-123,52	0,9957	-	0,9957	-	-	-	-	-	-
	Dois termos	0,5101	0,5101	-	-	0,0089	0,0089	-	0,955	0,256	0,105
	Exponencial de dois termos	0,5	-	-	-0,0005	-	-	-	0,936	0,211	0,061
	Henderson e Pabis	-	-	-	0,0144	-	-	1,0303	0,955	0,362	0,105
	Henderson e Pabis modificado	0,3405	0,3395	0,3411	0,009	0,009	0,009	-	0,955	0,209	0,105
	Logaritmo	1,1691	-	0,1332	0,5489	-	-	-	0,978	0,209	0,074
	Midilli	0,9941	0,0001	-	0,0065	-	-	1,1808	0,999	0,045	0,018
	Newton	-	-	-	0,0066	-	-	-	0,936	0,609	0,124
	Page	-	-	-	0,0082	-	-	1,0362	0,997	0,101	0,029
	Thompson	-0,2746	0,2121	-	-	-	-	-	0,936	0,431	0,124
Wang e Singh	-0,00611	0,000009	-	-	-	-	-	0,972	0,286	0,083	
65°C	Aproximação da difusão	-0,218	0,3582	-	0,0453	-	-	-	0,985	0,284	0,105
	Dois termos	0,5382	0,53755	-	-	0,0091	0,0091	-	0,978	0,171	0,073
	Exponencial de dois termos	0,5	-	-	0,0012	-	-	-	0,931	0,216	0,065
	Henderson e Pabis	1,07575	-	-	0,00175	-	-	-	0,951	0,361	0,109
	Henderson e Pabis modificado	0,3479	0,3479	0,3479	0,0117	0,0117	0,0117	-	0,951	0,208	0,109
	Logaritmo	1,24655	-	0,1977	0,0067	-	-	-	0,978	0,200	0,074
	Midilli	0,9941	0,0001	-	0,0065	-	-	1,1808	0,999	0,044	0,019
	Newton	-	-	-	-0,0057	-	-	-	0,931	0,600	0,128
	Page	-	-	-	0,0082	-	-	1,077049	0,996	0,102	0,031
	Thompson	-0,266	0,23195	-	-	-	-	-	0,931	0,424	0,128
Wang e Singh	-0,00664	0,000011	-	-	-	-	-	0,972	0,273	0,082	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 - Parâmetros estimados dos modelos matemáticos nas temperaturas 70 e 75°C.

Temperatura	Modelos	Parâmetros							R ²	SE	DQM
		a	b	c	k	k0	k1	n			
70°C	Aproximação da difusão	0,5473	0,5461	-	-	0,0112	0,0112	-	0,941	0,271	0,118
	Dois termos	0,5473	0,5461	-	-	0,0112	0,0112	-	0,958	0,231	0,101
	Exponencial de dois termos	0,5	-	-	0,0017	-	-	-	0,941	0,191	0,059
	Henderson e Pabis	1,0303	-	-	0,0144	-	-	-	0,958	0,326	0,101
	Henderson e Pabis modificado	0,3479	0,3479	0,3479	-	0,0117	0,0117	-	0,958	0,188	0,101
	Logaritmo	1,193	-	-0,1215	0,0089	-	-	-	0,979	0,190	0,072
	Midilli	0,9941	0,0001	-	0,0065	-	-	1,1808	0,998	0,047	0,020
	Newton	-	-	-	0,0049	-	-	-	0,941	0,383	0,118
	Page	-	-	-	0,0082	-	-	1,1179	0,996	0,097	0,030
	Thompson	-4517,98	4,686	-	-	-	-	-	0,975	0,251	0,077
Wang e Singh	-0,00664	0,000011	-	-	-	-	-	0,975	0,251	0,077	
75°C	Aproximação da difusão	1,1281	5	-	0,0191	-	-	-	0,986	0,432	0,167
	Dois termos	0,5222	0,5216	-	-	0,0117	0,0117	-	0,956	0,423	0,189
	Exponencial de dois termos	0,5	-	-	0,0017	-	-	-	0,940	0,537	0,170
	Henderson e Pabis	1,0435	-	-	0,0177	-	-	-	0,956	0,328	0,104
	Henderson e Pabis modificado	0,3479	0,3479	0,3479	0,0117	0,0117	0,0117	-	0,956	0,346	0,189
	Logaritmo	1,193	-	0,0309	0,0089	-	-	-	0,978	0,436	0,169
	Midilli	0,9936	0,0001	-	0,0061	-	-	1,1808	0,998	0,309	0,138
	Newton	-	-	-	0,0073	-	-	-	0,940	0,770	0,172
	Page	-	-	-	0,0082	-	-	1,1179	0,996	0,490	0,155
	Thompson	0,008232	0,000017	-	-	-	-	-	0,940	0,545	0,172
Wang e Singh	0,008232	0,000017	-	-	-	-	-	0,975	0,482	0,152	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 - Parâmetros estimados dos modelos matemáticos nas temperaturas 80 e 85°C.

Temperatura	Modelos	Parâmetros							R ²	SE	DQM
		a	b	c	k	k0	k1	n			
80°C	Aproximação da difusão	0,6592	0,1452	-	0,1261	-	-	-	0,988	0,135	0,055
	Dois termos	0,3399	0,6585	-	-	0,0183	0,1256	-	0,989	0,113	0,053
	Exponencial de dois termos	0,1748	-	-	0,2547	-	-	-	0,945	0,352	0,117
	Henderson e Pabis	1,0435	-	-	0,0177	-	-	-	0,960	0,303	0,101
	Henderson e Pabis modificado	1,0435	1,0435	1,0435	0,0117	0,0117	0,0117	-	0,975	0,137	0,079
	Logaritmo	0,906	-	0,0324	0,0607	-	-	-	0,975	0,197	0,081
	Midilli	0,9936	0,00004	-	0,0061	-	-	1,24	0,998	0,049	0,023
	Newton	-	-	-	0,0595	-	-	-	0,945	0,498	0,117
	Page	-	-	-	0,0069	-	-	1,21190	0,997	0,090	0,030
	Thompson	0,0109	0,0129	-	-	-	-	-	0,945	0,352	0,117
Wang e Singh	-0,9112	0,1954	-	-	-	-	-	0,975	0,240	0,080	
85°C	Aproximação da difusão	0,6592	0,1452	-	0,1261	-	-	-	0,988	0,138	0,058
	Dois termos	0,3399	0,6585	-	-	0,0183	0,1256	-	0,958	0,218	0,106
	Exponencial de dois termos	0,205	-	-	0,25065	-	-	-	0,944	0,356	0,122
	Henderson e Pabis	1,0567	-	-	0,0177	-	-	-	0,958	0,309	0,106
	Henderson e Pabis modificado	0,3553	0,3553	0,3553	0,0117	0,0117	0,0117	-	0,958	0,178	0,106
	Logaritmo	0,90385	-	0,03075	0,07005	-	-	-	0,969	0,217	0,091
	Midilli	0,9936	0,00004	-	0,0061	-	-	1,24	0,998	0,046	0,022
	Newton	-	-	-	0,0316	-	-	-	0,944	0,501	0,122
	Page	-	-	-	0,0056	-	-	1,2119	0,997	0,084	0,029
	Thompson	0,0152	0,0174	-	-	-	-	-	0,944	0,354	0,122
Wang e Singh	-0,68044	0,13022	-	-	-	-	-	0,973	0,248	0,085	

Fonte: Autoria própria.

Em muitos casos, valores mais altos de R^2 estão associados a modelos que apresentam um melhor ajuste aos dados experimentais, como ocorreu no presente estudo, em que, nos resultados obtidos, os coeficientes de determinação foram superiores a 0,930, sugerindo que a maior parte da variabilidade nos dados da secagem é explicada pelos modelos ajustados.

Modelos matemáticos empíricos e semiempíricos são sugeridos como adequados para representar o processo de secagem de um produto quando a resistência externa à transferência de calor e massa é eliminada ou desprezível (MIDILLI, KUCUK, YAPAR, 2002). Entre os modelos avaliados, o modelo de Midilli se destaca, apresentando os maiores valores de R^2 , variando entre 0,988 e 0,999 para todas as temperaturas testadas, o que reflete um ajuste excelente aos dados experimentais. Além disso, este modelo apresentou os menores valores de SE e DQM, o que indica que o erro médio e a diferença entre os dados observados e os previstos são mínimos.

No entanto, o modelo de Midilli continua a se destacar, mesmo em temperaturas mais altas, com os menores valores de DQM e SE em comparação com os demais modelos (Tabelas 3, 4 e 5). Bons ajustes obtidos com o modelo Midilli são frequentemente relatados na literatura, como na secagem de polpa de beterraba (GOKHALE, LELE, 2011), espuma de polpa de graviola (BAPTESTINI *et al.*, 2015a) e espuma de polpa de goiaba (MACIEL *et al.*, 2017).

As constantes do modelo estimadas por regressão não linear estão apresentadas nas Tabelas 3, 4 e 5. Os parâmetros a e b geralmente se relacionam às características iniciais do processo de secagem e à estrutura do material. O parâmetro a está associado à quantidade inicial de água no material e à sua capacidade de retenção, enquanto o parâmetro b está vinculado ao componente linear do tempo de secagem. Já a constante de secagem k está diretamente relacionada à velocidade de secagem, e o parâmetro n atua como um expoente que ajusta o comportamento temporal na equação exponencial, refletindo a complexidade do processo de secagem (AGHBASHLO, KIANMEHR, SAMIMI-AKHIAHANI, 2008; ERTEKIN, YALDIZ, 2004; MIDILLI, KUCUK, 2003; MUJUMDAR, 2006).

Analisando as Tabelas 3, 4 e 5, observa-se que o parâmetro a reduziu de 0,9941 (60°C) para 0,9936 (85°C). Essa redução pode indicar que, com o aumento da temperatura, a espuma perde água mais rapidamente, resultando em menor retenção de água no início do processo de secagem. O parâmetro b também apresentou queda, de 0,001 (60°C) para 0,00004 (85°C), sugerindo que, com o aumento da temperatura, o efeito linear do tempo de secagem torna-se menos significativo, com o processo se tornando mais influenciado pelos efeitos exponenciais de k e n , que descrevem as mudanças não lineares ao longo do tempo, como o comportamento

exponencial ou a formação de uma crosta superficial (ERTEKIN, YALDIZ, 2004; MUJUMDAR, 2006).

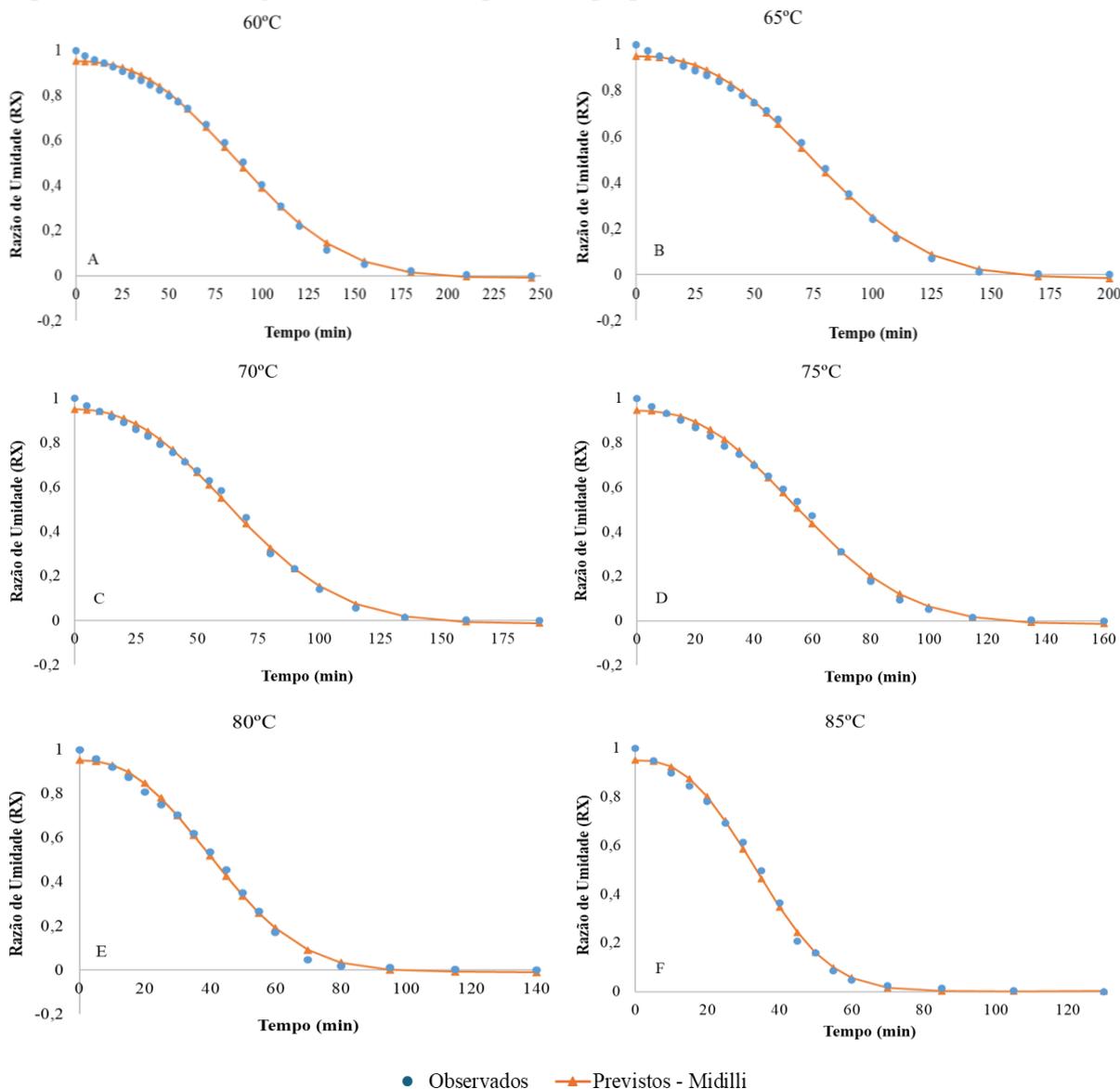
A redução de k , de 0,0065 para 0,0061, com o aumento da temperatura de 60°C para 85°C, é contraintuitiva, pois normalmente espera-se que k aumente com a temperatura, indicando uma secagem mais rápida. Contudo, a redução de k pode sugerir que, em temperaturas mais elevadas, há maior resistência à remoção de água, possivelmente devido à formação de crostas ou à diminuição da difusividade da água no material (HAGHI; AMANIFARD, 2008).

O aumento do valor de n com o aumento da temperatura sugere que o processo de secagem se torna mais dependente do tempo em condições de altas temperaturas, indicando maior curvatura na curva de secagem, Figura 4. Esse comportamento pode ser atribuído a uma secagem inicial rápida, seguida por uma desaceleração, vapor mais difuso ou até degradação térmica, possivelmente decorrente da formação de uma crosta superficial que dificulta a remoção de água nas fases finais (AGHBASHLO, KIANMEHR, SAMIMI-AKHIJAHANI, 2008; ERTEKIN, YALDIZ, 2004).

Com base na comparação entre os dados experimentais da razão de umidade (RX) e os valores previstos pelo modelo de Midilli, apresentados na Figura 5, e nas Tabelas 3, 4 e 5, nota-se que o modelo prevê os dados de forma muito precisa, pois, os pontos previstos pelo modelo estão bem distribuídos em torno da curva que representa a correspondência entre os valores experimentais e os valores previstos, demonstrando a capacidade do modelo de descrever com precisão a perda de água durante o processo de secagem da espuma de polpa de tamarindo em todas as temperaturas analisadas.

Na Figura 5 verifica-se que à medida em que o tempo de secagem avança e a temperatura aumenta, o modelo mantém os comportamentos da tendência observada, sem desvios significativos. Portanto, o modelo de Midilli se mostrou capaz de representar com precisão o processo de secagem da espuma de polpa de tamarindo, tanto nas fases de aquecimento quanto nas fases de taxa de secagem decrescente, em todas as condições experimentais analisadas.

Figura 5 – Razão de Umidade com valores experimentais e estimados pelos modelos de Midilli nas temperaturas de 60 (A), 65 (B), 70 (C), 75 (D), 80 (E) e 85°C (F) para os diferentes experimentos de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo.



Fonte: Autoria própria.

A polpa *in natura*, apresentou cor relativamente mais escura, $L^* = 41,23$, com uma leve tendência ao vermelho, $a^* = 8,79$ e ao amarelo, $b^* = 19,12$, reforçado pela tonalidade amarelada do ângulo hue, $^{\circ}\text{Hue} = 65,96$, e uma saturação de cor moderada, $C = 21,06$ (Figura 2). A coloração do tamarindo é derivada, principalmente, dos pigmentos flavonóides amarelos e antocianinas (SILVA *et al.*, 2014).

Silva *et al.* (2008), ao estudarem a polpa de tamarindo, encontraram uma polpa mais escura, $L^* = 27,87$, e de tonalidade alaranjada, $^{\circ}\text{Hue} = 73,53^{\circ}$. A polpa de tamarindo estudada por Obulesu e Bhattacharya (2011) era mais clara, $L^* = 65,5$ e mais amarela esverdeada, $a^* =$

-6,5 e $b^* = 27,5$. Na Tabela 6 são apresentados os valores médios referentes aos parâmetros de cor da polpa *in natura* e da polpa seca de tamarindo em leito de espuma nas temperaturas em estudo.

Tabela 6 - Valores médios \pm desvio padrão da luminosidade (L^*), a^* , b^* , ângulo Hue ($^\circ$ Hue) e Croma da polpa *in natura* e das polpas de tamarindo secas em leito de espuma.

Tratamentos	L^*	a^*	b^*	$^\circ$ Hue	Croma
Polpa	41,23 \pm 0,28	8,79 \pm 0,89	19,12 \pm 1,80	65,96 \pm 0,45	21,06 \pm 2,01
60°C	63,68 \pm 0,99	9,03 \pm 0,31	21,47 \pm 0,32	67,19 \pm 0,45	23,29 \pm 0,41
65°C	60,34 \pm 1,03	9,18 \pm 0,22	20,3 \pm 0,07	65,69 \pm 0,60	22,30 \pm 0,02
70°C	56,35 \pm 1,12	9,96 \pm 0,36	19,62 \pm 0,44	63,46 \pm 1,03	22,23 \pm 0,40
75°C	52,26 \pm 1,39	9,65 \pm 0,28	15,45 \pm 1,59	58,66 \pm 1,75	18,17 \pm 1,50
80°C	47,69 \pm 1,85	7,29 \pm 0,31	10,73 \pm 1,10	55,13 \pm 2,10	12,97 \pm 1,06
85°C	45,23 \pm 2,83	6,26 \pm 0,56	7,18 \pm 1,12	49,75 \pm 1,94	9,53 \pm 1,21

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 7, encontram-se as análises de variância para os parâmetros de cor em função da temperatura de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo. Para todos os parâmetros analisados, a influência da temperatura é altamente significativa ($p < 0,01$), indicando que mudanças neste tratamento têm um impacto estatisticamente relevante nas variáveis dependentes e nos valores baixos do coeficiente de variação ($<6\%$), indicando boa precisão e controle experimental.

Tabela 7 - Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis L^* , a^* , b^* , Ângulo Hue e Croma em função da temperatura de secagem em leito de espuma da polpa de tamarindo.

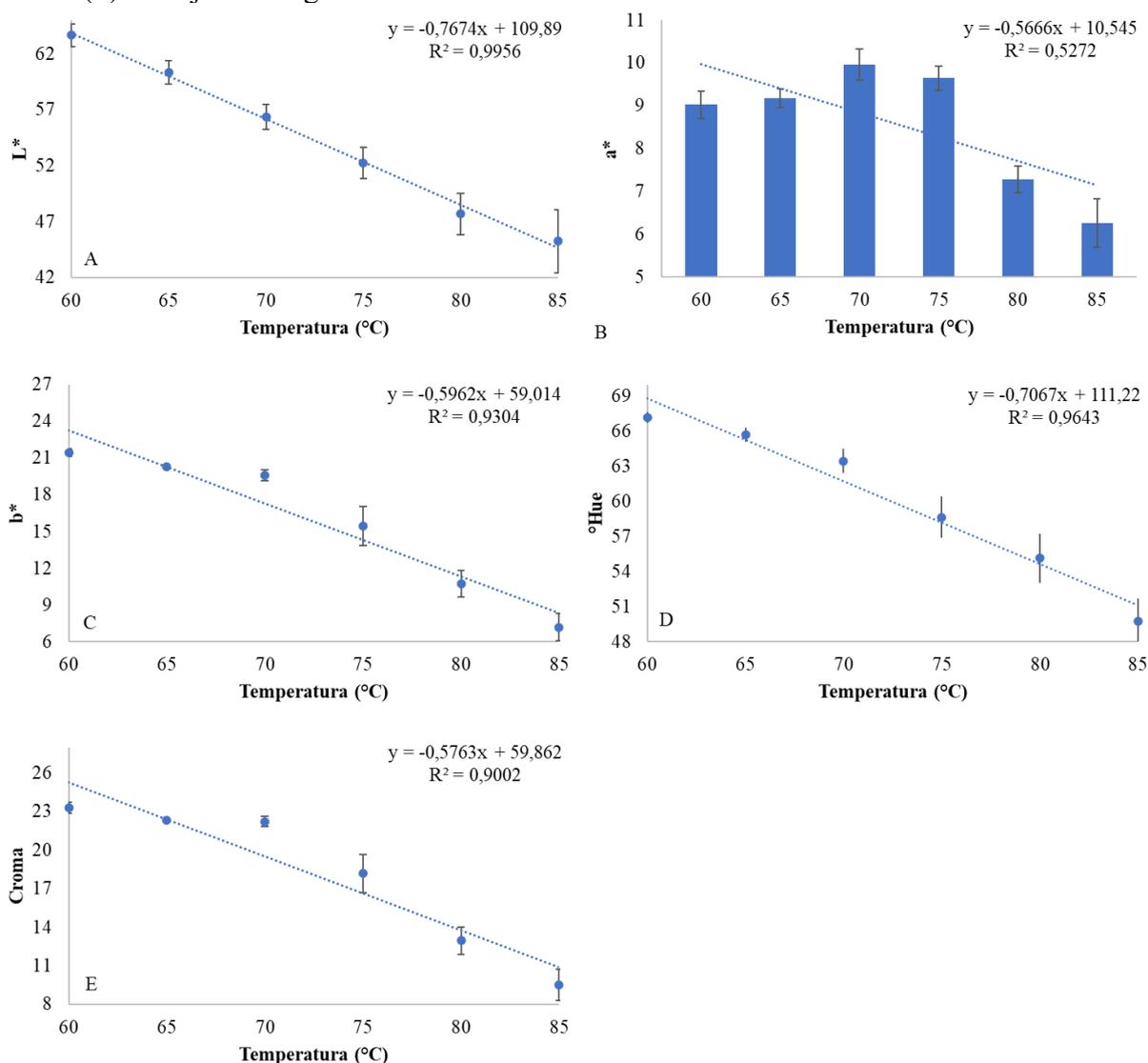
	Tabela de Análise de Variância					
	GL	L^*	a^*	b^*	$^\circ$ Hue	Croma
Temperatura	5	157,1917**	6,8769*	101,6755**	130,7543**	98,3102**
Erro	12	2.789,056	0,1293	0,8921	2.159,172	0,8685
CV (%)		3,09	4,19	5,92	2,45	5,12

Valores de quadrado médio (QM); graus de liberdade (GL); coeficiente de variação (CV%); ** = significativo a 1% de probabilidade pelo Teste de F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo Teste de F.

Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 6, que a polpa de tamarindo em pó apresentou uma forte relação linear negativa entre a temperatura e os parâmetros de cor, e os valores elevados R^2 , acima de 88%, indicam bom ajuste dos modelos, com exceção para o parâmetro a^* .

Figura 6 - Relação entre a temperatura e luminosidade (L^*) (A), a^* (B), b^* (C), ângulo Hue ($^{\circ}$ Hue) (D) e Croma (E) com ajuste de regressão linear.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 7, é possível observar uma mudança progressiva na coloração da polpa de tamarindo seca à medida que a temperatura aumenta. Conforme a temperatura se eleva, a polpa se torna mais escura e menos saturada, apresentando menores valores de L^* e cromas. Ao mesmo tempo, há uma intensificação da cor vermelha e uma redução no valor de $^{\circ}$ Hue, conforme mostrado nos resultados. Esse fenômeno ocorre devido à degradação dos pigmentos presentes na polpa e às reações de Maillard, que são influenciadas pelo calor da secagem (FELLOWS, 2022; FENNEMA, DAMODARAN, PARKIN, 2017). Essas mudanças resultam na alteração da cor dos alimentos secos em função do aumento da temperatura. Este comportamento também foi observado por Silva *et al.* (2008) em que as polpas secas de tamarindo, por El-Salam, Ali e

Hammad (2021) em polpa de mamão secas em leito de espuma e por Yang *et al.* (2024) em damascos secos por diferentes métodos de secagem.

Figura 7 - Polpas de tamarindo secas em leito de espuma nas temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C, da esquerda para direita.



Fonte: Autoria própria.

Ao se comparar o resultado do parâmetro L^* da polpa *in natura* com os resultados das temperaturas de secagem, notam-se aumentos que podem ter relação com a adição do aditivo Emustab® e o processo de formação da espuma. Ao incorporar ar, foi favorecida a alteração da cor, tornando a amostra mais clara. Esse comportamento também foi observado por CÔL *et al.* (2021) ao secar polpa de bacaba em leito de espuma.

A presença de íons de cobre, ferro e oxigênio, a oxidação do ácido ascórbico para ácido de-hidroascórbico são acompanhadas pela formação de peróxido de hidrogênio. Esse último composto degrada as antocianinas, o que implica na perda de cor do alimento. Dessa forma a modificação no parâmetro L^* e do $^{\circ}\text{Hue}$ com o aumento das temperaturas de secagem, pode estar relacionada com o processo oxidativo da antocianina causado pela degradação do ácido ascórbico (CASTRO *et al.*, 2017).

O parâmetro a^* , mantém valores relativamente resultantes entre 60°C e 75°C, com um aumento em 70°C, seguido de uma redução a partir de 80°C e 85° (Tabela 6 e Figura 6). Essa diminuição pode estar associada à degradação de compostos responsáveis pela coloração avermelhada, como carotenoides e antocianinas. Enquanto a redução progressiva do parâmetro b^* , com o aumento da temperatura, atingindo o menor valor em 85°C (Tabela 6 e Figura 6), sugere degradação dos pigmentos amarelos e possíveis reações oxidativas (CASTRO *et al.*, 2017; PATRAS *et al.*, 2010; RODRIGUEZ-AMAYA, 2019).

O $^{\circ}\text{Hue}$ aumentou em 60°C, apresentando uma tonalidade amarelada, mas diminui a partir de 70°C, indicando uma mudança na tonalidade para tons mais avermelhados (Tabela 6 e Figura 6 e 7). A redução em 85°C pode estar associada à perda de compostos precursores de cor. O Croma também aumenta em 60°C e 65°C, mas sofre uma redução acima de 70°C,

chegando ao menor valor em 85°C (Tabela 6 e Figura 6), tornando a polpa menos vibrante e mais opaca com o aumento da temperatura. Isso sugere um desbotamento da cor, diminuição possível da manipulação dos compostos cromóforos e redução da intensidade visual da cor da polpa seca (PANDISELVAM *et al.*, 2023).

Os sólidos solúveis (SS), expressos em °Brix, atingiram teor máximo em 80°C ($24,9 \pm 1,401$ °Brix) (Tabela 8 e Figura 8A), seguido de uma redução em 85°C. O valor do quadrado médio (QS) foi de 2,9263 (Tabela 9), o que indica fortemente que a temperatura teve efeito significativo nos sólidos dissolvidos. Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento de sólidos durante a secagem, quando a água foi removida. Entretanto, a diminuição dos SS em altas temperaturas podem estar relacionada à degradação térmica de compostos solúveis, como os monossacarídeos.

Sousa *et al.* (2020b), os quais demonstram que, com a elevação da temperatura da secagem da polpa ocorre aumento nos sólidos solúveis até certo ponto, enquanto em temperaturas mais altas levam há perda de sólidos solúveis. Almeida *et al.* (2020) extraíram farinha de batata de um leito fluidizado e investigaram o efeito da temperatura nas propriedades do material e descobrindo que os sólidos totais eram maiores quando a temperatura era aplicada.

A polpa *in natura* tem um alto teor de umidade (Tabela 8), o que é esperado e com o aumento da temperatura de secagem, a umidade reduz, chegando a 10,47% a 85°C (Tabela 8), indicando um efeito altamente significativo da temperatura sobre essa variável ($p < 0,01$) (Tabela 9), o que confirma a regressão linear da umidade com o aumento da temperatura, apresentando um declínio acentuado e uma forte correlação ($R^2 = 0,8252$) (Figura 8B).

O teor de carboidratos também apresentou tendência crescente com o aumento da temperatura e atingiu valor máximo a 85°C ($73,085 \pm 0,253\%$) (Tabela 8 e Figura 8C). Esse efeito é evidente com o aumento da temperatura, pois o teor de água das amostras diminui, de 75,924% na polpa para 10,471% a 85°C). Esse aumento pode ser devido ao acúmulo de açúcares naturais no vapor de água.

Segundo Santos *et al.* (2019), a secagem é um método comum de preservação de alimentos porque a remoção de água reduz a atividade da água, inibe o crescimento microbiano e retarda as reações enzimáticas e químicas. Esses resultados corroboram com os dados de Dionello *et al.* (2009) que mostraram que a secagem de frutas como o abacaxi na faixa de 70–80°C promove a absorção de açúcar, enquanto em temperaturas mais altas, os açúcares se decompõem por meio da reação de Maillard e caramelização.

A temperatura não teve efeito significativo sobre o teor de proteínas, mostrando pouca variação e indicando relativa estabilidade térmica (Tabela 8 e 9). Isso sugere que, durante a

secagem por espumas, as proteínas presentes na polpa de tamarindo são menos sensíveis ao calor comparadas a outros constituintes, sendo que esta diferença nos teores se dá pela concentração dos componentes após a secagem.

Justus *et al.* (2020) avaliaram a estabilidade física e química de hidrolisados proteicos de Okara microencapsulados por *spray drying* e observaram que os hidrolisados mantiveram sua capacidade antioxidante e integridade física durante o armazenamento, indicando que as proteínas presentes exibiram estabilidade térmica durante o processo de secagem, assim como o presente estudo. Meneses *et al.* (2018) mostraram que proteínas em frutas tropicais são geralmente estáveis a temperaturas de secagem moderadas.

O valor médio do conteúdo de extrato etéreo indicou que o aquecimento ocasionou efeito significativo (Tabela 9), uma pequena variação entre as temperaturas (Tabela 8), com um aumento comparada a polpa, devido a concentração dos componentes após a secagem. Em altas temperaturas (acima de 60°C), o conteúdo de extrato etéreo pode sofrer degradação lipídica, como oxidação ou degradação molecular, e a sua concentração devido à perda de água durante a secagem, pode ter ocasionado essa variação entre as temperaturas. Portanto, pensando apenas na preservação deste componente isolado, a secagem a uma temperatura de cerca de 75°C é considerada a melhor para preservar os lipídios da polpa de tamarindo seca usando o método de leito de espuma.

O teor de cinzas apresentou uma pequena variação entre as temperaturas, com um leve aumento (Tabela 8). Na Tabela 9, os resultados um quadrado médio (QM) de 0,265188, e é classificado como altamente significativo ($p < 0,01$) no efeito da temperatura sobre este parâmetro, o que significa que as mudanças de temperatura afetam significativamente o conteúdo de cinzas. A regressão apresenta uma leve redução (Figura 8E), mas sem uma tendência clara.

O teor de minerais da polpa de tamarindo seca aumentou com a elevação da temperatura de secagem de 60 para 65°C. Entretanto, em temperaturas mais elevadas, o teor de minerais começa a diminuir e atinge o menor valor a 85°C (Tabela 8), isso sugere que a temperatura pode influenciar na volatilização de alguns minerais, mas com um efeito menos significativo. Portanto, pode-se inferir que para a preservação de minerais, a temperatura ótima de secagem deve estar a 75°C, na qual ocorre a menor perda de teor de cinzas.

Tabela 8 - Teor médio e desvios padrão do teor de água (U), de sólidos solúveis (SS), dos carboidratos (CHO), das proteínas (PTN), do extrato etéreo (LIP), das cinzas (MIN), da fibra alimentar total (FAT), da acidez titulável (AT) e do ácido ascórbico (AA) da polpa *in natura* e das polpas de tamarindo secas em leite de espuma.

Tratamentos	U (%)	SS (°Brix)	CHO (%)	PTN (%)	LIP (%)	MIN (%)	FAT (%)	AT (%)	AA (mg/100mg)
Polpa	75,924 ± 0,04	22,3 ± 0,15	19,272 ± 0,05	1,799 ± 0,03	0,186 ± 0,01	0,821 ± 0,02	2,000 ± 0,03	3,136 ± 0,11	26,67 ± 4,63
60°C	14,654 ± 0,23	23,4 ± 0,81	69,101 ± 1,41	4,632 ± 0,71	5,622 ± 0,19	3,379 ± 0,04	2,613 ± 0,61	12,424 ± 0,15	14,634 ± 1,51
65°C	13,969 ± 0,07	23,2 ± 0,61	66,949 ± 0,91	4,436 ± 0,77	6,408 ± 1,26	3,688 ± 0,14	4,550 ± 1,57	12,168 ± 0,18	14,563 ± 0,08
70°C	14,741 ± 0,87	22,4 ± 0,1	69,206 ± 1,14	4,147 ± 0,35	5,352 ± 0,66	3,458 ± 0,23	3,095 ± 0,20	12,266 ± 0,34	9,804 ± 0,17
75°C	12,160 ± 0,30	22,6 ± 1,00	67,980 ± 0,86	4,606 ± 0,75	7,090 ± 0,53	3,743 ± 0,14	4,422 ± 0,16	11,644 ± 0,17	9,852 ± 0,04
80°C	12,139 ± 0,65	24,9 ± 1,40	72,006 ± 0,00	5,125 ± 0,30	5,416 ± 0,44	3,032 ± 0,02	2,283 ± 0,05	8,709 ± 0,07	7,389 ± 0,09
85°C	10,471 ± 0,21	24,5 ± 0,32	73,085 ± 0,25	5,057 ± 0,15	6,059 ± 0,04	3,081 ± 0,03	2,332 ± 0,09	8,288 ± 0,62	4,878 ± 0,03

Fonte: Autoria própria

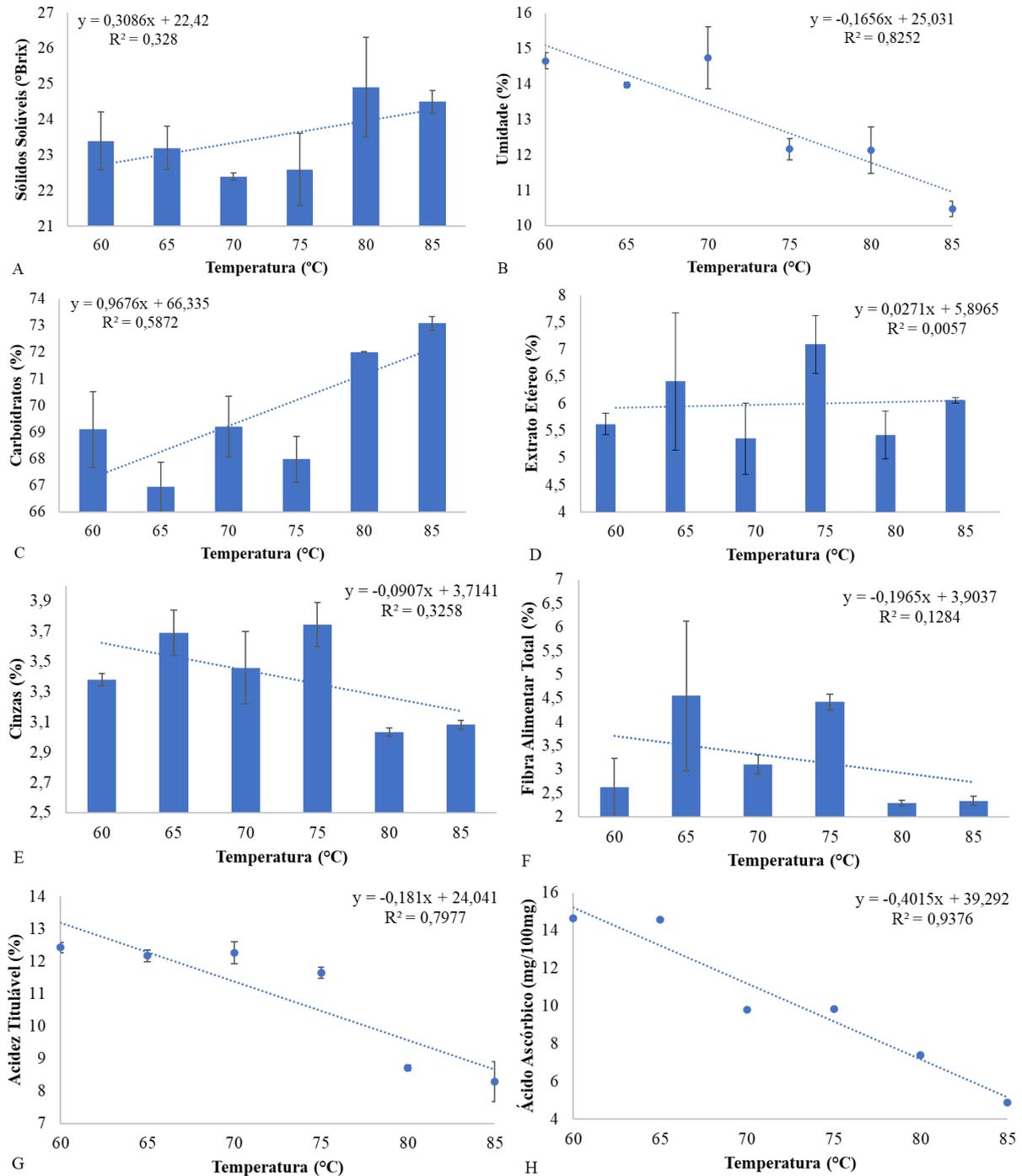
Tabela 9 - Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis químicas em função da temperatura das polpas de tamarindo secas em leite de espuma.

Tabela de Análise de Variância										
QM										
	GL	SS (°Brix)	U (%)	CHO (%)	PTN (%)	LIP (%)	MIN (%)	FAT (%)	AT (%)	AA (mg/100mg)
Temperatura	5	2,9263*	8,6628**	16,2529**	0,4531 ^{ns}	1,3548*	0,2651**	3,1851**	10,0591**	94,5000**
Erro	12	0,6877	0,1971	0,8249	0,3145	0,4108	0,0171	0,4909	0,0990	1,0000
CV (%)		3,51	3,41	1,30	11,98	10,70	3,86	21,81	2,88	4,32

Valores de quadrado médio (QM), graus de liberdade (GL), coeficiente de variação (CV%), sólidos solúveis (SS), água (U), carboidratos (CHO), proteínas (PTN), extrato etéreo (LIP), cinzas (MIN), fibra alimentar total (FAT), acidez titulável total (AT) e ácido ascórbico (AA); ** = significativo a 1% de probabilidade pelo Teste de F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo Teste de F; e ns = não significativo pelo Teste de F.

Fonte: Autoria própria.

Figura 8 - Relação entre a temperatura dos sólidos solúveis (A), da água (B), dos carboidratos (C), do extrato etéreo (D), das cinzas (E), da fibra alimentar total (F), da acidez titulável (G) e do ácido ascórbico (H) com ajuste de regressão linear.



Fonte: Autoria própria.

As fibras alimentares totais tiveram uma leve concentração com a secagem (Tabela 8), confirmado o efeito significativo ($p < 0,01$) da temperatura (Tabela 9). A secagem da espuma de tamarindo apresentou uma leve tendência de redução (Figura 8F), o que pode indicar alguma degradação térmica da fibra.

O teor de ácido ascórbico (Tabela 8 e Figura 8H), assim como a acidez titulável (Tabela 8 e Figura 8G), obtiveram uma relação linear negativa com a temperatura, com valores elevados R^2 , acima de 79%, indicando bom ajuste dos modelos, devido, provavelmente, ao fato de ambos serem voláteis, mostrando maior preservação em temperaturas mais baixas e uma redução acelerada a partir de 70°C (SILVA *et al.*, 2008).

Gonzaga *et al.* (2021) afirmam que a redução dos teores de acidez titulável e do ácido ascórbico com o aumento da temperatura pode ter relação com a oxidação dos ácidos orgânicos durante o processo de secagem, conforme apresentado na Tabela 8, uma vez que a polpa de tamarindo é rica em ácidos orgânicos como tartárico, cítrico, málico e ascórbico (NETO, 2002).

6 CONCLUSÃO

O estudo detalhado da secagem da polpa de tamarindo em leito de espuma e a análise das suas características físico-químicas, após o processo de secagem, nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, possibilitaram concluir:

- O modelo de Midilli, o qual melhor se ajustou às curvas experimentais de secagem da polpa de tamarindo, proporciona a melhor compreensão da cinética de secagem nas temperaturas estudadas;

- Ao investigar o efeito da temperatura durante o processo de secagem, foi possível observar como as propriedades físico-químicas do fruto se modificaram como, por exemplo as coordenadas de cor L^* , b^* °Hue e croma, os teores de água, a acidez titulável e o ácido ascórbico;

- O estudo pode auxiliar indústrias alimentícias, pois o pó obtido a partir da secagem até 65°C, possui potencial para o desenvolvimento de novos produtos, com qualidade para consumo, uma vez que esse método de desidratação preservou as propriedades nutricionais, tendo em vista que os sólidos solúveis e os carboidratos alcançaram valores elevados, enquanto os lipídeos, os minerais e as proteínas mantiveram níveis adequados, indicando preservação nutricional.

A aplicação do pó de tamarindo desidratado pode enriquecer alimentos como bebidas lácteas e não lácteas, salgadinhos, biscoitos, sorvetes e pães, além de contribuir para a melhoria de propriedades nutricionais e possivelmente tecnológicas. Para futuras investigações, sugere-se:

- Avaliar iniciar da secagem com uma temperatura mais alta e depois diminuir para finalizar o processo de secagem;

- Explorar o comportamento reológico de produtos em pó reconstituído, bem como as propriedades nutricionais e a estabilidade físico-química ao longo do tempo de armazenamento, ampliando assim o conhecimento sobre o potencial deste processo e do produto final.

REFERÊNCIAS

AGHBASHLO, Mortaza; KIANMEHR, Mohammad H.; SAMIMI-AKHJAHANI, Hadi. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (*Berberidaceae*). **Energy Conversion and Management**, v. 49, n. 10, p. 2865–2871, 2008. DOI: 10.1016/j.enconman.2008.03.009.

AKPINAR, E. Kavak. Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 864–870, 2006. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.014.

ALMEIDA, Raphael Lucas Jacinto *et al.* Obtenção de batata-doce em pó em leite de jorro e influência da temperatura de secagem nas propriedades físico-químicas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e124942942, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i4.2942.

AMARAL, Sheyla Maria Barreto; MOURA, Rayssa Maciel; COSTA, Diana Barbosa; BESSA, Maria Jaíne; MAIA, Marjorie Beatriz Vidal; COSTA JÚNIOR, Raimundo Alves Da; CAVALCANTE, Márcia Roberta Freitas; DAMACENO, Marlene Nunes. Use of tamarind in food product development: A review. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 5, p. e351403, 2022. DOI: 10.47820/recima21.v3i5.1403.

AOAC, Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 20th. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2016.

ARAÚJO, Cintia da Silva; MACEDO, Leandro Levate; VIMERCATI, Wallaf Costa; SARAIVA, Sérgio Henriques; OLIVEIRA, Anderson do Nascimento; TEIXEIRA, Luciano José Quintão. Foam-mat drying kinetics for acerola and adjustment of the mathematical models. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 0, 2017. DOI: 10.1590/1981-6723.15216.

AZAD, Salim. Tamarindo - *Tamarindus indica*. Em: RODRIGUES, Sueli; BRITO, Edy Sousa De; SILVA, Ebenezer de Oliveira (org.). **Exotic Fruits: Reference Guide**. 1. ed. Massachusetts: Academic Press, 2018. p. 403–412. DOI: 10.1016/B978-0-12-803138-4.00055-1.

AZIZPOUR, Mehran; MOHEBBI, Mohebbat; KHODAPARAST, Mohammad Hosein Haddad. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, p. 122–126, 2016. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.01.002.

AZIZPOUR, Mehran; MOHEBBI, Mohebbat; KHODAPARAST, Mohammad Hossein Haddad; VARIDI, Mehdi. Foam-mat drying of shrimp: characterization and drying kinetics of foam. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 15, n. 3, p. 159–165, 2013.

BABALIS, Stamatios J.; BELESSIOTIS, Vassilios G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449–458, 2004. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005.

BAG, Subrata Kumar; SRIVASTAV, Prem P.; MISHRA, Hari N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 8, p. 1450–1458, 2011. DOI: 10.1007/S11947-009-0243-6/FIGURES/3.

BAPTESTINI, Fernanda M.; CORRÊA, Paulo C.; JUNQUEIRA, Mateus S.; RAMOS, Afonso M.; VANEGAS, Jaime D. B.; COSTA, Cristian F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1203–1208, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1203-1208.

BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; FONTANA, Anthony J.; SCHMIDT, Shelly J.; LABUZA, Theodore P. (ORG.). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. 2 ed. Chicago:IFT Press/Wiley Blacwell, 2020. 640 p.
DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118765982.fmatter>.

BELITZ, Hans-Dieter; GROSCHE, Werner; SCHIEBERLE, Peter. **Food Chemistry**. 4. ed. Heidelberg, DE: Springer, 2009. DOI: 10.1007/978-3-540-69934-7.

BENASSI, Marta de Toledo; ANTUNES, Aloisio José. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507–513, 1988.

BETORET, Ester; CALABUIG-JIMÉNEZ, Laura; BARRERA, Cristina; ROSA, Marco Dalla. Sustainable drying technologies for the development of functional foods and preservation of bioactive compounds. **Sustainable Drying Technologies**, 2016. DOI: 10.5772/64191.

BHADORIYA, Santosh Singh; GANESHPURKAR, Aditya; NARWARIA, Jitendra; RAI, Gopal; JAIN, Alok Pal. *Tamarindus indica*: Extent of explored potential. **Pharmacognosy Reviews**, v. 5, n. 9, p. 73–81, 2011. DOI: 10.4103/0973-7847.79102.

BOTELHO, F. M.; GRANELLA, S. J.; BOTELHO, S. C. C.; GARCIA, T. R. B. Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 23, n. 3, p. 212–219, 2015. DOI: 10.13083/1414-3984/REVENG.V23N3P212-219.

BOWE, C.; HAQ, N. Quantifying the global environmental niche of an underutilised tropical fruit tree (*Tamarindus indica*) using herbarium records. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, n. 1–2, p. 51–58, 2010. DOI: 10.1016/j.agee.2010.06.016.

BRYGIDYR, A. M.; RZEPECKA, M. A.; MCCONNELL, M. B. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 10, n. 4, p. 313–319, 1977. DOI: 10.1016/S0315-5463(77)73553-9.

ÇALIŞKAN KOÇ, Gülşah; TEKGÜL, Yeliz; YÜKSEL, Ayşe Nur; KHANASHYAM, Anandu Chandra; KOTHAKOTA, Anjineyulu; PANDISELVAM, Ravi. Recent development in foam-mat drying process: Influence of foaming agents and foam properties on powder properties. **Journal of Surfactants and Detergents**, v. 25, n. 5, p. 539–557, 2022. DOI: 10.1002/jsde.12608.

CAMARGOS, Naiara Maria de Sousa; MOURA, Susane da Silva; MIRANDA, Sabrina do Couto De. An analysis of agroforestry system used in rural areas in the town of Itapuranga, in Goiás state. **Revista Sapiência: sociedade, saberes e práticas educacionais**, v. 2, n. 1, p. 20–33, 2013.

CANUTO, Gisele André Baptista; XAVIER, Ana Augusta Odorissi; NEVES, Leandro Camargo; BENASSI, Marta de Toledo. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1196–1205, 2010. DOI: 10.1590/S0100-29452010005000122.

CASTRO, Deise Souza de; OLIVEIRA, Tharcia Kiara Beserra de; LEMOS, Danielle Martins; ROCHA, Ana Paula Trindade; ALMEIDA, Renata Duarte. Efeito da temperatura sobre a composição físico-química e compostos bioativos de farinha de taro obtida em leite de jorro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 0, 2017. DOI: 10.1590/1981-6723.6016.

CAVALCANTE, Atacy Maciel de Melo; ALMEIDA, Renata Duarte; MELO, Anely Maciel; MORAIS, Bruno Anderson; SILVA, Izaqueu Rodrigues; RIBEIRO, Neila Lidiany; ALEXANDRE, Hofsky Vieira; SILVA, Osvaldo Soares. Models of prediction of drying kinetics of algaroba grains. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 11192–11209, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n3-113.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de secagem de alimentos**. Documentos 276. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

CHIMSAH, F. A.; NYARKO, G.; ABUBAKARI, A. H. A review of explored uses and study of nutritional potential of tamarind (*Tamarindus indica* L.) in Northern Ghana. **African Journal of Food Science**, v. 14, n. 9, p. 285–294, 2020. DOI: 10.5897/AJFS2018.1744.

CHITARRA, Maria Isabel Fernandes; CHITARRA, Adimilson Bosco. **Fruit and Vegetable Postharvest: Physiology and Handling**. 2. ed. Lavras: UFLA - Universidade Federal de Lavras, 2005.

CHRISTOFI, Marina *et al.* Profiling carotenoid and phenolic compounds in fresh and canned fruit of peach cultivars: Impact of genotype and canning on their concentration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 114, p. 104734, 2022. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.104734.

CÓL, Carla Dettenborn; TISCHER, Bruna; HICKMANN FLÔRES, Simone; RECH, Rosane. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, p. 23–31, 2021. DOI: 10.1016/j.fbp.2020.12.004.

CORRÊA, Paulo C.; RESENDE, Osvaldo; MARTINAZZO, Ana P.; GONELI, André L. D.; BOTELHO, Fernando M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501–510, 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000300020.

CORREIA, Laura Fernandes Melo; FARAONI, Aurelia Santos; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena Maria. Efeitos do processamento industrial de alimentos sobre a estabilidade de vitaminas. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 83–95, 2008.

COSTA, Carlos Alexandre Rocha Da; MACHADO, Gilson Gustavo Lucinda; RODRIGUES, Luiz José; BARROS, Hanna Elisia Araújo De; NATARELLI, Caio Vinicius Lima; VILAS BOAS, Eduardo Valério de Barros. Phenolic compounds profile and antioxidant activity of purple passion fruit's pulp, peel and seed at different maturation stages. **Scientia Horticulturae**, v. 321, p. 112244, 2023. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112244.

COSTA SANTOS, Dyego; COSTA, Tiago Nascimento; FRANCO, Fabiana Braga; COSTA CASTRO, Risle; LIMA FERREIRA, João Paulo; SILVA SOUZA, Marcel Alexandre; SANTOS, Johnson Clay Pereira. Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas da polpa de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. e2018305, 2019. DOI: 10.1590/1981-6723.30518.

DEHNAD, Danial; JAFARI, Seid Mahdi; AFRASIABI, Maryam. Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques. **Trends in Food Science & Technology**, v. 57, p. 116–131, 2016. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.09.002.

DELFIYA, D. S. Aniesrani; PRASHOB, K.; MURALI, S.; ALFIYA, P. V.; SAMUEL, Manoj P.; PANDISELVAM, R. Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 6, p. e13810, 2022. DOI: 10.1111/JFPE.13810.

DEMAN, John M.; FINLEY, John W.; HURST, W. Jeffrey; LEE, Chang Yong. **Principles of Food Chemistry**. 4. ed. Cham: Springer International Publishing, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-63607-8.

DESHMUKH, Sneha; KHAMBALKAR, V. P.; KALBANDE, S. R. Investigation on improved solar dryers for agriculture. **Interdisciplinary Environmental Review**, v. 19, n. 1, p. 1, 2018. DOI: 10.1504/IER.2018.10010857.

DIAMANTE, Lemuel M.; MUNRO, Peter Aaron. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 271–276, 1993. DOI: 10.1016/0038-092X(93)90122-5.

DIÓGENES, Adelino de Melo Guimarães *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: 10.3390/foods11121751.

DIONELLO, Rafael Gomes; BERBERT, Pedro Amorim; MOLINA, Marília Amorim Berbert De; PEREIRA, Rozimar de Campos; VIANA, Alexandre Pio; CARLESSO, Vinicius de Oliveira. Secagem de fatias de abacaxi *in natura* e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 232–240, 2009. DOI: 10.1590/S0101-20612009000100036.

EL-SALAM, Ekram Abd; ALI, Afaf Mohammed; HAMMAD, Karima Said. Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 4, p. 1449–1461, 2021. DOI: 10.1007/s13197-020-04657-2.

ERBAY, Zafer; ICIER, Filiz. A Review of Thin Layer Drying of Foods: Theory, Modeling, and Experimental Results. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 5, p. 441–464, 2010. DOI: 10.1080/10408390802437063.

ERTEKIN, Can; YALDIZ, Osman. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 3, p. 349–359, 2004. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007.

FAGBEMI, Kehinde Oluwakemi; AINA, Daniel Ayandiran; ADEOYE-ISIJOLA, Morenike Olutunmbi; NAIDOO, Kubendran Kista; COOPOOSAMY, Roger Murugas; OLAJUYIGBE, Olufunmiso Olusola. Bioactive compounds, antibacterial and antioxidant activities of methanol extract of *Tamarindus indica* Linn. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 9432, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-13716-x.

FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 5. ed. Sawston, UK: Woodhead Publishing, 2022.

FENNEMA, Owen R.; DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. **Fennema's Food Chemistry**. 5. ed. Boca Raton, US: CRC Press, 2017. DOI: 10.1201/9781315372914.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FERREIRA, Mário Nogueira. **Estudo da secagem de jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma**. 2017. Dissertação - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

FREITAS, Bheatrix S. M. de; CAVALCANTE, Maisa D.; CAGNIN, Caroline; SILVA, Richard M. da; PLÁCIDO, Geovana R.; OLIVEIRA, Daniel E. C. De. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430–435, 2018. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p430-435.

GANTNER, Magdalena; KOSTYRA, Eliza. Special issue on the latest research on flavor components and sensory properties of food during processing and storage. **Foods 2023, Vol. 12, Page 3761**, v. 12, n. 20, p. 3761, 2023. DOI: 10.3390/FOODS12203761.

GARCIA-AMEZQUITA, Luis Eduardo; TEJADA-ORTIGOZA, Viridiana; HEREDIA-OLEA, Erick; SERNA-SALDÍVAR, Sergio O.; WELTI-CHANES, Jorge. Differences in the dietary fiber content of fruits and their by-products quantified by conventional and integrated AOAC official methodologies. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 67, p. 77–85, 2018. DOI: 10.1016/j.jfca.2018.01.004.

GOKHALE, Sagar V.; LELE, Smita. S. Dehydration of red beet root (*Beta vulgaris*) by hot air drying: Process optimization and mathematical modeling. **Food Science and Biotechnology, [S. l.]**, v. 20, n. 4, p. 955–964, 2011. DOI: 10.1007/s10068-011-0132-4.

GONZAGA, Bruna Beatriz Nascimento; COELHO, Bruno Emanuel Souza Coelho; SOUSA, Karla dos Santos Melo De; ARAÚJO, Samuel Gonçalves de Araújo; DUARTE, Valéria Medrado Duarte; SILVA, Laurenielle Ferreira Moraes da Silva. Production and quality of pineapple juice with mint powder by foam-mat drying. **Comunicata Scientiae**, v. 12, p. Sec2:1-Sec2:7, 2021.

GUERRA, Nonete Barbosa; DAVID, Paulo Roberto de Barros Salomão; MELO, Débora Dias De; VASCONCELOS, Adriana Barbosa Buarque; GUERRA, Mônica Rabelo Maciel. Modificações do método gravimétrico não enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 1, p. 45–52, 2004. DOI: 10.1590/S1415-52732004000100005.

GURGEL, Camilla Emanuelle Mendes Rocha. **Produção de pó de banana verde e madura através da secagem em camada de espuma – Otimização das condições de processo e avaliação do produto**. 2019. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

HAGHI, Akbar Khodaparast; AMANIFARD, Nim. Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 25, n. 3, p. 491–501, 2008. DOI: 10.1590/S0104-66322008000300007.

HAMACEK, Fabiana Rossi; SANTOS, Priscila Rossini Gomes; CARDOSO, Leandro de Moraes; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena Maria. Nutritional composition of tamarind (*Tamarindus indica* L.) from the Cerrado of Minas Gerais, Brazil. **Fruits**, v. 68, n. 5, p. 381–395, 2013. DOI: 10.1051/fruits/2013083.

HARYANTO, Bode; SINUHAI, Tubagus Rayyan Fitra; TARIGAN, Eari Yossi; TARIGAN, M. B.; SITEPU, N. A. Br. Simulation of natural drying kinetics of carrot (*Daucus carota* L.) on thickness variation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 782, n. 3, p. 032086, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/782/3/032086.

HAVINGA, Reinout M.; HARTL, Anna; PUTSCHER, Johanna; PREHSLER, Sarah; BUCHMANN, Christine; VOGL, Christian R. *Tamarindus indica* L. (*Fabaceae*): Patterns of use in traditional African medicine. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 127, n. 3, p. 573–588, 2010. DOI: 10.1016/j.jep.2009.11.028.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transaction of American Society of Agricultural Engineers**, v. 17, n. 6, p. 1167–1168, 1974. DOI: 10.13031/2013.37052.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, p. 169–174, 1961.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2023: Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro.

INYANG, Uwem Ekwere; OBOH, Innocent Oseribho; ETUK, Benjamin Reuben. Kinetic Models for Drying Techniques - Food Materials. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 08, n. 02, p. 27–48, 2018. DOI: 10.4236/ACES.2018.82003.

JANGAM, S. V. Challenging opportunities in drying R&D. **Drying Technology**, v. 38, n. 11, p. 1389–1390, 2020. DOI: 10.1080/07373937.2019.1661665.

JOARDDER, Mohammad U. H.; ALSBUA, Reham; AKRAM, Washim; KARIM, M. A. Effect of sample rugged surface on energy consumption and quality of plant-based food materials in convective drying. **Drying Technology**, v. 39, n. 10, p. 1339–1348, 2021. DOI: 10.1080/07373937.2020.1745824.

JOSHI, A. A.; KSHIRSAGAR, R. B.; SAWATE, A. R. Studies on Standardization of Enzyme Concentration and Process for Extraction of Tamarind Pulp, Variety Ajanta. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 03, n. 02, 2012. DOI: 10.4172/2157-7110.1000141.

JUSTUS, Ariana; BENASSI, Marta de Toledo; IDA, Elza Iouko; KUROZAWA, Louise Emy. Estabilidade física e química de hidrolisados proteicos de okara microencapsulados por spray drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020. DOI: 10.1590/1981-6723.13519.

KANDASAMY, Palani; VARADHARAJU, Nachimuthu; SHAIK, Kaleemullah. Foam-mat drying of papaya (*Carica Papaya* L.) using glycerol monostearate as foaming agent. **Kandasamy**, v. 9, p. 17–27, 2012.

KARATHANOS, Vaios T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 4, p. 337–344, 1999. DOI: 10.1016/S0260-8774(98)00132-0.

KASSEM, Abdelwahab S. Comparative studies on thin layer drying models for wheat. *Em: Proceedings of the 13th International Congress on Agricultural Engineering*. Rabat, Marrocos: Rabat: ANAFID, 1998. v. 6p. 2–6.

KLUGE, Ricardo Alfredo; TEZOTTO-ULIANA, Jaqueline V.; SILVA, Paula P. M. da. Physiological and environmental aspects of photosynthesis. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, 2015. DOI: 10.5935/1984-6835.20150004.

KUHN, Claudio Rafael; TORALLES, Ricardo Peraça. **Conservação de alimentos**. Pelotas, RS: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Sul-Rio-Grandense, 2013.

LEWIS, W. K. The drying of solid materials. **Journal of Industrial & Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427–432, 1921. DOI: 10.1021/ie50137a021.

LI, Betty W.; CARDOZO, Maria S. Nonenzymatic-gravimetric determination of total dietary fiber in fruits and vegetables. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, v. 75, n. 2, p. 372–374, 1992. DOI: 10.1093/jaoac/75.2.372.

LIM, Dong-Gyun; LEE, Sang-Suk; SEO, Kang-Seok; NAM, Ki-Chang. Effects of different drying methods on quality traits of hanwoo beef jerky from low-valued cuts during storage. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 32, n. 5, p. 531–539, 2012. DOI: 10.5851/kosfa.2012.32.5.531.

LIMA, Thamirys L. S.; CAVALCANTE, Cecylyana L.; SOUSA, Diógenes G. De; SILVA, Pedro H. de A. e; SOBRINHO, Luiz Gualberto Andrade. Avaliação da composição físico-química de polpas de frutas comercializadas em cinco cidades do Alto Sertão paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p. 49, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i2.3378.

LIU, Cuihua; ZHANG, Zhuo; DANG, Zhiming; XU, Juan; REN, Xiaolin. New insights on phenolic compound metabolism in pomegranate fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 285, p. 110138, 2021. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110138.

LOPES, Melissa A.; FERNANDES, Jordana A.; PERAZZINI, Hugo; BOREL, Lidja D. M. S.; LIMA-CORRÊA, Renata A. B. Foam mat drying of coffee aqueous extract: Foam process optimization, drying kinetics, energy consumption, and energy efficiency analysis. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 201, p. 109795, 2024. DOI: 10.1016/j.cep.2024.109795.

MACIEL, Kátia Silva; TEIXEIRA, Luciano José Quintão; LUCIA, Suzana Maria Della; SARAIVA, Sérgio Henriques. Optimization of foam mat drying for instant coffee processing and its effect on drying kinetics and quality characteristics. **Drying Technology**, v. 40, n. 9, p. 1866–1880, 2022. DOI: 10.1080/07373937.2021.1887210.

MACIEL, Roberta M. G.; AFONSO, Marcos R. A.; COSTA, José M. C. Da; SEVERO, Leandro S.; LIMA, Natália D. De. Mathematical modeling of the foam-mat drying curves of guava pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 721–725, 2017. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p721-725.

MANGUEIRA, E. R.; DE LIMA, A. G. Barbosa; DE ASSIS CAVALCANTE, J.; COSTA, N. A.; DE SOUZA, C. C.; DE ABREU, A. K. F.; ROCHA, A. P. T. Foam-mat drying process: theory and applications. **Advanced Structured Materials**, v. 133, p. 61–87, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-47856-8_3.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; SDA, Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa Nº 37, de 1º de Outubro de 2018**. Estabelecer, na forma dos Anexos desta Instrução Normativa, os parâmetros analíticos de suco e de polpa de frutas e a listagem das frutas e demais quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade já fixados pelo Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento através da IN MAPA nº 49, de 26 de setembro de 2018. Brasil, 2018. p. 16.

MAROULIS, Z. B.; KIRANOUDIS, C. T.; MARINOS-KOURIS, D. Heat and mass transfer modeling in air drying of foods. **Journal of Food Engineering**, v. 26, n. 1, p. 113–130, 1995. DOI: 10.1016/0260-8774(94)00040-G.

MARTINS, Daniela; CARVALHO FERREIRA, Domingos De; GAMA, Miguel; DOURADO, Fernando. Dry Bacterial Cellulose and Carboxymethyl Cellulose formulations with interfacial-active performance: processing conditions and redispersion. **Cellulose**, v. 27, n. 11, p. 6505–6520, 2020. DOI: 10.1007/s10570-020-03211-9.

MENCARELLI, Alessio; MARINELLO, Francesco; MARINI, Alberto; GUERRINI, Lorenzo. Two-stage drying of tomato based on physical parameter kinetics: operative and qualitative optimization. **European Food Research and Technology**, v. 249, n. 9, p. 2253–2264, 2023. DOI: 10.1007/s00217-023-04288-9.

MENESES, Viviana Pereira De; SILVA, José Ramon Afonso Da; FERREIRA NETO, João; ROLIM, Hermano Oliveira; ARAÚJO, Ana Luiza Macedo De; LIMA, Poliana Sousa Epaminondas. Subprodutos de frutas tropicais desidratados por secagem convectiva. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 472, 2018. DOI: 10.18378/rvads.v13i4.5810.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A New model for single layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503–1513, 2002. DOI: 10.1081/DRT-120005864.

MIDILLI, Adnan; KUCUK, Haydar. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 7, p. 1111–1122, 2003. DOI: 10.1016/S0196-8904(02)00099-7.

MOHAMED, Abdulrahim A.; ISMAIL-FITRY, Mohammad Rashedi; ROZZAMRI, Ashari; BAKAR, Jamilah. Effect of foam-mat drying on kinetics and physical properties of Japanese threadfin bream (*Nemipterus japonicus*) powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 3, 2022. DOI: 10.1111/jfpp.16376.

MORAIS, Simone Janaína da Silva; DEVILLA, Ivano Alessandro; FERREIRA, Daiane Assis; TEIXEIRA, Itamar Rosa. Mathematical modeling of the drying curves and diffusion coefficient of cowpea grains (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 455–463, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000300006.

MORGAN, A. I. Jr; GINETTE, L. F.; RANDALL, J. M.; GRAHAM, R. P. Technique for improving instant foods. **Food Engineering**, v. 31, p. 89–94, 1959.

MOUNIR, Sabah. Foam Mat Drying. *Em*: NEMA, Prabhat K.; KAUR, Barjinder Pal; MUJUMDAR, Arun S. (org.). **Drying technologies for foods: Fundamentals and applications: Part III**. New Delhi, IN: NIPA, 2018. p. 169–191. DOI: 10.59317/9789389992083.

MPHAHLELE, Rebogile R.; FAWOLE, Olaniyi A.; MAKUNGA, Nokwanda P.; OPARA, Umezuruike L. Effect of drying on the bioactive compounds, antioxidant, antibacterial and antityrosinase activities of pomegranate peel. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 16, n. 1, p. 143, 2016. DOI: 10.1186/s12906-016-1132-y.

MUJUMDAR, Arun S. Principles, Classification, and Selection of Dryers. *Em*: MUJUMDAR, Arun S. (org.). **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. Boca Raton, Estados Unidos da América: CRC Press, 2006. p. 3–32. DOI: 10.1201/9781420017618.

MUZAFFAR, Khalid; KUMAR, Pradyuman. Effect of process parameters on extraction of pulp from tamarind fruit. *Em*: MISHRA, G. C. (org.). **Conceptual Frame Work & Innovations in Agroecology and Food Sciences**. 1. ed. Nova Delhi: Krishi Sanskriti Publications, 2015. p. 65–67.

MUZAFFAR, Khalid; KUMAR, Pradyuman. Spray Drying of Tamarind Pulp: Effect of Process Parameters Using Protein as Carrier Agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 2, p. e12781, 2017. DOI: 10.1111/jfpp.12781.

NETO, Raul Dantas Vieira. **Frutíferas potenciais para os tabuleiros costeiros e baixadas litorâneas**. Aracaju: Empraba Tabuleiros Costeiros/Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe, 2002.

OBULESU, M.; BHATTACHARYA, Sila. Color Changes of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Pulp During Fruit Development, Ripening, and Storage. **International Journal of Food Properties**, v. 14, n. 3, p. 538–549, 2011. DOI: 10.1080/10942910903262129.

OMIDI, Shima; AARABI, Aazam; ZAKI DIZAJI, Hassan; SHAHDADI, Fatemeh. Microwave-assisted foam mat drying of red beet pulp: influence of milk protein concentrate (MPC) and maltodextrin as a foaming agent, optimization and quality attribute. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 18, n. 4, p. 2505–2525, 2024. DOI: 10.1007/s11694-023-02324-6.

OSAMA, Khwaja; YOUNIS, Kaiser; QADRI, Ovais Shafiq; PARVEEN, Shama; SIDDIQUI, Mohammed Haris. Development of under-utilized kadam (*Neolamarkia cadamba*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 154, p. 112782, 2022. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112782.

OUBELLA, Khadija; MOUHANNI, Hind; BAHAMMOU, Younes; IDLIMAM, Ali; LAMHARRAR, Abdelkader; BENDOU, Abdelaziz. Influence of drying temperature on the different thermodynamic parameters during the indirect convective solar drying of crocus sativus l. of morocco thin-layer solar drying of moroccan saffron. **The Scientific World Journal**, v. 2022, p. 1–12, 2022. DOI: 10.1155/2022/1656862.

PAGE, Glen E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. M.Sc. Thesis - Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1949.

PANDISELVAM, Ravi *et al.* The influence of non-thermal technologies on color pigments of food materials: An updated review. **Current Research in Food Science**, v. 6, p. 100529, 2023. DOI: 10.1016/j.crfs.2023.100529.

PATRAS, Ankit; BRUNTON, Nigel Patrick; O'DONNELL, Colm; TIWARI, Brijesh Kumar. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 1, p. 3–11, 2010. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.07.004.

QADRI, Ovais S.; OSAMA, Khwaja; SRIVASTAVA, Abhaya K. Foam mat drying of papaya using microwaves: Machine learning modeling. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 6, 2020. DOI: 10.1111/jfpe.13394.

RADÜNZ, Lauri Lourenço; AMARAL, Antônio Sergio Do; MOSSI, Altemir José; MELO, Evandro de Castro; ROCHA, Ronicely Pereira. Avaliação da Cinética de Secagem de Carqueja. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 19, n. 1, p. 19–27, 2011. DOI: 10.13083/1414-3984.v19n01a02.

RAJKUMAR, P.; IDHAYAVARMAN, S.; DEEPA, J.; INDU RANI, C.; SUDHA, P.; ARULMARI, R.; AMUTHASELVI, G. Design and Development of a Belt Type Dryer for Drying Tamarind. **Madras Agricultural Journal**, v. 109, p. 119–126, 2022. DOI: 10.29321/MAJ.10.000580.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, Ramasami; VISWANATHAN, Rangaraju; RAGHAVAN, G. S. Vijaya. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1452–1459, 2007. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 311–319, 2001. DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00228-4.

RESENDE, Osvaldo; JÚNIOR, Paulo Cesar Afonso; CORRÊA, Paulo César; SIQUEIRA, Valdiney Cambuy. Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 327–335, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, Delia B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, v. 124, p. 200–205, 2019. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.05.028.

RODRIGUES, Luiz José. **Development and minimal processing of native pitaya (Selenicereus setaceus Rizz.) from Brazilian cerrado**. 2010. Tese - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 2010.

SANGAMITHRA, A.; VENKATACHALAM, Sivakumar; JOHN, Swamy Gabriela; KUPPUSWAMY, Kannan. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 3165–3174, 2015. DOI: 10.1111/JFPP.12421.

SANTOS, Erica Heloise Freitas; NETO, Acácio Figueiredo; DONZELI, Vanessa Polon. Aspectos físico-químicos e microbiológicos de polpas de frutas comercializadas em Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, n. 0, 2016. DOI: 10.1590/1981-6723.8915.

SANTOS, Newton Carlos; BARROS, Sâmela Leal; ALMEIDA, Raphael Lucas Jacinto; NASCIMENTO, Amanda Priscila Silva; ALMEIDA, Renata Duarte. Influence of temperature in the centesimal composition of pitomba shell (*Talisia esculenta*). **Higiene Alimentar**, v. 33, n. 288/289, p. 1477–1481, 2019.

SHAMEENA BEEGUM, P. P.; MANIKANTAN, Ramarathinam; ANJU, K. B.; VINIJA, V.; PANDISELVAM, Ravi; JAYASHEKHAR, S.; HEBBAR, K. B. Foam mat drying technique in coconut milk: Effect of additives on foaming and powder properties and its economic analysis. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 11, 2022. DOI: 10.1111/jfpp.17122.

SHARAF-ELDEEN, Y. I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. Y. A Model for Ear Corn Drying. **Transaction of American Society of Agricultural Engineers**, v. 23, n. 5, p. 1261–1265, 1980. DOI: 10.13031/2013.34757.

SILVA, Adriano Sant'ana; GURJÃO, Kátia Cristina de Oliveira; ALMEIDA, Francisco de Assis Cardoso; BRUNO, Riselane de Lucena Alcântara; PEREIRA, Walter Esfrain. Dehydration of tamarind pulp through the foam-mat drying method. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899–1905, 2008. DOI: 10.1590/S1413-70542008000600032.

SILVA, Larissa Morais Ribeiro Da; FIGUEIREDO, Evania Altina Teixeira De; RICARDO, Nagila Maria Pontes Silva; VIEIRA, Icaro Gusmao Pinto; FIGUEIREDO, Raimundo Wilane De; BRASIL, Isabella Montenegro; GOMES, Carmen L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398–404, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.08.001.

SILVA, Emerson Iago Garcia e; SILVA, Joelma Barbosa Da; ALBUQUERQUE, Janiclecia Macedo; MESSIAS, Cristhiane Maria Bazílio de Omena. Physico-chemical characterization of

Tamarind residues (*Tamarindus indica* L.): nutritional and anti-nutritional potential. **O Mundo da Saúde**, v. 44, n. e0702020, p. 595–606, 2020. DOI: 10.15343/0104-7809.202044595606.

SILVA, Paulo Sérgio Lima e; SÁ, Wigna Ribeiro De; MARIGUELE, Keny Henrique; BARBOSA, Antônia Patrícia Rodrigues; OLIVEIRA, Odaci Fernandes De. Distribuição do teor de sólidos solúveis totais em frutos de algumas espécies de clima temperado. **Revista Caatinga**, v. 15, n. 1/2, p. 19–23, 2002.

SINGH, R. Paul; HELDMAN, Dennis R. **Introduction to Food Engineering**. 5. ed. Oxford, UK: Elsevier, 2014. DOI: 10.1016/C2011-0-06101-X.

SOUSA, Carolina Fontes De; SOUSA, Severina De; FIGUEIREDO, Joyce Salviano Barros De; MORAES, Maria Rayanne Lima De; CARVALHO, Izis Palilla Pereira de Sena; CHAVES, Filipe José Ferreira; MATA, Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti; ALMEIDA, Glauber Nunes De. Kinetic drying in low food layout of passion fruit, using different additives. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 70821–70829, 2020. a. DOI: 10.34117/bjdv6n9-506.

SOUSA, Yone Alves; BORGES, Mayara Aparecida; VIANA, Alciene Ferreira da Silva; DIAS, Adrielle Leal; SOUSA, José Jeosafá Vieira De; SILVA, Bruno Alexandre Da; SILVA, Silvia Katrine Rabelo Da; AGUIAR, Fagner Sousa De. Avaliação físico-química e microbiológica de polpas de frutas congeladas comercializadas em Santarém-PA. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020. b. DOI: 10.1590/1981-6723.08518.

SOUZA, Luana Maria Rufino De; CANUTO, Morgana Fabílola Cunha Silva; SILVA, Débora Rafaelly Soares; FARIAS, Fabiana Pimentel Macêdo; SANTOS, Francislaine Suelia Dos. Drying the pulp of umbu (*Spondias tuberosa*) in a foam layer. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e488101119955, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19955.

SOUZA, Jéssica L. F.; OLIVEIRA, Daniel E. C.; PLÁCIDO, Geovana R.; EGEEA, Mariana B.; CALIARI, Márcio; SILVA, Marco A. P. Da. Thermodynamic and nutritional properties and drying kinetics of pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) mesocarp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 655–661, 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p655-661.

SPICES BOARD INDIA. **Major spice wise area production 2023-24**. 2024. Disponível em: <https://indianspices.com/index.html>.

SRAMEK, Martin; SCHWEIGGERT, Ralf Martin; KAMPEN, Andreas Van; CARLE, Reinhold; KOHLUS, Reinhard. Preparation of high-grade powders from tomato paste using a vacuum foam drying method. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 8, 2015. DOI: 10.1111/1750-3841.12965.

SUCUPIRA, Natália Rocha; XEREZ, Ana Caroline Pinheiro; SOUSA, Paulo Henrique Machado De. Perdas vitamínicas durante o tratamento térmico de alimentos. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 2, p. 121–129, 2012. DOI: 10.17921/2447-8938.2012V14N2P.

SULIMAN, Sazmin Sufi; OTHMAN, Norasikin; NOAH, Norul Fatiha Mohamed; KAHAR, Izzat Naim Shamsul. Separation of phenolic compounds from fruit processing wastewater using

liquid membrane technology: A short review. **Biochemical Engineering Journal**, v. 200, p. 109096, 2023. DOI: 10.1016/j.bej.2023.109096.

TBCA, Tabela Brasileira de Composição de Alimentos; USP, Universidade de São Paulo; FORC, Food Research Center. **TBCA - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**, São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: a new model. **Transaction of American Society of Agricultural Engineers**, v. 11, n. 4, p. 582–586, 1968.

THUWAPANICHAYANAN, Ratiya; PRACHAYAWARAKORN, Somkiat; SOPONRONNARIT, Somchart. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 573–583, 2008. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.11.008.

THUY, Nguyen Minh; TIEN, Vo Quoc; TAI, Ngo Van; MINH, Vo Quang. Effect of foaming conditions on foam properties and drying behavior of powder from magenta (*Peristrophe x burghiana*) leaves extracts. **Horticulturae** 2022, Vol. 8, Page 546, v. 8, n. 6, p. 546, 2022. DOI: 10.3390/HORTICULTURAE8060546.

USDA, United States Department of Agriculture. **FoodData Central**. SR Legacy, 2019. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-search?query=&type=Foundation>.

VARZAKAS, Theodoros.; TZIA, Constantina. **Handbook of food processing**. Boca Raton: CRC Press, 2016.

VEGA-MERCADO, Humberto; GÓNGORA-NIETO, M. Marcela; BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 271–289, 2001. DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00224-7.

VIEIRA, Luanne Morais; SOUSA, Mariana Séfora Bezerra; MANCINI-FILHO, Jorge; LIMA, Alessandro De. Total phenolics and antioxidant capacity “in vitro” of tropical fruit pulps. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 888–897, 2011. DOI: 10.1590/S0100-29452011005000099.

VIMERCATI, Wallaf Costa; MACEDO, Leandro Levate; ARAÚJO, Cintia da Silva; TEIXEIRA, Luciano José Quintão; SARAIVA, Sérgio Henriques. Efeito da temperatura na cinética de secagem em leito de espuma e na degradação de antocianina em morango. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019. DOI: 10.1590/1981-6723.22118.

WANDERLEY, Roberta de Oliveira Sousa *et al.* The temperature influence on drying kinetics and physico-chemical properties of pomegranate peels and seeds. **Foods**, v. 12, n. 2, p. 286–301, 2023. DOI: 10.3390/foods12020286.

WANG, Chen Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transaction of American Society of Agricultural Engineers**, v. 11, n. 78–6505, p. 668–672, 1978.

WOJDYŁO, Aneta; LECH, Krzysztof; NOWICKA, Paulina. Effects of Different Drying Methods on the Retention of Bioactive Compounds, On-Line Antioxidant Capacity and Color of the Novel Snack from Red-Fleshed Apples. **Molecules**, v. 25, n. 23, p. 5521, 2020. DOI: 10.3390/molecules25235521.

WU, Chunyu *et al.* Dry Nutrition Delivery System Based on Defatted Soybean Particles and Its Application with β -Carotene. **Molecules**, v. 28, n. 8, p. 3429, 2023. DOI: 10.3390/molecules28083429.

YAGCIOGLU, Kadir; DEGIRMENCIOGLU, Adnan; CAGATAY, Feyza. Drying characteristics of laurel leaves under different conditions. *Em: 7th. International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*. Adana, Turquia: Proceedings Adana: Cukurova University, 1999. p. 565–569.

YAHIA, E. M.; SALIH, N. K. E. Tamarind (*Tamarindus indica* L.). *Em: YAHIA, Elhadi M. (org.). Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Mangosteen to White Sapote*. Sawston: Woodhead Publishing, 2011. v. 4p. 442–458. DOI: 10.1533/9780857092618.442.

ZHOU, Yufeng; CAO, Yuanxiao; LI, Jiaxun; AGAR, Osman Tuncay; BARROW, Colin; DUNSHEA, Frank; SULERIA, Hafiz Ansar Rasul. Screening and characterization of phenolic compounds by LC-ESI-QTOF-MS/MS and their antioxidant potentials in papaya fruit and their by-products activities. **Food Bioscience**, v. 52, p. 102480, 2023. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102480.