



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DO FRUTO DA PITOMBEIRA (*Talisia
esculenta*) PARA ELABORAÇÃO DE SUBPRODUTO**

ANA MARIA DE SOUZA ARAÚJO

CAMPINA GRANDE - PB

2024

**APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DO FRUTO DA PITOMBEIRA (*Talisia
esculenta*) PARA ELABORAÇÃO DE SUBPRODUTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito necessário para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Autora: Ana Maria de Souza Araújo

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Regina Nascimento Campos

CAMPINA GRANDE - PB

2024

A663a

Araújo, Ana Maria de Souza.

Aproveitamento dos resíduos do fruto da pitombeira (*Talisia esculenta*) para elaboração de subproduto / Ana Maria de Souza Araújo. – Campina Grande, 2024.

120 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação: Profa. Dra. Ana Regina Nascimento Campos".

Referências.

1. Pitombeira (*Talisia esculenta*). 2. Reaproveitamento. 3. Segurança Alimentar. 4. Farinha – Produto Alimentício. I. Campos, Ana Regina Nascimento. II. Título.

CDU 582.746.46(043)

ANA MARIA DE SOUZA ARAÚJO

**APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DO FRUTO DA PITOMBEIRA (*Talisia
esculenta*) PARA ELABORAÇÃO DE SUBPRODUTO**

APROVADO EM: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Regina Nascimento Campos
Orientadora – UAEQ/CCT/UFCG

Prof. Dr. André Luiz Fiquene de Brito
Examinador – UAEQ/CCT/UFCG

Dr. Antonio Daniel Buriti de Macedo
Examinador – UFCG/PPGCNBiotec/Bolsista FAPESQ/PDJ



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA QUIMICA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900
Telefone: (83) 2101-1100
Site: <http://cct.ufcg.edu.br>

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO **GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA**,
REALIZADA EM 26 DE FEVEREIRO DE 2024

(Nº 524)

CANDIDATO(A): **Ana Maria de Souza Araújo**. COMISSÃO EXAMINADORA: Ana Regina Nascimento Campos, Prof^a. Dr^a., UFCG, **Orientadora**, André Luiz Fiquene de Brito, Prof. Dr., UFCG/ Examinador Interno, Antonio Daniel Buriti de Macedo, Prof. Dr., UFCG/ Examinador Externo. TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Aproveitamento dos Resíduos do Fruto da Pitombeira (Talisia Esculenta) para Elaboração de Subproduto". ÁREA DE CONCENTRAÇÃO Desenvolvimento de Processos Químicos. HORA DE INÍCIO: **09:30 Horas e trinta minutos** – LOCAL: **por videoconferência**. Em sessão pública, após exposição de cerca de 50 minutos, o(a) candidato(a) foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização, no tema de sua dissertação, obtendo conceito **APROVADO**. Face à aprovação, declara o(a) orientador, achar-se a examinada, legalmente habilitado(a) a receber o **Grau de Mestre Engenharia Química**, cabendo a Universidade Federal de Campina Grande, como de direito, providenciar a expedição do Diploma, a que o(a) mesmo(a) faz jus. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada por mim, Maricé Pereira de Araújo – Secretária do PPGEQ, os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a). Campina Grande, 26 de fevereiro de 2024.

Maricé Pereira de Araújo

Secretária

Ana Regina Nascimento Campos, Prof^a. Dr^a., UFCG

Orientadora

André Luiz Fiquene de Brito, Prof. Dr., UFCG

Examinador Interno

Antonio Daniel Buriti de Macedo, Prof. Dr., UFCG

Examinador Externo

Ana Maria de Souza Araújo

Candidata



Documento assinado eletronicamente por **ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/02/2024, às 10:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE LUIZ FIQUENE DE BRITO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 26/02/2024, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARICE PEREIRA DA SILVA, SECRETÁRIA**, em 26/02/2024, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO DANIEL BURITI DE MACEDO, Usuário Externo**, em 27/02/2024, às 08:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Maria de Souza Araújo, Usuário Externo**, em 28/02/2024, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4229366** e o código CRC **F8656E2B**.

À Deus por toda fortaleza, aos meus amados pais
e esposo por todo apoio, incentivo e cuidado.

“Entregue o seu caminho ao Senhor;
confie nele, e ele agirá”.

Salmos 36:5

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus por sua presença constante em minha vida, por toda proteção, força e coragem que nunca me permitiram desistir dos meus objetivos.

Aos meus queridos pais Natália Lúcia e Ivanildo de Oliveira por todo apoio, cuidado e incentivo aos meus estudos. Amo vocês!

Ao meu esposo Ezequiel por toda compreensão, cumplicidade e apoio nas minhas decisões, te amo muito!

A todos meus familiares, por cada palavra de incentivo e apoio.

A minha professora orientadora Ana Regina, por toda ajuda, orientações e contribuições para desenvolvimento deste trabalho. Obrigada por todo acolhimento no laboratório, pelo incentivo diário e compreensão, minha eterna gratidão.

Aos avaliadores, André Fiquene e Antonio Daniel Buriti, por aceitarem avaliar e propor contribuições neste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

Aos amigos e parceiros de laboratório por toda troca de conhecimentos, ajuda nas pesquisas e companheirismo no laboratório. Grata!

A todos meus amigos por sempre me incentivarem e torcerem por cada uma das minhas conquistas.

A professora Meiry Freire por disponibilizar equipamento para a pesquisa ser realizada no LABNOV.

Ao professor Renato Santana e aos Laboratório de Eletroquímica e Corrosão pela realização das análises no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva-EDX e Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas pelas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura.

A professora Vanessa Bordin e ao técnico Carlos Eduardo Alves do Laboratório de Bromatologia (LABROM) da UFCG/CES pela disponibilidade de realizar análises no local.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Ao apoio da FAPESQ - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba.

A todos que me incentivaram no decorrer da minha formação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	190
LISTA DE TABELAS	11
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo Geral.....	18
2.2. Objetivos Específicos	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1. Pitomba	19
3.2. Resíduos sólidos.....	20
3.3 Resíduos agroindustriais	21
3.4. Secagem.....	22
3.4.1 Secagem convectiva	22
3.4.2. Secagem por irradiação	24
3.5. Cinética de secagem e modelagem matemática	25
4. METODOLOGIA.....	27
4.1 Seleção da matéria-prima e processamento dos resíduos	27
4.2. Análise biométrica dos frutos <i>in natura</i>	28
4.3. Caracterização físico-química dos resíduos e produtos farináceos.....	28
4.3.1. Determinação do Teor de Água	28
4.3.2. Atividade de água	29
4.3.3 Cor	29
4.3.4. Sólidos Solúveis Totais	29
4.3.5. Determinação do potencial Hidrogeniônico.....	29
4.3.6. Resíduo Mineral Fixo	29
4.3.7. Proteína Bruta	30
4.3.8. Determinação de Lipídeos.....	30
4.3.9. Acidez Total Titulável.....	30
4.3.10. <i>Ratio</i>	30
4.3.11. Carboidratos totais.....	30
4.4. Cinética de secagem.....	30

4.4.1 Cinética de secagem convectiva	30
4.4.2 Cinética de secagem por radiação de micro-ondas	31
4.5. Modelos matemáticos.....	32
4.6. Difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas	33
4.7. Obtenção dos produtos farináceos a partir dos resíduos da pitomba	35
4.8. Açúcares totais.....	35
4.8.1. Preparação das soluções de Fehling	35
4.8.2. Titulação da solução de Fehling.....	35
4.8.3. Preparo da amostra.....	36
4.9. Determinação do teor de compostos fenólicos totais, flavonóides totais e atividade antioxidante <i>in vitro</i>	36
4.9.1 Obtenção do extrato	36
4.9.2. Determinação de Compostos Fenólicos Totais (CFT).....	37
4.9.3. Determinação de Flavonóides Totais.....	37
4.9.4 Atividade Antioxidante <i>in vitro</i> - Método FRAP	37
4.9.5. Atividade Antioxidante <i>in vitro</i> - Método ABTS	38
4.10. Análise de Toxicidade	38
4.11. Perfil de minerais	39
4.12. Morfologia das partículas.....	39
4.13. Análises estatísticas.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
ARTIGO 1	41
INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGENS NA CARACTERIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE PRODUTOS FARINÁCEOS A PARTIR DO CAROÇO DE PITOMBA	41
1. INTRODUÇÃO	42
2. MATERIAIS E MÉTODOS	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS	67
ARTIGO 2	72
PROCESSO DE OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS DAS CASCAS DE <i>TALISIA ESCULENTA</i> POR SECAGEM CONVECTIVA E POR IRRADIAÇÃO DE MICRO-ONDAS	72
1. INTRODUÇÃO	73
2. MATERIAIS E MÉTODOS	74

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4. CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS	94
6. CONCLUSÕES GERAIS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXO A - BR 10 2023 021279 4	105
ANEXO B - BR 10 2023 025570 1	109
ANEXO C - BR 10 2023 016821 3	113
ANEXO D - BR 10 2023 025575 2	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Frutos da pitombeira (<i>Talisia esculenta</i>)	27
Figura 2: Resíduos dos frutos da pitombeira (<i>Talisia esculenta</i>). a) cascas e b) caroços.....	28

ARTIGO 1

Figura 1: Valores experimentais da razão de umidade das secagens dos caroços da pitomba: a) secagem em estufa de circulação de ar; b) secagem em forno micro-ondas nas potências de 780, 910 e 1040W	53
Figura 2: Produtos farináceos dos caroços da pitomba obtidos nas secagens em: a) estufa de circulação de ar; b) forno micro-ondas	58
Figura 3: Micrografia dos farináceos do caroço da pitomba em estufa de circulação de ar: a) 1000x; b) 2000x	65
Figura 4: Micrografia dos farináceos do caroço da pitomba em forno micro-ondas: a) 1000x; b) 2000x	65

ARTIGO 2

Figura 1: Valores experimentais da razão de umidade das secagens das cascas da pitomba: a) secagem em estufa de circulação de ar; b) secagem em forno micro-ondas nas potências de 780, 910 e 1040W	82
Figura 2: Farinhas da pitomba obtidos nas secagens em: a) estufa de circulação de ar; b) forno micro-ondas	87
Figura 3: Micrografia das farinhas das cascas da pitomba em estufa de circulação de ar: a) 1000x; b) 2000x	93
Figura 4: Micrografia das farinhas das cascas da pitomba em forno micro-ondas: a) 1000x; b) 2000x	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos matemáticos escolhidos para os ajustes	32
---	----

ARTIGO 1

Tabela 1. Modelos matemáticos escolhidos para os ajustes das secagens dos caroços da pitomba	45
Tabela 2: Análise biométrica dos frutos e resíduos da pitomba	48
Tabela 3: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros para modelos matemáticos de secagem em estufa de circulação de ar dos resíduos dos caroços de pitomba (<i>Talisia esculenta</i>).....	49
Tabela 4: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros para modelos matemáticos de secagem em forno micro-ondas dos resíduos dos caroços de pitomba (<i>Talisia esculenta</i>)	51
Tabela 5: Valores de Difusividades efetivas (Def) e Energias de ativação (Ea) dos caroços da pitomba secos em diferentes temperaturas e condições de secagens	55
Tabela 6: Propriedades termodinâmicas dos caroços da pitomba secos em diferentes condições de secagens	56
Tabela 7: Parâmetros colorimétricos dos produtos farináceos dos resíduos dos caroços da pitomba	57
Tabela 8: Valores médios e desvios padrão da caracterização do caroço da pitomba - <i>in natura</i> e dos seus produtos farináceos em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas	59
Tabela 9: Toxicidade da farinha dos caroços da pitomba na secagem em estufa de circulação de ar	62
Tabela 10: Valores médios e desvios padrão dos fenólicos totais, flavonóides totais e atividade antioxidante dos produtos farináceos do caroço da pitomba em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas	63
Tabela 11: Valores médios e desvios padrão dos minerais constituintes das amostras do caroço de pitomba <i>in natura</i> e dos produtos farináceos originados em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas	64

ARTIGO 2

Tabela 1. Modelos matemáticos escolhidos para os ajustes	76
Tabela 2: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros dos modelos matemáticos na secagem em estufa de circulação de ar das cascas de pitomba	78
Tabela 3: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros para modelos matemáticos de secagem em forno micro-ondas dos resíduos das cascas de pitomba (<i>Talisia esculenta</i>)	80
Tabela 4: Valores de Difusividade efetiva (Def) e Energia de ativação (Ea) das cascas da pitomba secos em diferentes temperaturas e condições de secagens	83
Tabela 5: Propriedades termodinâmicas das secagens das cascas da pitomba	84
Tabela 6: Parâmetros colorimétricos dos produtos farináceos das cascas da pitomba	86

Tabela 7: Valores médios e desvios padrão das características físico-químicas das cascas da pitomba - <i>in natura</i> e dos seus produtos farináceos	87
Tabela 8: Toxicidade da farinha das cascas da pitomba na secagem em estufa de circulação de ar	90
Tabela 9: Valores médios e desvios padrão dos fenólicos totais, flavonóides totais e atividade antioxidante dos produtos farináceos das cascas da pitomba em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas	91
Tabela 10: Valores médios e desvios padrão dos minerais constituintes das amostras da casca de pitomba <i>in natura</i> e dos produtos farináceos originados em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas	92

RESUMO

A pitombeira (*Talisia esculenta*) é pertencente à família das Sapindaceae, frutífera nativa da região amazônica ocidental. Apesar de ser bastante cultivada e comercializada nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, seu potencial nutricional ainda é pouco explorado. Durante seu consumo, as cascas e caroços geralmente são descartados, entretanto, a partir desses resíduos é possível desenvolver novos produtos alimentícios. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi elaborar produtos farináceos a partir dos caroços e cascas do fruto da pitombeira, por secagem convectiva e por irradiação de micro-ondas. Foi realizada a análise biométrica para quantificação e determinação dos formatos dos resíduos e frutos. Os resíduos foram triturados e submetidos às cinéticas de secagens e ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, as melhores condições obtidas foram as escolhidas para desenvolver os farináceos. Avaliando o perfil de minerais identificado por espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva e as características físico-químicas dos resíduos e farináceos através das análises de teor de água, pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, *ratio*, cinzas e proteínas, assim como determinação da atividade de água, açúcares totais, lipídeos, carboidratos totais e parâmetros de cor das farinhas elaboradas. Nos produtos farináceos também foram quantificados os teores de fenólicos totais, flavonóides totais e de atividade antioxidante *in vitro* pelos métodos de redução do ferro (FRAP) e ABTS, e as morfologias das partículas por microscopia eletrônica de varredura. Os dados das cinéticas de secagens tiveram ajustes satisfatórios com diferentes modelos, destacando-se os modelos de Aproximação da Difusão, Midilli, Exponencial de Dois Termos e Page por atenderem os critérios de seleção dos melhores ajustes matemáticos. Com o aumento da temperatura e/ou potência para realização das secagens observou-se que as difusividades efetivas e as energias livre de Gibbs aumentaram, enquanto as variações de entalpia e entropia diminuíram. Houve interferências nos resultados dos parâmetros analisados com o uso dos métodos de secagens, ocorrendo reduções nos teores de água e aumento nos teores de sólidos solúveis totais, acidez total titulável, cinzas, proteínas e minerais, indicando assim uma maior concentração dos nutrientes. Os dados demonstram que as farinhas tendem a coloração vermelha para tom amarelo, que não são tóxicas e apresentam teores de proteína bruta, carboidratos totais, fenólicos totais, flavonóides totais, atividade antioxidante e minerais relevantes. Portanto, pode-se considerar que através dos processos de secagens dos resíduos da pitomba utilizando tanto a estufa de circulação de ar como o forno micro-ondas é possível obter produtos farináceos com potencial para a elaboração de novos produtos alimentícios, agregando valor e reduzindo o desperdício da matéria-prima.

Palavras-chave: Farinha; Produto alimentício; Reaproveitamento; Segurança alimentar.

ABSTRACT

The pitombeira (*Talisia esculenta*) belongs to the Sapindaceae family, a fruit tree native to the western Amazon region. Although it is widely cultivated and commercialized in the North and Northeast regions of Brazil, its nutritional potential is still little explored. During its consumption, its peels and pits are usually discarded, however, from this waste it is possible to develop new food products. Thus, the objective of this work was to develop farinaceous products from the pits and peels of the pitombeira fruit, by convective drying and microwave irradiation. Biometric analysis was performed to quantify and determine the formats of residues and fruits. The residues were crushed and subjected to drying kinetics and adjustments of the mathematical models to the experimental data, the best conditions obtained were those chosen to develop the farinaceous. Evaluating the mineral profile identified by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer and the physicochemical characteristics of residues and flours through the analysis of water content, pH, total soluble solids, total titratable acidity, ratio, ash and proteins, as well as determination of water activity, total sugars, lipids, total carbohydrates and color parameters of the flours made. In the flouraceous products, the contents of total phenolics, total flavonoids and antioxidant activity were also quantified in vitro by iron reduction methods (FRAP) and ABTS, and the particle morphologies by scanning electron microscopy. The drying kinetics data had satisfactory adjustments with different models, especially the Diffusion Approximation, Midilli, Two-Term Exponential and Page models because they met the selection criteria of the best mathematical fits. With the increase of temperature and/or power for drying, it was observed that the effective diffusivities and Gibbs free energies increased, while the enthalpy and entropy variations decreased. There were interferences in the results of the parameters analyzed with the use of drying methods, with reductions in water content and increase in the levels of total soluble solids, total titratable acidity, ash, proteins and minerals, thus indicating a higher concentration of nutrients. The data show that the flours tend to have a red to yellow color, that they are non-toxic and have contents of crude protein, total carbohydrates, total phenolics, total flavonoids, antioxidant activity and relevant minerals. Therefore, it can be considered that through the drying processes of pitomba waste using both the air circulation oven and the microwave oven, it is possible to obtain farinaceous products with potential for the elaboration of new food products, adding value and reducing the waste of the raw material.

Keywords: Flour; Food product; Reuse; Food security.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma grande diversidade de espécies frutíferas, dentre as quais pode-se destacar a pitombeira (*Talisia esculenta*). Frutífera nativa da Amazônia Ocidental, da família Sapindaceae, que inclui espécies alimentares como lichia e guaraná, seus frutos são pequenas drupas globosas com sementes grandes, cobertas por um arilo agridoce que varia de branco a transparente quando maduros (Castro *et al.*, 2019).

Apesar de ser um fruto bastante consumido em algumas regiões, seu potencial alimentício e nutricional ainda é pouco explorado. A *Talisia esculenta* é subutilizada e pode apresentar compostos bioativos de grande potencial e possíveis efeitos biológicos. Estudos indicam atividades antiproliferativas e antimutagênicas na polpa da pitomba, sugerindo que a fruta pode ser uma fonte de alimento funcional (Neri-Numa *et al.*, 2014).

De acordo com Souza *et al.* (2023), os frutos amazônicos mais conhecidos e relatados na comunidade científica como frutos funcionais são o açaí, buriti, guaraná, pitomba, tucumã, uchi e cupuaçu. Apesar da pitombeira ser uma frutífera nativa da Amazônia Ocidental, o consumo de seus frutos se destaca principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. As cascas e os caroços geralmente são descartados, embora possam ser aproveitados de forma mais eficaz. A partir desses resíduos, é possível desenvolver novos alimentos para preservar seus nutrientes e evitar o seu desperdício, além de possibilitar o consumo em períodos pós safra.

Atualmente, a preocupação com o meio ambiente é um assunto amplamente discutido, principalmente em relação aos processos de produção da indústria alimentícia. É essencial buscar constantemente por melhorias no manejo, transporte e destino final desses alimentos, visando à preservação ambiental e diminuir a grande quantidade de perdas existentes (Souza *et al.*, 2021).

O desperdício de alimentos e os resíduos gerados a partir destas perdas são preocupantes, os dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (2013) apontam que 1,3 bilhão de toneladas de alimentos é jogado fora por ano no mundo, ou seja, um terço dos alimentos produzidos é desperdiçado. De acordo com Santos *et al.* (2020) os desperdícios de alimentos causam impactos negativos na economia, além de prejuízos nos recursos naturais que são de suma necessidade para a humanidade.

As agroindústrias têm investido cada vez mais na capacidade de processamento, gerando quantidades enormes de subprodutos, todavia, em muitos casos, os subprodutos são

considerados como custos operacionais para as empresas, sendo descartado e atuando como fonte de contaminação ambiental (GAETE; TEODORO; MARTINAZZO, 2020).

Com o intuito de minimizar os custos da produção e mitigar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos agroindustriais, têm sido explorado novas alternativas que visam o reaproveitamento desses materiais, destacando-se a aplicação de técnicas de conservação que viabilizam a utilização dos resíduos na elaboração de novos produtos com potencial para serem introduzidos na alimentação humana (Santos *et al.*, 2020b).

As frutas podem ser consumidas *in natura* ou processadas, sendo a secagem um dos métodos mais utilizados para estabilizar os frutos e seus compostos (Castro *et al.*, 2018). A fruta que passou pelo processo de secagem é mais adequada para suportar o armazenamento por um longo período de tempo sem refrigeração (Ravikumar *et al.*, 2023).

A secagem ou desidratação é o principal método de conservação utilizado em produtos agrícolas. A secagem de produtos alimentícios visa a redução do seu volume e de sua massa durante a remoção de água livre, é um processo bastante utilizado na indústria com a finalidade de obter um produto de alta qualidade que atenda às exigências do mercado, sendo possível ser consumido em períodos onde não há disponibilidade da fruta (Sousa *et al.*, 2021).

Martins *et al.* (2020) afirmam em seu estudo que a secagem apresenta várias vantagens, incluindo a preservação de alimentos, a disponibilidade desses produtos nos períodos de entressafra ou de produção inexistente, a redução de custos de armazenamentos e transporte devido à redução de peso e do volume do produto, a estabilidade dos componentes aromáticos, a proteção contra a degradação enzimática e economia de energia.

Diversos métodos de secagem são utilizados comercialmente, e o tipo de produto, seu valor econômico, a forma física e as qualidades desejadas têm papel na escolha do processo adequado, além disso, é fundamental que a técnica escolhida seja tecnológica e economicamente viável (Zahoor *et al.*, 2023).

A secagem convectiva com o uso de estufa com corrente de ar é um dos métodos mais utilizados para secagem de alimentos. Trata-se da remoção de água do alimento por meio do mecanismo de vaporização térmica e é realizado através do calor produzido artificialmente em condições controladas de corrente de ar, umidade e temperatura. O ar, que é o meio de secagem de alimentos comumente utilizado, conduz calor ao alimento, promovendo a evaporação da água, além de ser o veículo no transporte do vapor úmido a partir do alimento e para o alimento (Silva *et al.*, 2022a).

Em relação à secagem de alimentos por irradiação de micro-ondas, este método tem ganhado destaque em pesquisas, por apresentar como uma das principais vantagens a redução no tempo de processo (Silva *et al.*, 2022a). Este método envolve a utilização de micro-ondas para penetrar no material e aquecê-lo de forma volumétrica, possibilitando assim uma maior taxa de difusão e gradiente de pressão para remover a umidade do material (Kusuma *et al.*, 2023).

Desse modo, como proposta de aproveitamento dos resíduos dos frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*), o desenvolvimento de produtos farináceos que preservem seus componentes, pode ser uma alternativa para agregar valor à matéria-prima, e possibilitar a sua utilização na elaboração de novos produtos destinados à alimentação humana.

No presente estudo aborda-se os principais tópicos teóricos sobre as matérias-primas e técnicas utilizadas, assim como, os principais objetivos da pesquisa, definidos de acordo com as perspectivas do projeto de dissertação. Os resultados e discussões encontram-se estruturados em dois artigos, no qual o primeiro artigo é para a caracterização do caroço e seus farináceos e o segundo para a caracterização das cascas e suas farinhas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Obter e caracterizar produtos farináceos a partir dos resíduos sólidos (cascas e caroços) do fruto da pitombeira (*Talisia esculenta*), por secagem convectiva e irradiação por micro-ondas, para posterior utilização na alimentação humana.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as características biométricas de frutos da pitombeira;
- Caracterizar físico-quimicamente os resíduos do fruto;
- Determinar as cinéticas de secagem dos resíduos em estufa de circulação de ar em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e em forno micro-ondas com diferentes potências (780, 910 e 1040 W) e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais;
- Determinar a difusividade efetiva e as propriedades termodinâmicas dos diferentes resíduos e condições de secagens;
- Obter produtos farináceos a partir dos resíduos desidratados, utilizando estufa de circulação de ar e forno micro-ondas;
- Avaliar as características físico-químicas dos produtos farináceos obtidos pelos dois processos de secagens;
- Investigar a toxicidade dos extratos brutos das farinhas dos resíduos, frente à *Artemia Salina Leach*, determinando a concentração letal 50% (CL₅₀);
- Determinar os teores de compostos fenólicos totais, flavonóides totais e atividade antioxidante *in vitro* dos produtos farináceos;
- Analisar a morfologia dos produtos farináceos obtidos por microscopia eletrônica de varredura.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Pitomba

A pitombeira (*Talisia esculenta* (St. Hil.) Raldek) é uma planta nativa pertencente à família botânica Sapindaceae, encontrada principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. As árvores florescem de agosto a outubro, com maturação pronunciada de janeiro a março, podendo se estender até abril, dependendo do local (Fraga *et al.*, 2021).

Seu fruto, pitomba, é consumido cru e apreciado pelo sabor agridoce característico da polpa (Fraga *et al.*, 2021). Embora seja consumida em várias regiões do Brasil, especialmente no Nordeste, a utilização da polpa é limitada devido à baixa produtividade e à dificuldade de remoção após completa maturação. O endocarpo representa cerca de 50% do peso total do fruto (Castro *et al.*, 2019).

Fraga e Carvalho (2020) afirmam que a pitomba apresenta em suas diferentes estruturas, atividades antioxidantes, antiproliferativas, antimutagênicas e antiinflamatórias, de modo que isso pode ser útil na prevenção de doenças causadas pelo excesso de radicais livres. Dantas *et al.* (2020) ressaltam ainda que é uma promissora fonte de metabólitos secundários, entre fenóis, taninos condensados, antocianinas, leucoantocianidinas, catequinas e flavonas, alcalóides, esteróides e triterpenóides e flavonóides.

As farinhas das cascas de pitomba possuem um ótimo valor nutricional, principalmente fonte de carboidratos e fibras, o que torna possível a troca total ou parcial da farinha de trigo pelas farinhas provenientes das cascas de pitomba (Fernandes *et al.*, 2021).

Castro *et al.* (2019) estudando a semente de pitomba afirmam que a extração do seu amido se torna uma alternativa para a utilização de amidos não convencionais. A partir da extração pela moagem das sementes em solução de metabisulfito de sódio (0,2%) seguida de secagem a 50 °C, foi observado um rendimento de amido igual a 44,0%, além de baixos teores de proteína e lipídios, pureza de 77,78% e teor de amilose de 19,25%, indicando baixo nível de retrogradação após a gelatinização. Com base nos dados obtidos, observou-se que o uso do amido das sementes de pitomba pode ser utilizado na indústria de alimentos devido seu potencial.

Fraga *et al.* (2021), em seu estudo para avaliar a atividade antioxidante e determinar o perfil químico da casca e polpa do fruto de pitomba por espectrometria de massas por ionização por eletrospray, transformada de Fourier, identificaram 19 e 14 compostos bioativos nos extratos etanólico e hexânico da casca, respectivamente. Em relação aos extratos etanólico e

hexânico da polpa, os valores de compostos foram 7 e 10, respectivamente. Os compostos comuns foram ácido cítrico, ácido ascórbico e ácido chiquímico, além disso, o extrato etanólico da casca exibiu alta atividade sequestradora do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) (54,21–81,41%), desse modo, os resultados obtidos destacam a importância da pitomba como fonte promissora de compostos naturais com alta atividade antioxidante.

Ao avaliar os compostos fenólicos da pitomba por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas, Souza *et al.* (2016) observaram 13 compostos, catequinas, flavonoides e ácidos orgânicos, que foram identificados por comparação com padrões e por padrões de fragmentação. O ácido quínico foi o principal composto encontrado na polpa, $507,8 \pm 7,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ DWP). Além disso, 27 compostos orgânicos voláteis foram identificados na pitomba, os principais foram o acetato de 2-fenetila (17,89%) e ésteres de acetato de isopentila (13,43%), os quais contribuem para o aroma característico do fruto.

3.2. Resíduos sólidos

A definição de resíduos sólidos de acordo com a norma NBR 10004 (2004) da Associação Brasileira de Normas Técnicas –ABNT:

São definidos como resíduos nos estados, sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origens industriais, domésticas, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004, 2004).

Segundo a NBR 10004 (2004), os resíduos são classificados em:

a) Classe I – Perigosos

São aqueles que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, ou seja, está relacionado com a periculosidade. Os resíduos perigosos devem apresentar pelo menos uma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

b) Classe II – Não perigosos

Classe II A – Não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos de classe I e de classe II-B, podendo ter propriedades como combustividade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Classe II B – Inertes: são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007(2004), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006(2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

3.3 Resíduos agroindustriais

Os resíduos agroindustriais apresentam potencialidades na sua reutilização, devido à sua composição físico-química. São resíduos decorrentes das atividades agroindustriais, geralmente provenientes do processamento de frutas para produção de polpas, dependendo do tipo de fruta podem ser compostos por casca, caroço ou sementes e bagaço (RICARDINO; SOUZA; SILVA NETO, 2020).

O aproveitamento de resíduos agroindustriais para obtenção de farinhas para enriquecimento em formulações de diversos produtos tem se tornado satisfatório e encontrado em vários estudos. Como no estudo de Souza *et al.* (2021) que teve como objetivo estudar o aproveitamento do resíduo agroindustrial do abacaxi submetido ao processo de secagem e posterior adição em barra de cereais, onde verificou-se a eficiência da adição do pó do resíduo de abacaxi no enriquecimento das barras de cereais em relação a sua composição de compostos bioativos e atividade antioxidante, promovendo a obtenção de uma barra de cereal com propriedades funcionais.

Em conformidade com a pesquisa realizada por Mendes *et al.* (2023) ao avaliarem a produção de farinhas a partir de resíduos agroindustriais de sementes de maracujá, abacate, abóbora e melão, pelo método de secagem em leito fixo, os dados obtidos indicam que o processo de secagem facilita a conservação do produto e que o aproveitamento de sementes para a elaboração de farinhas é uma alternativa viável para agregação de valor ao resíduo do processamento de frutas, por apresentar valor nutricional relevante e ser uma potencial fonte de proteína.

3.4. Secagem

A secagem vem sendo bastante utilizada para a conservação de produtos alimentícios, pois além de ser eficaz à deterioração, também conserva compostos bioativos e nutrientes por mais tempo, aperfeiçoando a segurança alimentar (Sousa *et al.*, 2021). Se trata de uma operação unitária de retirada de água do material por evaporação ou sublimação, mediante aplicação de calor em condições controladas, que faz decrescer a atividade de água, permitindo minimizar a deterioração causada pelas reações microbiológicas, químicas e enzimáticas (Santos *et al.*, 2021).

O objetivo fundamental da secagem é reduzir significativamente o teor de umidade do produto para evitar o crescimento de germes que causam deterioração, devido ao baixo teor de umidade residual. Além da função de preservação, facilita o acondicionamento, manuseio e transporte dos alimentos (Zahoor *et al.*, 2023).

A secagem não preserva somente os alimentos por muito tempo, mas também agrega seu valor, melhora a bioacessibilidade e a biodisponibilidade de compostos promotores de saúde nos alimentos, além de reduzir os custos de transporte e armazenamento (Borah *et al.*, 2023).

O método de secagem é comumente utilizado para garantir a durabilidade a longo prazo, reduzindo o teor de umidade de frutas, vegetais e plantas com um teor de umidade de 80–95% a 8–10% (Kusuma *et al.*, 2023). É um dos métodos de processamento mais típicos e econômicos aplicados para reduzir a perda de produtos pós-colheita e aumentar a vida útil dos produtos (Lin *et al.*, 2023).

Para a produção de um produto seco de alta qualidade, o tipo de secagem e o tempo são os elementos mais cruciais (Ravikumar *et al.*, 2023). De acordo com Kusuma *et al.* (2023) pode-se usar temperaturas acima de 100 °C para secar produtos alimentares, mas o cálculo do tempo necessário deve ser feito com cuidado, porque se os alimentos forem secos por muito tempo os nutrientes serão destruídos, podendo danificar, segundo Castro *et al.* (2018), compostos bioativos como fenóis e flavonoides que são responsáveis por bioatividades que beneficiam a saúde humana, como capacidade antioxidante e antimicrobiana.

3.4.1 Secagem convectiva

Para obtenção de produtos farináceos alguns métodos de secagens são utilizados, sendo o mais comum a secagem convectiva utilizando estufa de circulação de ar. Esse processo envolve a transferência de calor de uma fonte específica para o material a ser seco, seguida de

transferência de umidade por difusão do material para a superfície, onde é removida pelo ar forçado (Mkhize *et al.*, 2023).

De acordo com Stefanello *et al.* (2022) a secagem convencional em estufa com circulação de ar trata-se de um processo simples, mas de tempo prolongado, que pode ocorrer entre 6 e 18h, dependendo da matéria-prima, isso ocorre devido os alimentos geralmente possuírem uma condutividade térmica muito baixa, levando certo tempo para o calor se difundir por toda a porção interna do alimento e completar o processo de desidratação como um todo.

Santos *et al.* (2020a), ao realizarem o estudo da cinética de secagem das cascas de pitomba em um secador convectivo com velocidade de ar fixa ($1,5 \text{ m.s}^{-1}$) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e ajustando os modelos matemáticos empíricos aos dados experimentais, observaram que o modelo matemático de Page teve melhor ajuste por apresentar elevados valores de R^2 ($> 0,99$) e os menores valores da função qui-quadrado para todas as temperaturas de secagem aplicadas. Além disso, verificou-se a composição centesimal das cascas desidratadas, onde constatou-se que os teores de sólidos totais, cinzas e lipídeos aumentaram com o uso de temperaturas mais altas, enquanto a umidade e proteínas apresentaram valores inferiores nessas condições.

Ferreira Júnior *et al.* (2021) objetivaram realizar a secagem em estufa das sementes de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) nas temperaturas de 45, 60, 75 e 90 °C e ajustar diferentes modelos de regressão não linear aos dados experimentais. Para representar a secagem das sementes de tamarindo o modelo de Midilli foi selecionado para a faixa de 45 a 60 °C, e para 75 a 90 °C o modelo ajustado foi o de Dois termos. Além disso, observou-se que o coeficiente de difusão efetivo e a energia livre de Gibbs aumentavam com a elevação da temperatura do ar de secagem, enquanto a entalpia e entropia decrescem.

Ribeiro *et al.* (2020), ao verificarem o efeito da secagem convectiva em estufa sobre as características nutricionais do cajá-manga (*Spondias mombin* L.), observaram que o fruto desidratado teve uma concentração de nutrientes e um baixo teor de umidade. Desse modo, os resultados evidenciaram a utilização da secagem em estufa como uma alternativa para agregar valor ao fruto cajá-manga e consequentemente prolongar sua vida útil.

Silva *et al.* (2020) objetivando produzir batatas baroa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) na forma de chips, assim como avaliar e estudar a cinética de secagem em estufa nas temperaturas de 60 e 70 °C, observaram que na predição da cinética de secagem a 60 °C o modelo de Midilli é o mais indicado e o modelo Aproximação da Difusão para 70 °C. Os dados

obtidos no estudo mostraram também que o aumento da temperatura influencia na redução da umidade, e aumento da difusividade efetiva, mas não influencia na atividade de água dos chips.

3.4.2. Secagem por irradiação

A secagem por irradiação com micro-ondas apresenta vantagens na preservação de alimentos devido ao seu processo de secagem ser mais rápido, reduzindo o tempo necessário para o procedimento (Silva *et al.*, 2022b). Quanto maior a densidade de potência do micro-ondas, mais rápida a taxa de secagem e menor o tempo de secagem (Chen *et al.*, 2023).

De acordo com Borah *et al.* (2023) esse tipo de secagem ajuda alternativamente a maximizar a eficiência de secagem. Dentre outros benefícios, pode-se destacar o aumento na taxa de secagem com redução simultânea no tempo de processamento e a capacidade de melhorar a qualidade, proporcionando melhores atributos sensoriais, aparência, cor e textura (Szadzińska; Mierzwa, 2021).

A secagem com uso de micro-ondas é um método desafiador que depende do aquecimento volumétrico e combina transferência de calor e massa, o aquecimento por micro-ondas cria calor em todo o material, levando a taxas de aquecimento mais rápidas do que o aquecimento convencional; 915 e 2450 MHz são as duas bandas estreitas designadas para uso em aplicações de processamento industrial de alimentos (Zahoor *et al.*, 2023). A dificuldade encontrada nesse processo é a distribuição de calor não uniforme e a fuga térmica, ocasionando temperaturas excessivamente altas, o que reduz a qualidade de materiais sensíveis ao calor, como alimentos e medicamentos (Chen *et al.*, 2023).

Muitos estudos de secagens envolvendo esta técnica estão sendo realizados devido as suas vantagens em comparação com outros métodos. Sousa *et al.* (2021), realizando a cinética de secagem de resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) em forno micro-ondas, verificaram que o modelo Page melhor representou à secagem, utilizando a rampa de aquecimento com 3 ciclos de 5 min à potência de 700 W. Os teores de água finais da casca, eixo central, mesocarpo e semente obtidos após a secagem por micro-ondas foram de 9,57, 7,48, 7,47 e 6,24 %, respectivamente.

No estudo realizado por Sousa *et al.* (2020) para descrever a cinética de secagem de resíduo de acerola (*Malpighia emarginata*) em forno micro-ondas e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, obtiveram que o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou, por ter maior valor de R² e menor valor de desvio quadrático médio, indicando que este modelo representa a secagem. Além disso, pode-se constatar que o processo de desidratação

em forno micro-ondas reduziu o teor de água final do resíduo e o tempo de secagem quando comparado a outros métodos.

Canepelle *et al.* (2020) objetivaram determinar a umidade e realizar o desenvolvimento de curvas de secagem de amostras de abacaxi (*Ananas comosus*) preparadas em rodela e em fatias, submetidas ao processo de desidratação em forno micro-ondas, além de avaliar o potencial de reidratação das amostras. Observou-se que a desidratação máxima foi atingida aos 5 min utilizando o forno micro-ondas, sendo que o teor de umidade foi de 16,56% para as amostras preparadas na forma de rodela e de 23,85% para preparadas na forma de fatias.

3.5. Cinética de secagem e modelagem matemática

A secagem pode ser descrita por modelos matemáticos teóricos, semi-teóricos e empíricos. O uso de modelos teóricos está aumentando devido à disponibilidade do avançado cálculo numérico e sua relevância para a compreensão da secagem de frutos (Castro *et al.*, 2018).

Lin *et al.* (2023) afirmam que a secagem consiste em estudar a relação entre a quantidade de desumidificação e vários fatores que são influenciados pelas condições de processamento, como temperatura e duração da secagem, assim como pelas propriedades dos produtos.

Os modelos relatam dados de difusividade, energia de ativação, propriedades termofísicas, propriedades mecânicas e características estruturais que podem ser utilizados em simuladores de processo, desse modo podem ser utilizados para analisar, projetar e otimizar processos de secagem industrial (Mkhize *et al.*, 2023).

A avaliação da cinética de secagem ajuda a estimar a taxa de secagem, bem como a otimizar os parâmetros de secagem (Lin *et al.*, 2023). A partir da determinação da cinética de secagem e das propriedades termodinâmicas é possível ter informações imprescindíveis para a execução do processo com a máxima eficiência (Santos *et al.*, 2021).

Para Castro *et al.* (2018) a qualidade final do fruto seco determina a aceitabilidade do consumidor, desse modo a avaliação é primordial, assim como a modelagem destes parâmetros na secagem para obter as melhores condições operacionais que preservem as características desejáveis no produto final; a modelagem é uma poderosa ferramenta para a otimização do processo de secagem e o entendimento da fenomenologia da operação.

A avaliação do efeito da temperatura sobre o teor de antocianinas e da cinética de secagem em secador convectivo nas temperaturas de 55, 60, 65, 70 e 75 °C, da polpa de morango (*Fragaria x ananassa* Duch) realizados por Vimercati *et al.* (2019) mostrou que dentre

os modelos ajustados, o modelo de Page foi escolhido para representar a cinética de secagem da polpa de morango, por ter apresentado maior valor do coeficiente de determinação e o menor erro padrão da regressão.

Lima *et al.* (2021) ao estudarem a cinética de secagem e difusividade efetiva do Abiu (*Pouteria caimito*) nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, verificaram que o modelo de Dois Termos é o que melhor representa a secagem por apresentar coeficiente de determinação superior a 0,99. Em relação ao comportamento das curvas cinéticas, foi observado que o aumento na temperatura de secagem gera uma inclinação na curva e uma aceleração na velocidade de retirada de água do produto.

Jorge *et al.* (2020), em seu estudo para estimar a cinética de secagem da polpa dos frutos de gueroaba (*Syagrus oleracea*) submetida à secagem em estufa nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, observaram que o modelo de Midilli apresentou melhor ajuste aos dados experimentais obtidos.

4. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioprocessos (LabBio) da Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ), do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Campina Grande, Paraíba, Brasil.

4.1 Seleção da matéria-prima e processamento dos resíduos

Os frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*) foram adquiridos em estágio de maturação maduros, determinado pela mudança da coloração da casca de verde para marrom, no distrito de Barra do Farias, município de Brejo da Madre de Deus, localizado no agreste pernambucano, com altitude de 480 m, latitude de -8.1343 e longitude de -36.2962.

Os frutos (Figura 1) foram transportados até o laboratório onde inicialmente foram lavados em água potável corrente e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio com concentração de 100 ppm durante 15 min; posteriormente, foram enxaguados para eliminar o excesso da solução clorada. As cascas, polpa e caroço foram retiradas manualmente dos frutos e após esse processo, realizou-se a trituração individual dos resíduos em um liquidificador industrial (METVISA, LQL6220M60N5, Brusque, Santa Catarina, Brasil). A Figura 2 apresenta os resíduos dos frutos após trituração.

Figura 1- Frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*)



Fonte: Autora, 2024.

Figura 2- Resíduos dos frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*). a) cascas e b) caroços.



Fonte: Autora, 2024.

4.2. Análise biométrica dos frutos *in natura*

Para a análise biométrica utilizou-se 100 frutos da pitombeira. Foi usado um paquímetro digital (ZAAS precision, Piracicaba, São Paulo, Brasil), com resolução de 0,01 mm para medição da altura e diâmetro dos frutos e os resultados expressos em milímetros. Utilizando uma balança digital analítica (Shimadzu, ATY224R, Tamboré Barueri, São Paulo, Brasil) foi determinada a massa total dos frutos, assim como a massa dos resíduos constituídos por cascas e caroços, sendo estas medidas separadamente, e os resultados das pesagens foram expressos em gramas.

4.3. Caracterização físico-química dos resíduos e produtos farináceos

Os resíduos *in natura* e os produtos farináceos foram caracterizados, em triplicata, quanto aos parâmetros descritos a seguir.

4.3.1. Determinação do Teor de Água

O teor de água (TA) foi determinado pelo método gravimétrico, a partir da secagem em estufa (SOLAB, SL-100/100, Piracicaba, São Paulo, Brasil) a 105 °C, até atingir massa constante e os valores expressos em porcentagem, de acordo com metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

4.3.2. Atividade de água

A atividade de água (a_w) foi quantificada por leitura direta a 25 °C em higrômetro (METER, Aqualab 4TE, Pullman, Washington, EUA).

4.3.3 Cor

Os parâmetros de cor foram determinados em espectrofotômetro portátil de cor (FRU, modelo WR10QC) em leitura direta no sistema de cor CIELAB, com as coordenadas L^* (luminosidade); a^* (transição da cor verde ($-a^*$) para vermelho ($+a^*$)); e b^* (transição da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$)). Com os resultados de a^* e b^* foram calculados os valores de croma (C^*) (Equação 1), que representa a saturação ou intensidade de cor da amostra, sendo 0 = cor impura e 60 = cor pura, além do ângulo de tonalidade (h°) (Equação 2).

$$C^* = \sqrt{((a^*)^2 + (b^*)^2)} \quad (1)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

4.3.4. Sólidos Solúveis Totais

Os sólidos solúveis totais (SST) foram avaliados por meio da técnica de refratometria na escala °Brix. As leituras foram realizadas utilizando o refratômetro digital AMSZ-J, após sua calibração com água destilada (IAL, 2008).

4.3.5. Determinação do potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) das amostras foi determinado de acordo com a metodologia estabelecida pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). Para isso, foram pesados 5,0 g do material e adicionados a um béquer contendo 50 mL de água destilada. Em seguida, a leitura direta do pH foi realizada utilizando um pHmetro (MS TECNOPON, LUCA-210) após calibração com soluções tampão com pH 4,0 e 7,0.

4.3.6. Resíduo Mineral Fixo

O percentual de resíduo mineral fixo (RMF) ou cinzas foi determinado através da queima do material em forno mufla a 550 °C, até obtenção de cinzas claras, com a perda de massa correspondendo à matéria orgânica e a diferença entre a massa original da amostra e a massa da matéria orgânica fornecendo o teor de cinzas, conforme metodologia descrita em Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008).

4.3.7. Proteína Bruta

O método Kjeldahl (Tedesco *et al.*, 1995) foi utilizado para determinação de proteína bruta (PB) das amostras *in natura* e dos produtos farináceos. Esse método é usado para determinar a matéria nitrogenada total em uma amostra mediante as etapas de digestão, destilação e titulação, utilizando-se o fator de conversão de 6,25 e os resultados expressos em percentagem (%) (bu).

4.3.8. Determinação de Lipídeos

Para a determinação dos lipídeos (Lp) totais foi utilizado a metodologia descrita por Blich e Dyer modificado (1959), baseada na extração de lipídeos pela utilização de solventes polares, metanol e clorofórmio e água. Os resultados foram expressos em percentagem (%).

4.3.9. Acidez Total Titulável

A determinação da acidez total titulável (ATT) foi realizada por titulação potenciométrica da amostra com solução de hidróxido de sódio a 0,1 mol.L⁻¹ até atingir o ponto de equivalência, pH entre 8,2 - 8,4. Foram pesados 5,0 g do material e adicionados a um béquer contendo 100 mL de água destilada, em seguida, a leitura direta do pH foi realizada utilizando um pHmetro (MS TECNOPON, LUCA-210).

4.3.10. Ratio

A relação SST/ATT foi calculada pela razão entre os valores dos sólidos solúveis totais (%) e acidez total titulável (%).

4.3.11. Carboidratos totais

Os valores de carboidratos totais, incluindo fibras, foram determinados pela diferença centesimal utilizando os resultados encontrados em percentagem de teor de água (TA), resíduo mineral fixo (RMF), proteínas (PB) e lipídeos (Lp), de acordo com a Equação (3):

$$\text{Carboidratos totais (g.100g}^{-1}\text{)} = 100 - [\text{TA} + \text{RMF} + \text{PB} + \text{Lp}] \quad (3)$$

4.4. Cinética de secagem

4.4.1 Cinética de secagem convectiva

Para a cinética de secagem convectiva, foi utilizada uma estufa com circulação e renovação de ar (SOLAB, SL 102), com tensão de alimentação de 220 V. As amostras dos

resíduos triturados separadamente da pitomba foram dispostas em bandejas redondas de alumínio com 16 cm de diâmetro, com uma espessura da camada de 0,5 cm, medida com auxílio de um paquímetro digital (ZAAS precision, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Os experimentos foram conduzidos em duplicata, utilizando as temperaturas de 50, 60 e 70 °C e com velocidade do ar de 1,0 m.s⁻¹, com o intuito de determinar o tempo e a temperatura ótimos para a secagem.

Foi realizado o acompanhamento da cinética de secagem pesando-se as bandejas em diferentes intervalos de tempo (5, 15, 30, 60 e 120 min), em balança semi-analítica, até atingir teor de água de equilíbrio (variação de 0,01 g) em três pesagens consecutivas. Os teores de água no início e no final do processo de secagem foram determinados gravimetricamente por secagem em estufa a 105 °C por 24 h. Com base nos dados coletados, foram determinados os valores da razão do teor de água (Equação 4), os quais foram posteriormente ajustados a diferentes modelos matemáticos, objetivando encontrar o que melhor descreve o processo de secagem.

$$RU = \frac{U_{bs} - U_e}{U_{bs (inicial)} - U_e} \quad (4)$$

Onde:

RU = razão de teor de água (adimensional);

U_e = teor de água de equilíbrio em base seca;

U_{bs} = teor de água em base seca;

U_{bs(inicial)} = teor de água inicial em base seca.

4.4.2 Cinética de secagem por radiação de micro-ondas

Utilizou-se um forno micro-ondas (Electrolux, MTO30, Manaus, Brasil) com tensão de alimentação de 220 V, capacidade de 34 L, potência máxima de 1300 W e frequência de 60 Hz. Os experimentos foram realizados em duplicata, utilizando potências de 60, 70 e 80%, correspondendo a 780, 910 e 1040 W, respectivamente. Depósitos de polipropileno com dimensões de 16 cm x 10 cm foram utilizados durante todo o processo, devido este material não absorver significativamente a energia das micro-ondas. Um béquer, também de polipropileno, contendo 150 mL de água foi colocado dentro da cavidade do forno com o intuito de umidificar o ambiente e evitar combustão da amostra. A água do béquer foi trocada a cada nova sequência de secagem, a fim de evitar a ebulição e possíveis alterações na umidade das amostras. As massas das amostras foram registradas a cada 1 min até atingir teor de água de equilíbrio, com variação de 0,01 g. Com os dados obtidos, foram calculados os valores da razão

do teor de água (Equação 4) e, em seguida, esses dados foram aplicados a diferentes modelos matemáticos.

4.5. Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Logarítmico, Exponencial de Dois Termos, Wang e Sing, Thompson, Midilli, Newton, Page e Verna foram ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem, utilizando-se o software Statistica versão 8.0 para análise de regressão não linear, pelo método Quase-Newton (StatSoft, 2008).

Tabela 1. Modelos matemáticos escolhidos para os ajustes.

Designação do modelo	Modelos	Equação
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot e^{-kt}$	(5)
Midilli	$RU = a \cdot e^{-kt^n} + bt$	(6)
Logarítmico	$RU = a \cdot e^{-kt^n} + c$	(7)
Dois termos	$RU = a \cdot e^{-k_0 t} + b \cdot e^{-k_1 t}$	(8)
Exponencial de dois termos	$RU = a \cdot e^{-kt} + (1 - a) e^{-kat}$	(9)
Wang & Sing	$RU = 1 + at + bt^2$	(10)
Henderson e Pabis modificado	$RU = ae^{-kt} + be^{-k_0 t} + ce^{-k_1 t}$	(11)
Aproximação da difusão	$RU = ae^{-kt} + (1 - a) e^{-kbt}$	(12)
Newton	$RU = e^{-kt}$	(13)
Thompson	$RU = e^{\frac{-a - (a^2 + 4bt)^{0,5}}{2b}}$	(14)
Page	$RU = e^{-kt^n}$	(15)
Verna	$RU = ae^{-kt} + (1 - a) e^{-k_1 t}$	(16)

RU: razão de teor de água; t: tempo de secagem (min); a, b, c, k, k₀, k₁ e n: parâmetros dos modelos.

Fonte: Autora, 2024.

Para avaliar a qualidade dos ajustes matemáticos dos modelos aos dados experimentais, foram utilizados como critérios a análise do coeficiente de determinação (R²) (Equação 17), do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 18) e do qui-quadrado (χ²) (Equação 19).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (17)$$

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \quad (19)$$

Onde:

R^2 – coeficiente de determinação;

DQM – desvio quadrático médio;

χ^2 – qui-quadrado;

$RU_{pred,i}$ – razão do teor de água predito pelo modelo;

$RU_{exp,i}$ – razão do teor de água experimental;

n – número de observações;

N – número de constantes do modelo.

4.6. Difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas

A difusividade efetiva para as diferentes condições de secagem dos resíduos foi determinada baseada na teoria da difusão líquida, de acordo com a lei de Fick, e usando a solução analítica com aproximação de cinco termos (Equação 20).

$$RU = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- (2n+1)^2 \pi^2 Def \frac{t}{4L^2} \right] \quad (20)$$

Onde:

Def - difusividade efetiva ($m^2.s^{-1}$);

n - número de termos da equação;

L - dimensão característica (m);

t - tempo (s).

A relação difusividade e temperaturas de secagem foi determinada pela equação de Arrhenius (Equação 21).

$$Def = D_0 \exp \left(- \frac{E_a}{R(T + 237,15)} \right) \quad (21)$$

Onde:

D_0 - fator pré-exponencial ($m^2.s^{-1}$);

E_a - energia de ativação ($kJ.mol^{-1}$);

R - constante universal dos gases ($0,008314 kJ.mol^{-1}K^{-1}$);

T - temperatura absoluta (K).

Para a obtenção dos parâmetros da equação de Arrhenius (21), foi aplicado o logaritmo natural à Equação 22.

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T - 273,15} \quad (22)$$

Onde:

$\ln D_0$ - logarítmico do fator pré-exponencial ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$);

E_a - energia de ativação ($\text{kJ}.\text{mol}^{-1}$);

R - constante universal dos gases ($0,008314 \text{ kJ}.\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$);

T - temperatura absoluta (K).

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem incluem a variação da entalpia (Equação 23), variação da entropia (Equação 24) e energia livre de Gibbs (Equação 25), nas diferentes temperaturas e usando a constante universal dos gases.

$$\Delta H = E_a - R(T + 273,15) \quad (23)$$

Onde:

ΔH - variação da entalpia ($\text{J}.\text{mol}^{-1}$);

E_a - energia de ativação ($\text{kJ}.\text{mol}^{-1}$);

R - constante universal dos gases ($0,008314 \text{ kJ}.\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$);

T - temperatura absoluta (K).

$$\Delta S = R \left[\ln(D_0) - \ln \frac{k_b}{h_p} - \ln(T + 273,15) \right] \quad (24)$$

Onde:

ΔS - variação da entropia (J/mol);

R - constante universal dos gases ($0,008314 \text{ kJ}.\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$);

D_0 - fator pré-exponencial ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$);

k_b - constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J}.\text{K}^{-1}$);

h_p - constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34} \text{ J}.\text{s}^{-1}$);

T - temperatura absoluta (K).

$$\Delta G = \Delta H - (T + 273,15)\Delta S \quad (25)$$

Onde:

ΔG - energia livre de Gibbs de ativação ($\text{J}.\text{mol}^{-1}$);

ΔH - variação da entalpia ($\text{J}.\text{mol}^{-1}$);

T - temperatura absoluta (K);

ΔS - variação da entropia ($\text{J}.\text{mol}^{-1}$).

4.7. Obtenção dos produtos farináceos a partir dos resíduos da pitomba

A partir dos resultados obtidos nas cinéticas de secagem, foram identificados os tempos, temperatura da estufa e potência do forno micro-ondas a serem utilizados. Com base nisso, também foram realizados testes de ciclos de secagem para o forno micro-ondas para determinar as melhores condições para elaborações dos produtos farináceos. Esse processo envolveu as etapas de secagem, trituração do material seco em liquidificador doméstico (ARNO, LN51, Brasil), tamisação em peneiras, acondicionamento a vácuo em sacos plásticos e armazenamento em temperatura ambiente. Por fim, o produto farináceo obtido foi submetido à análise de suas características físico-químicas, que foram descritas anteriormente no item 4.4. Adicionalmente, foram analisados açúcares totais, compostos fenólicos totais, flavonóides totais, atividade antioxidante *in vitro*, toxicidade, perfil de minerais e morfologia das partículas.

4.8. Açúcares totais

4.8.1. Preparação das soluções de Fehling

Inicialmente foram preparadas as soluções de Fehling A, Fehling B e a solução padrão de glicose utilizada na titulação. Para a solução de Fehling A foi dissolvido 34,639 g de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em 1000 mL de água em balão volumétrico. A solução de Fehling B foi preparada através da diluição de 173g de tartarato duplo de sódio e potássio (sal de Rochelle) e 50 g de hidróxido de sódio em 1000 mL de água destilada. Para a solução padrão de glicose pesou-se exatamente 0,500 g de glicose, previamente seca em estufa a vácuo, durante 1 h, transferiu-se para balão volumétrico de 100 mL com auxílio de água destilada, dissolveu bem e completou-se o volume.

4.8.2. Titulação da solução de Fehling

Colocou-se na bureta a solução padrão de glicose, em seguida, com auxílio de pipeta volumétrica transferiu-se 10 mL de cada uma das soluções de Fehling A e B para Erlenmeyer. Adicionou-se 40 mL de água destilada e aqueceu até ebulição, quando a ebulição iniciou adicionou-se 3 gotas do azul de metileno e seguiu-se com a titulação até o desaparecimento da cor azul e aparecimento de um precipitado vermelho tijolo. O fator de correção da solução de Fehling será obtido pela Equação 26.

$$\text{Fator de correção da solução de Fehling} = \frac{\text{ml gastos de glicose} \times 0,5}{100} \quad (26)$$

4.8.3. Preparo da amostra

Inicialmente em um béquer pesou-se aproximadamente 5,0000g de cada uma das amostras, logo após foram adicionados 40-50 mL de água destilada e 1 mL de ácido clorídrico concentrado e colocou-se em banho-maria a 60 °C por 1 h. Assim que as amostras esfriaram, foi feita a neutralização com solução de hidróxido de sódio a 10%, usando papel tornasol como indicador. Adicionou-se 1mL de solução de ferrocianeto de potássio a 15% e 1 mL de solução de acetato ou sulfato de zinco a 30%, agitando após cada adição. Transferiu-se para um balão volumétrico de 100 mL, completando seu volume com água destilada. Agitou-se e filtrou-se em filtro seco para frasco seco, em seguida, transferiu-se o filtrado obtido para bureta de 50 mL. Foi pipetado volumetricamente 5 mL de cada uma das soluções de Fehling A e B para Erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 40 mL de água destilada, aquecendo-se até ebulição. Quando a ebulição iniciou adicionou-se 3 gotas do azul de metileno e seguiu-se com a titulação até o desaparecimento da cor azul e aparecimento de um precipitado vermelho tijolo. A porcentagem de açúcares totais será determinada pela equação 27.

$$\text{Açúcares totais} = \frac{100 \times 100 \times Fc}{V \times M} \quad (27)$$

Onde:

Fc = fator de correção da solução de Fehling;

V = mL de solução de amostra gastos;

M = massa em gramas da amostra na solução.

4.9. Determinação do teor de compostos fenólicos totais, flavonóides totais e atividade antioxidante *in vitro*

4.9.1 Obtenção do extrato

Para a extração dos compostos bioativos das amostras utilizou-se metodologia descrita por Sousa *et al.* (2021) com adaptações. Utilizou-se 10 mL de etanol 80% e 1g de amostra, homogeneizados em frasco Erlenmeyer (coberto com papel alumínio) usando o agitador magnético em chapa agitadora durante 1 h à temperatura ambiente (± 25 °C). Em seguida, a mistura foi centrifugada (Centribio 80-2B) a 4.000 rpm por 10 min à temperatura ambiente (± 25 °C), o sobrenadante foi filtrado e armazenado em vidro âmbar para realização das análises.

4.9.2. Determinação de Compostos Fenólicos Totais (CFT)

Para determinar o teor de compostos fenólicos totais das formulações utilizou-se a metodologia descrita por Liu *et al.* (2002) com algumas modificações. Resumidamente, 250 µL de cada extrato foram misturados em tubo de ensaio com 1250 µL do reagente Folin-Ciocalteu 10%. As soluções foram agitadas em vórtex e armazenadas em temperatura ambiente (23 °C) na ausência da luz por 6 min. Após, foram adicionados 1000 µL da solução de carbonato de sódio a 7,5%. A mistura foi levada ao banho maria a uma temperatura de 50 °C, durante 5 min. Em seguida, a absorbância foi medida a 765 nm utilizando espectrofotômetro (BEL Photonics, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Também foi realizado um branco com a ausência dos extratos para zerar o espectrofotômetro. O conteúdo de compostos fenólicos totais das amostras foi determinado utilizando uma curva padrão preparada com ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por cem gramas de amostra (mg EAG/100 g).

4.9.3. Determinação de Flavonóides Totais

O teor de flavonóides totais foi determinado de acordo com o método proposto por Zhishen; Mengcheng; Jianming (1999). Uma alíquota de 0,5 mL dos extratos foram adicionados a 2 mL de água destilada em um tubo de ensaio. Em seguida, adicionou-se 150 µL de nitrito de sódio a 5%. Após 5 min, 150 µL de cloreto de alumínio a 10% foram adicionados e, após 6 min, 1 mL de hidróxido de sódio a 1 M, seguido pela adição de 1,2 mL de água destilada. A absorbância da amostra foi medida a 510 nm usando um espectrofotômetro (BEL Photonics, Piracicaba, São Paulo, Brasil) contra um branco na ausência dos extratos. O teor de flavonoides totais foi determinado usando uma curva padrão de equivalentes de catequina (EC). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de catequina (EC) por cem gramas de amostra (mg EC/100 g).

4.9.4 Atividade Antioxidante *in vitro* - Método FRAP

Para determinação da atividade antioxidante por meio da redução do ferro (FRAP) foi utilizada metodologia descrita por Benzie; Strain (1996), adaptada por Rockenbach *et al.* (2011). O reagente FRAP foi preparado somente no momento da análise, através da mistura de 11 mL de tampão acetato (0,3M, pH 3,6), 1,1 mL de solução TPTZ (10 mM em HCl 40 mM) e 1,1 mL de solução aquosa de cloreto férrico (20 mM). Para a análise, 200 µL dos extratos foram adicionados a 1800 µL do reagente FRAP em um tubo de ensaio e levados ao banho maria a 37

°C por 30 minutos. Para cada extrato foi realizado um branco, sem adição do extrato. Após, as absorvâncias foram medidas em espectrofotômetro (BEL Photonics, Piracicaba, São Paulo, Brasil) a 593 nm. Para determinar a atividade antioxidante (FRAP) foi utilizada curva de calibração com Trolox e os resultados foram expressos em μmol de trolox/g de amostra.

4.9.5. Atividade Antioxidante *in vitro* - Método ABTS

O método ABTS foi realizado de acordo com a metodologia de Sariburun *et al.* (2010) com algumas modificações. Inicialmente formou-se o radical ABTS através da reação da solução ABTS⁺ a 7 mM com a solução de persulfato de potássio 140 mM incubados a temperatura de 25 °C, no escuro durante 12-16 horas. Uma vez formado o radical, o mesmo foi diluído em água destilada até obter o valor de absorvância de 0,800 ($\pm 0,020$) a 734 nm. A partir de cada extrato foram preparadas quatro diluições diferentes, em triplicatas. Em ambiente escuro foi transferido para um tubo de ensaio uma alíquota de 100 μL dos extratos e adicionado 500 μL do radical ABTS, foram mantidos na ausência de luz por 6 minutos. Em seguida, realizou-se a leitura a 734 nm em espectrofotômetro (BEL Photonics, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Também foi feita uma solução “controle” que consistiu em uma alíquota de 100 μL do solvente extrator dos extratos adicionada de 500 μL do radical ABTS. A solução “branca” foi o solvente extrator de cada extrato, utilizada para zerar o espectrofotômetro. Como referência, foi utilizado o Trolox e os resultados expressos em μM trolox/g de amostra. Também se calculou o IC_{50} através da equação da reta plotada através dos resultados contendo os valores de concentração (mg/mL) utilizadas no eixo X e os percentuais de proteção encontrados no eixo Y.

4.10. Análise de Toxicidade

A análise de toxicidade foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Meyer (1982), com modificações. Primeiramente os extratos aquosos a frio dos produtos farináceos dos resíduos da pitomba foram preparados com um período de descanso de 24 h antes de serem utilizados no teste de toxicidade.

Os cistos de *Artemia salina* Leach foram incubados em recipiente retangular de vidro com água salina artificial com concentração de 38 g/L, em temperatura ambiente, com iluminação constante por 48 h a partir de lâmpada incandescente.

Os extratos aquosos foram preparados em 5 concentrações: 1500, 1000, 500, 250, 125 µg/mL, e os testes realizados em triplicata para todas as concentrações, utilizando em cada tubo de ensaio os extratos e 10 artemias salinas ativas.

Foi realizado o teste de controle, também em triplicata, contendo apenas as artemias salinas ativas. A quantidade de organismos mortos foi determinada após 24 h, em seguida foi calculado os valores da CL₅₀ (concentração que produziu 50% de letalidade) por análise PROBIT com software *STATISTICA* com intervalo de confiança (95%), sendo classificado tóxico e atóxico quando o valor de CL₅₀ era menor ou maior que 1000 µg.mL⁻¹, respectivamente.

4.11. Perfil de minerais

O perfil de minerais das amostras *in natura* e dos produtos farináceos dos resíduos da pitomba foi realizado no Laboratório de Eletroquímica e Corrosão, do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), da Universidade Federal de Campina Grande, campus Campina Grande, Paraíba, Brasil. Foi usado o Espectrômetro de Fluorescência de Raios X por energia dispersiva (Shimadzu, modelo EDX-720, Japão), onde as amostras na forma de resíduo mineral fixo foram colocadas em cubetas cobertas por um filme de polipropileno e, posteriormente, submetidas à vácuo, para as leituras no equipamento.

4.12. Morfologia das partículas

A morfologia foi avaliada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e realizada no Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas – LAMMEA. Inicialmente preparou-se a amostra depositando os sólidos em porta-amostras de alumínio, coberto com fitas de carbono dupla face metalizadas com ouro, para promover uma superfície refletora para os feixes de elétrons, e então observada no microscópio eletrônico de varredura Tescan VEGA3, sob vácuo de $1,5 \times 10^{-3}$ Pa, com aumento de 1000 e 2000x.

4.13. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software *STATISTICA* versão 8.0 (StatSoft, 2008), os resultados em triplicata foram submetidos à análise de variância de fator único com 5% de probabilidade de erro e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 95% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados no desenvolvimento desta pesquisa resultaram na elaboração dos seguintes artigos e pedidos de depósitos de patentes junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Intelectual):

ARTIGO 1 – Influência de diferentes métodos de secagens na caracterização e produção de produtos farináceos a partir do caroço de pitomba (Submetido a revista *Holos* ISSN 1807-1600, A1 – Engenharias II).

ARTIGO 2 – Processo de obtenção e caracterização de farinhas das cascas de *Talisia esculenta* por secagem convectiva e por irradiação de micro-ondas.

BR 10 2023 021279 4 – Depositada no dia 13/10/2023 e intitulada como “Produção de farinha alimentar a partir da secagem do caroço da pitomba por micro-ondas” (ANEXO A).

BR 10 2023 025570 1 – Depositada no dia 06/12/2023 e intitulada como “Secagem convectiva do caroço da pitomba para obtenção de produto farináceo” (ANEXO B).

BR 10 2023 016821 3 – Depositada no dia 22/08/2023 e intitulada como “Processo de secagem por micro-ondas para obtenção de farináceo a partir dos resíduos da casca da pitomba” (ANEXO C).

BR 10 2023 025575 2 – Depositada no dia 06/12/2023 e intitulada como “Processo de obtenção da farinha das cascas de pitomba” (ANEXO D).

ARTIGO 1

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGENS NA CARACTERIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE PRODUTOS FARINÁCEOS A PARTIR DO CAROÇO DE PITOMBA

Resumo

A pitomba (*Talisia esculenta*) é uma fruta muito consumida, mas seu potencial alimentício e nutricional ainda é desconhecido pela população. A fruta apresenta potenciais compostos bioativos e efeitos biológicos, mas tem uma boa parte dessas propriedades descartadas durante seu consumo, quando descarta-se seus caroços. Com o intuito de reaproveitar estes resíduos, o objetivo dessa pesquisa foi desenvolver os produtos farináceos a partir desses materiais utilizando as técnicas de secagens em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas. Além de descrever as cinéticas de secagens, as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas envolvidas no processo, assim como avaliar o perfil biométrico e toxicológico, os compostos bioativos e os aspectos físico-químicos dos frutos e farináceos obtidos. Em relação as cinéticas de secagens, o modelo de Aproximação da difusão e de Midilli se destacam para prever as cinéticas nas condições utilizadas por possuir os maiores coeficientes de determinação e os menores desvio quadrático médio e qui-quadrado. Tratando-se da caracterização das amostras dos caroços *in natura* e dos produtos farináceos observou-se que os métodos de secagens interferiram nos resultados para os parâmetros analisados. Os dados obtidos apresentam baixos teores de lipídeos, sólidos solúveis totais e ratio, por outro lado, os teores de proteína bruta, fenólicos totais, flavonóides totais e de atividade antioxidante são relevantes. As farinhas são fontes de minerais, principalmente de potássio, não são tóxicas e apresentam grânulos de amido em suas estruturas de acordo com a análise morfológica realizada.

Palavras-chaves: Resíduos; Antioxidantes; Modelagem matemática.

Abstract

The pitomba (*Talisia esculenta*) is a widely consumed fruit, but its food and nutritional potential is still unknown by the population. The fruit has potential bioactive compounds and biological effects, but it has a good part of these properties discarded during its consumption, when its pits are discarded. In order to reuse these residues, the objective of this research was to develop flour products from these materials using the techniques of drying in an air circulation oven and in a microwave oven. In addition to describing the drying kinetics, the effective diffusivities and the thermodynamic properties involved in the process, as well as evaluating the biometric and toxicological profile, the bioactive compounds and the physicochemical aspects of the fruits and flours obtained. Regarding the drying kinetics, the diffusion approximation and Midilli models stand out to predict the kinetics under the conditions used because they have the highest coefficients of determination and the lowest equi-square mean squared deviation. Regarding the characterization of the samples of the fresh seeds and the flour products, it was observed that the drying methods interfered in the results for the parameters analyzed. The data obtained present low levels of lipids, total soluble solids and ratio, on the other hand, the contents of crude protein, total phenolics, total flavonoids and antioxidant activity are relevant. Flours are

sources of minerals, especially potassium, are non-toxic and have starch granules in their structures according to the morphological analysis performed.

Keywords: Waste; Antioxidants; Mathematical modeling.

1. INTRODUÇÃO

O fruto da pitombeira (*Talisia esculenta*), da família Sapindaceae, é reconhecido por sua grande potencialidade de comercialização (Uchôa *et al.* 2020). Entretanto, seu valor alimentício e nutricional não foi totalmente explorado, apesar das evidências de possíveis compostos bioativos e efeitos biológicos (Neri-Numa *et al.*, 2014).

Seu fruto, pitomba, é consumido cru e apreciado pelo sabor agridoce característico da polpa (Fraga *et al.*, 2021). Embora seja consumida em várias regiões do Brasil, especialmente no Nordeste, a utilização da polpa é limitada devido à baixa produtividade e à dificuldade de remoção após completa maturação. O endocarpo representa cerca de 50% do peso total do fruto (Castro *et al.*, 2019).

Durante o consumo do fruto, os caroços são descartados, no entanto podem oferecer oportunidades para o desenvolvimento de novos alimentos. Com o intuito de minimizar os impactos ambientais, tem se procurado por novas alternativas que visam o reaproveitamento e a conservação desse resíduo.

A secagem ou desidratação tem se tornado o principal método de conservação utilizado em produtos agrícolas, por ser capaz de estabilizar os frutos e seus compostos (Castro *et al.*, 2018). Não preserva somente os alimentos por muito tempo, como também agrega seu valor, melhora a bioacessibilidade e a biodisponibilidade de compostos promotores de saúde nos alimentos, além de reduzir os custos de transporte e armazenamento (Borah *et al.*, 2023).

Para obtenção de produtos farináceos alguns métodos de secagens são utilizados, sendo o mais comum a secagem convectiva utilizando estufa de circulação de ar. Esse processo envolve a transferência de calor de uma fonte específica para o material a ser seco, seguida de transferência de umidade por difusão do material para a superfície, onde é removida pelo ar forçado (Mkhize *et al.*, 2023).

Outro método que se destaca é a secagem com uso de micro-ondas, que envolve a combinação de transferência de calor e massa, no qual o aquecimento pelas micro-ondas cria calor em todo o material, levando a taxas de aquecimento mais rápidas do que o aquecimento convencional (Zahoor *et al.*, 2023).

Desse modo, como proposta para aproveitamento dos caroços dos frutos da pitombeira, o objetivo dessa pesquisa foi desenvolver produtos farináceos a partir desse resíduo utilizando técnicas de secagens convectiva e por irradiação de micro-ondas. Descrever as cinéticas de secagens, as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas envolvidas no processo, assim como avaliar o perfil biométrico e toxicológico, os compostos bioativos e os aspectos físico-químicos dos caroços e farináceos obtidos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Processamento dos resíduos

Os frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*) foram adquiridos em estágio de maturação maduros, no distrito de Barra do Farias, município de Brejo da Madre de Deus - PE. Em seguida, foram conduzidos ao Laboratório de Bioprocessos (LabBio) do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para realizações dos experimentos. Os frutos inicialmente foram lavados em água potável corrente e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio com concentração de 100 ppm durante 15 min; posteriormente, foram enxaguados para eliminar o excesso da solução clorada. As cascas, polpa e caroço foram retiradas manualmente dos frutos e após esse processo, realizou-se a trituração individual dos caroços em um liquidificador industrial (METVISA, LQL6220M60N5, Brusque, Santa Catarina, Brasil).

2.2 Análise biométrica dos frutos

Para a análise biométrica foram selecionados 100 frutos. A medição da altura e diâmetro foi realizada utilizando um paquímetro digital (ZAAS precision, Piracicaba, São Paulo, Brasil), enquanto a determinação da massa total e individual dos componentes dos frutos foi conduzida por meio de uma balança analítica (Shimadzu, ATY224R, Tamboré Barueri, São Paulo, Brasil).

2.3 Caracterização dos caroços *in natura* e dos seus produtos farináceos

Os resíduos *in natura* e os produtos farináceos provenientes do caroço da pitomba foram caracterizados em triplicata e de acordo com as metodologias descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). O teor de água foi determinado pelo método gravimétrico; atividade de água foi quantificada por leitura direta a 25 °C em higrômetro (METER, Aqualab 4TE, Pullman, Washington, EUA); sólidos solúveis totais (° Brix) foram determinados por meio da técnica de refratometria; pH determinado por leitura direta em um pHmetro (MS TECNOPON, LUCA-210); cinzas foram obtidas pela queima do material em forno mufla a 550 °C; proteína bruta

utilizou-se o método Kjeldahl com o fator de conversão de 6,25; lipídeos totais foi utilizado a metodologia descrita por Bligh e Dyer modificado (1959); acidez total titulável foi realizada por titulação potenciométrica; ratio foi quantificado pela razão entre os valores dos sólidos solúveis totais e a acidez total titulável; carboidratos totais foram obtidos pela diferença centesimal utilizando os resultados encontrados para a umidade, cinzas, proteínas e lipídeos; açúcares totais através do método de Lane-Eynon; perfil de minerais foi identificado com o auxílio de um espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva (Shimadzu, modelo EDX-720, Japão). A extração dos compostos bioativos das amostras foi obtida pela metodologia descrita por Sousa *et al.* (2021) com adaptações; o teor de compostos fenólicos totais das formulações utilizou-se a metodologia descrita por Liu *et al.* (2002) com algumas modificações, com os resultados expressos em mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por cem gramas de amostra (mg EAG/100 g); flavonóides totais foi determinado de acordo com o método proposto por Zhishen; Mengcheng; Jianming (1999), com resultados expressos em miligrama equivalentes de catequina (EC) por cem gramas de amostra (mg EC/100 g); a determinação da atividade antioxidante por meio da redução do ferro (FRAP) foi utilizada metodologia descrita por Benzie; Strain (1996), adaptada por Rockenbach *et al.* (2011) e os resultados foram expressos em μmol de trolox/g de amostra; o método ABTS foi realizado de acordo com a metodologia de Sariburun *et al.* (2010) com algumas modificações.

Os parâmetros de cor foram determinados em espectrofotômetro portátil de cor (FRU, modelo WR10QC) em leitura direta no sistema de cor CIELAB com as coordenadas L^* ; a^* e b^* , além disso, foram calculados os valores de croma (C^*) (Equação 1) e o ângulo de tonalidade (h°) (Equação 2).

$$C^* = \sqrt{((a^*)^2 + (b^*)^2)} \quad (1)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

A análise de toxicidade foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Meyer (1982), com modificações. Os extratos aquosos a frio do produto farináceo dos caroços da pitomba originados por secagem convectiva foram preparados nas concentrações de 1500, 1000, 500, 250, 125 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, e os cistos de *Artemia salina* Leach foram incubados com água salina artificial com concentração de 38 g.L^{-1} , em temperatura ambiente, com iluminação constante por 48 h a partir de lâmpada incandescente. Foi calculado os valores da CL_{50} (concentração que produziu 50% de letalidade) por análise PROBIT com software *Statistic* com intervalo de confiança (95%).

A morfologia foi avaliada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), (Tescan VEGA3), sob vácuo de $1,5 \times 10^{-3}$ Pa, com aumento de 1000 e 2000x.

2.4 Cinéticas de secagens

Para a cinética de secagem convectiva foi utilizada uma estufa com circulação e renovação de ar (SOLAB, SL 102), onde os caroços da pitomba triturados foram dispersos em bandejas redondas de alumínio com dimensão de 16 cm e espessura da camada de 0,5 cm. Os experimentos foram conduzidos em duplicata, utilizando as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, e realizou-se o acompanhamento da cinética de secagem pesando-se as bandejas em diferentes intervalos de tempo (5, 15, 30, 60 e 120 min), em balança semi-analítica, até atingir teor de água de equilíbrio (variação de 0,01 g) em três pesagens consecutivas.

Na cinética de secagem por irradiação utilizou-se um forno micro-ondas (Electrolux, MTO30, Manaus, Brasil), os experimentos também foram realizados em duplicata, utilizando potências de 60, 70 e 80%, correspondendo a 780, 910 e 1040 W, respectivamente, depósitos de polipropileno com dimensões de 16 cm de comprimento por 10 cm de largura foram usados durante todo o processo e as massas das amostras foram registradas a cada 1 min até atingir teor de água de equilíbrio, com variação de 0,01g.

Os teores de água no início e no final dos processos de secagens foram determinados gravimetricamente por secagem em estufa a 105 °C por 24 h e a partir desses dados calculou-se os valores da razão do teor de água (Equação 3), que foram ajustados a diferentes modelos matemáticos.

$$RU = \frac{U_{bs} - U_e}{U_{bs (inicial)} - U_e} \quad (3)$$

Onde: RU = razão de teor de água (adimensional); U_e = teor de água de equilíbrio em base seca; U_{bs} = teor de água em base seca; $U_{bs(inicial)}$ = teor de água inicial em base seca.

2.5 Modelagem matemática

Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem, utilizando-se o software Statistica versão 8.0 para análise de regressão não linear, pelo método Quase-Newton (StatSoft, 2008).

Tabela 1. Modelos matemáticos escolhidos para os ajustes das secagens dos caroços da pitomba.

Designação do modelo	Modelos	Equação
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot e^{-kt}$	(4)
Midilli	$RU = a \cdot e^{-kt^n} + bt$	(5)
Logarítmico	$RU = a \cdot e^{-kt^n} + c$	(6)
Dois termos	$RU = a \cdot e^{-k_0 t} + b \cdot e^{-k_1 t}$	(7)
Exponencial de dois termos	$RU = a \cdot e^{-kt} + (1 - a) e^{-kat}$	(8)
Wang & Sing	$RU = 1 + at + bt^2$	(9)
Henderson e Pabis modificado	$RU = ae^{-kt} + be^{-k_0 t} + ce^{-k_1 t}$	(10)
Aproximação da difusão	$RU = ae^{-kt} + (1 - a) e^{-kbt}$	(11)
Newton	$RU = e^{-kt}$	(12)
Thompson	$RU = e^{-\frac{a-(a^2+4bt)^{0,5}}{2b}}$	(13)
Page	$RU = e^{-kt^n}$	(14)
Verna	$RU = ae^{-kt} + (1 - a) e^{-k_1 t}$	(15)

RU: razão de teor de água; t: tempo de secagem (min); a, b, c, k, k₀, k₁ e n: parâmetros dos modelos.

Fonte: Autora, 2024.

Para avaliar a qualidade dos ajustes matemáticos dos modelos aos dados experimentais, foram utilizados os critérios da análise do coeficiente de determinação (R^2) (Equação 16), do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 17) e do qui-quadrado (χ^2) (Equação 18).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (16)$$

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \quad (18)$$

Onde: R^2 – coeficiente de determinação; DQM – desvio quadrático médio; χ^2 – qui-quadrado; $RU_{pred,i}$ – razão do teor de água predito pelo modelo; $RU_{exp,i}$ – razão do teor de água experimental; n – número de observações; N – número de constantes do modelo.

2.6 Difusividade efetiva, energia de ativação e propriedades termodinâmicas

A difusividade efetiva para as diferentes condições de secagens dos resíduos foi determinada baseada na teoria da difusão líquida, de acordo com a lei de Fick, e usando a solução analítica com aproximação de cinco termos (Equação 19).

$$RU = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- (2n+1)^2 \pi^2 Def \frac{t}{4L^2} \right] \quad (19)$$

Onde: Def - difusividade efetiva (m²/s); n - número de termos da equação; L - dimensão característica (m); t - tempo (s).

A relação difusividade e temperaturas de secagem foi determinada pela equação de Arrhenius (Equação 20).

$$Def = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+237,15)}\right) \quad (20)$$

Onde: D₀ - fator pré-exponencial (m²/s); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T - temperatura absoluta (K).

Para a obtenção dos parâmetros da equação de Arrhenius (20), foi aplicado o logaritmo natural à Equação 21.

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T-273,15} \quad (21)$$

Onde: LnD₀ - logarítmico do fator pré-exponencial (m²/s); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T - temperatura absoluta (K).

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem incluem a variação da entalpia (Equação 22), variação da entropia (Equação 23) e energia livre de Gibbs (Equação 24), nas diferentes temperaturas e usando a constante universal dos gases.

$$\Delta H = E_a - R(T + 273,15) \quad (22)$$

Onde: ΔH - variação da entalpia (J/mol); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T - temperatura absoluta (K).

$$\Delta S = R \left[\ln(D_0) - \ln \frac{k_b}{h_p} - \ln(T + 273,15) \right] \quad (23)$$

Onde: ΔS - variação da entropia (J/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); D₀ - fator pré-exponencial (m²/s); k_b - constante de Boltzmann (1,38 × 10⁻²³ J/K); h_p - constante de Planck (6,626 × 10⁻³⁴ J s); T - temperatura absoluta (K).

$$\Delta G = \Delta H - (T + 273,15)\Delta S \quad (24)$$

Onde: ΔG - energia livre de Gibbs de ativação (J/mol); ΔH - variação da entalpia (J/mol); T - temperatura absoluta (K); ΔS - variação da entropia (J/mol).

2.7 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software *STATISTICA* versão 8.0 (StatSoft, 2008), os resultados em triplicata foram submetidos à análise de variância de fator único com 5% de probabilidade de erro e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 95% de significância

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise biométrica dos frutos

A Tabela 2 mostra os resultados da análise biométrica, esses dados são importantes para sua comercialização.

Tabela 2: Análise biométrica dos frutos e resíduos da pitomba.

		Máximo	Mínimo	Média
Fruto inteiro	Massa total (g)	15,43	7,25	10,95 ± 1,73
	Altura (mm)	31,13	22,44	27,17 ± 1,98
	Diâmetro (mm)	30,54	21,44	25,34 ± 1,63
Caroço	Massa (g)	4,87	2,01	3,37 ± 0,61
	Altura (mm)	17,57	12,19	15,39 ± 1,07
	Diâmetro (mm)	25,43	17,49	21,88 ± 1,85
Casca	Massa (g)	5,63	1,83	3,42 ± 0,80

Fonte: Autora, 2024.

No presente estudo, os resultados médios da análise biométrica indicaram que a massa total do fruto foi de $10,95 \pm 1,73$ g, enquanto as massas dos caroços e das cascas foram de $3,37 \pm 0,61$ g e $3,42 \pm 0,80$ g, respectivamente. Com base nestes valores, o resíduo correspondente foi calculado como representando 62,0% da massa total do fruto. Quanto à altura e diâmetro total do fruto, bem como à altura e diâmetro dos caroços, os valores médios encontrados foram $27,17 \pm 1,98$ mm, $25,34 \pm 1,63$ mm, $15,39 \pm 1,07$ mm e $21,88 \pm 1,58$ mm, respectivamente.

No estudo realizado por Uchôa *et al.* (2020) que visava realizar uma análise biométrica de frutas exóticas, os resultados encontrados para o comprimento, largura, espessura, peso bruto, peso líquido e rendimento da pitomba foram, respectivamente, $21,28 \pm 0,49$ mm, $25,86 \pm 0,53$ mm, $20,67 \pm 0,35$ mm, $7,33 \pm 0,27$ g, $1,48 \pm 0,39$ g e $20,32 \pm 5,85$ %. Observou-se que o rendimento encontrado neste estudo foi aproximadamente o dobro do valor mencionado na pesquisa de Uchôa *et al.* (2020).

3.2 Modelagem matemática

As Tabela 3 e 4 mostram os valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros dos modelos matemáticos testados

para as secagens convectiva e por irradiação de micro-ondas, dos resíduos dos caroços de pitomba.

Tabela 3: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros para modelos matemáticos de secagem em estufa de circulação de ar dos resíduos dos caroços de pitomba (*Talisia esculenta*).

Modelos	T (°C)	Parâmetros					R^2	DQM	χ^2
Henderson e Pabis		a	k						
	50	1,0367	0,0177			0,9962	0,0285	0,0008	
	60	1,0125	0,0192			0,9995	0,0099	0,0008	
	70	1,0293	0,0375			0,9975	0,0212	0,0004	
Midilli		a	b	n	k				
	50	0,9751	0,0000	1,2666	0,0060	0,9988	0,0154	0,0002	
	60	0,9930	0,0000	1,0717	0,0142	0,9997	0,0070	0,0000	
	70	0,9879	0,0000	1,1742	0,0200	0,9989	0,0137	0,0002	
Logarítmico		a	k	c					
	50	1,0541	0,0168	-0,0240		0,9967	0,0265	0,0007	
	60	1,0152	0,0190	-0,0040		0,9995	0,0097	0,0001	
	70	1,0310	0,0372	-0,0026		0,9975	0,0211	0,0004	
Dois Termos		a	k₀	b	k₁				
	50	0,5183	0,0177	0,5183	0,0177	0,9962	0,0254	0,0015	
	60	0,5063	0,0192	0,5062	0,0192	0,9995	0,0099	0,0001	
	70	0,2388	0,0375	0,7905	0,0375	0,9975	0,0212	0,0004	
Exponencial de Dois Termos		a	k						
	50	0,0027	6,1270			0,9953	0,0320	0,0010	
	60	0,0037	5,1275			0,9993	0,0113	0,0001	
	70	0,0031	11,5114			0,9970	0,0234	0,0005	
Wang e Sing		a	b						
	50	-0,0101	0,0000			0,9493	0,1030	0,0010	
	60	-0,0104	0,0000			0,9151	0,1264	0,0002	
	70	-0,0185	0,0010			0,8791	0,1430	0,0204	
Henderson e Pais modificado		a	b	c	k	k₀	k₁		
	50	0,3455	0,0177	0,3455	0,0177	0,3455	0,0177	0,9962	
	60	0,3375	0,0192	0,3374	0,0192	0,3375	0,0192	0,9995	
	70	0,0345	0,0066	-16,1580	0,0655	17,1116	0,0632	0,9991	
Aproximação da difusão		a	k	b					
	50	-84,6591	0,0297	0,9928		0,9988	0,0160	0,0002	
	60	-0,1225	0,0542	0,3843		0,9997	0,0070	0,0000	
	70	-0,6285	0,0801	0,5908		0,9988	0,0142	0,0002	
Newton		k							
	50	0,0170				0,9954	0,0314	0,0010	
	60	0,0120				0,9994	0,0108	0,0001	
	70	0,0365				0,9970	0,0230	0,0005	
Thompson		a	b						
	50	-4176,64	8,4008			0,9954	0,0314	0,0010	
	60	-4164,04	8,8711			0,9994	0,0108	0,0001	
	70	-3107,44	10,6308			0,9970	0,0230	0,0005	
Page		n	k						
	50	1,1930	0,0080			0,9986	0,0173	0,0003	
	60	1,0544	0,0153			0,9997	0,0073	0,0000	

	70	1,1385	0,0230		0,9987	0,0150	0,0002
		a	k	k₁			
Verna	50	-4,6097	0,0104	0,0114	0,9971	0,0250	0,0006
	60	-1,3571	0,0140	0,0160	0,9996	0,0092	0,0000
	70	-4,2540	0,0260	0,0275	0,9976	0,0207	0,0004

Fonte: Autora, 2024.

Na literatura há uma variedade de modelos matemáticos que são utilizados para ajustes dos dados experimentais obtidos em cinéticas de secagens. A partir da Tabela 3, é possível observar que todos os modelos matemáticos obtiveram bons ajustes, apresentando coeficiente de determinação superior a 0,8791, desvios quadráticos médios inferiores a 0,1430 e qui-quadrados menores que 0,0204.

Entretanto, o modelo de Aproximação da difusão se destaca por ter atendido aos critérios de seleção, possuindo os maiores valores para o coeficiente de determinação e os menores valores do desvio quadrático médio e qui-quadrado. Desse modo, o modelo torna-se o mais indicado para prever a cinética de secagem convectiva dos caroços de pitomba, nas três temperaturas estudadas.

Barros *et al.* (2020) encontraram resultados semelhantes ao realizarem a secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C das cascas de kimo (*Cucumis metuliferus*), onde constatou-se que os modelos de Page e Aproximação da Difusão apresentaram ajustes satisfatórios aos dados experimentais. Em conformidade com Silva *et al.* (2020b) que ao predizerem a cinética de secagem de chips de batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) por secagem convectiva, obtiveram que o modelo Aproximação da difusão é o mais indicado para representar a cinética de secagem na temperatura de 70 °C.

Carvalho *et al.* (2022), Ao investigar a cinética de secagem e a modelagem matemática da secagem de amêndoas de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart) nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, escolheram os modelos de Aproximação de Difusão, Midilli, Page e Page Modificado para representar o fenômeno de secagem e subsidiar o dimensionamento de secadores industriais.

Além disso, observa-se que à medida em que a temperatura de secagem aumentou houve aumentos nos valores da constante k. De acordo com Silva *et al.* (2020b) a constante “k” representa o efeito das condições externas de secagem, e seu aumento com o aumento da temperatura indica uma maior taxa de secagem. Além disso, o aumento da constante k devido ao aumento da temperatura de secagem também resulta em um aumento na difusividade efetiva, como apontado por Ferreira Junior *et al.* (2021). Este fenômeno sugere que o aumento da

temperatura não apenas acelera o processo de secagem, mas também melhora a capacidade de difusão do material, o que pode ser relevante para otimizar os processos de secagens e melhorar a eficiência geral do sistema.

Em relação aos coeficientes a e b, pode-se constatar que não há uma tendência em função da temperatura, desse modo, considera-se que as variações nesses coeficientes estão mais relacionadas aos ajustes matemáticos do que a um fenômeno de secagem (Souza *et al.*, 2019).

Tabela 4: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros para modelos matemáticos de secagem em forno micro-ondas dos resíduos dos caroços de pitomba (*Talisia esculenta*).

Modelos	Pot. (W)	Parâmetros					R^2	DQM	χ^2
Henderson e Pabis		A	k						
	780	1,1055	0,2082			0,9893	0,0482	0,0023	
	910	1,1028	0,2660			0,9848	0,0595	0,0035	
	1040	1,0970	0,2798			0,9860	0,0572	0,0033	
Midilli		A	b	n	k				
	780	1,0094	-0,0010	1,3871	0,0921	0,9998	0,0059	0,0000	
	910	1,0087	-0,0017	1,4691	0,1149	0,9998	0,0070	0,0000	
	1040	1,0054	-0,0012	1,4724	0,1242	0,9999	0,0047	0,0000	
Logarítmico		a	k	c					
	780	1,2047	0,1543	-0,1373		0,9963	0,0285	0,0008	
	910	1,2873	0,1738	-0,2265		0,9952	0,0335	0,0011	
	1040	1,2457	0,1931	-0,1864		0,9950	0,0341	0,0011	
Dois Termos		a	k₀	b	k₁				
	780	0,5528	0,2082	0,5528	0,2082	0,9893	0,0482	0,0023	
	910	0,5514	0,2661	0,5514	0,2661	0,9848	0,0595	0,0035	
	1040	0,5485	0,2798	0,5485	0,2798	0,9859	0,0572	0,0033	
Exponencial de Dois Termos		a	k						
	780	2,0010	0,2933			0,9992	0,0128	0,0002	
	910	0,9999	0,2434			0,9786	0,0705	0,0050	
	1040	2,0508	0,4076			0,9991	0,0142	0,0002	
Wang e Sing		a	b						
	780	-0,1369	0,0047			0,9975	0,0232	0,0005	
	910	-0,1760	0,0076			0,9961	0,0303	0,0009	
	1040	-0,1864	0,0087			0,9966	0,0250	0,0006	
Henderson e Pais modificado		a	b	c	k	k₀	k₁		
	780	0,3685	0,3685	0,3685	0,2082	0,2082	0,2082	0,9893	
	910	0,3676	0,3676	0,3676	0,2661	0,2661	0,2661	0,9848	
	1040	0,3657	0,3657	0,3657	0,2798	0,2798	0,2798	0,9859	
Aproximação da difusão		a	k	b					
	780	-165,948	0,3850	0,9943				0,9995	
	910	-215,914	0,5180	0,9952				0,9994	
	1040	-10,222	0,0976	1,0976				0,9938	
Newton		k							
	780	0,1901						0,9835	
	910	0,2434						0,9786	

	1040	0,2576			0,9805	0,0672	0,0045
		a	b				
Thompson	780	-2406,64	21,3896		0,9835	0,0598	0,0036
	910	-1912,49	21,5797		0,9786	0,0705	0,0050
	1040	-2072,94	23,1070		0,9805	0,0672	0,0045
		n	k				
Page	780	1,4450	0,0844		0,9997	0,0083	0,0000
	910	1,5335	0,1066		0,9996	0,0092	0,0000
	1040	1,5173	0,1182		0,9998	0,0066	0,0000
		a	k	k₁			
Verna	780	-27,0124	0,3906	0,3773	0,9995	0,0104	0,0001
	910	-18,1819	0,0861	0,0915	0,9937	0,0382	0,0015
	1040	-16,0073	0,0994	0,1056	0,9938	0,0380	0,0014

Fonte: Autora, 2024.

Em relação aos valores dos coeficientes de determinação, desvios quadráticos médios e qui-quadrados dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados da cinética de secagem por irradiação de micro-ondas do caroço da pitomba (Tabela 4), observa-se que o modelo de Midilli foi o mais adequado para representar as condições de secagem nas três potências utilizadas.

Sousa *et al.* (2020) realizando a secagem de resíduo de acerola em forno micro-ondas observaram que todos os modelos propostos se ajustaram bem aos dados experimentais, porém o melhor foi o de Midilli, por apresentar maior R^2 e menor DQM, indicando que este modelo representa satisfatoriamente o fenômeno de secagem.

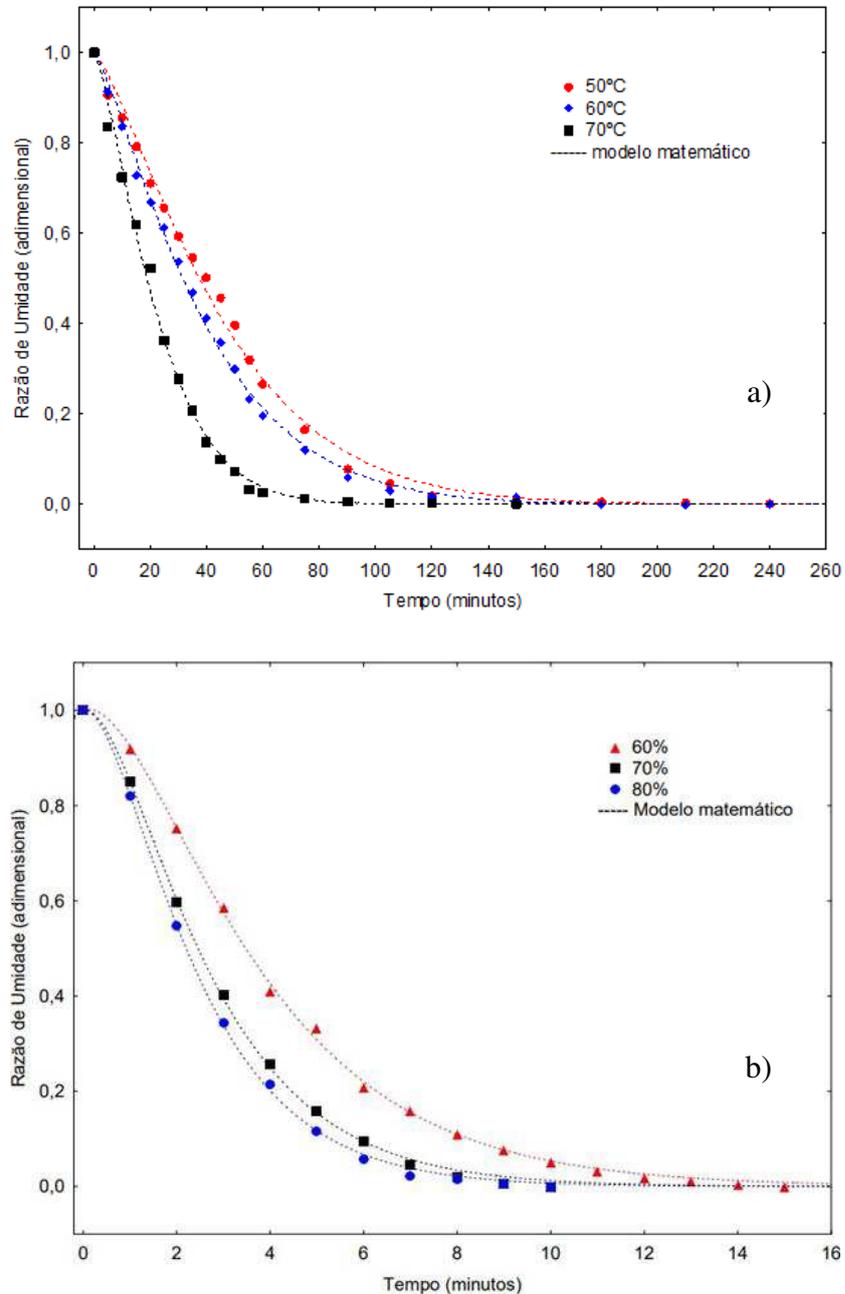
Na Figura 1 são apresentados os valores observados da razão de umidade estimados pelo modelo Aproximação da difusão para a secagem convectiva e do modelo de Midilli para a secagem por irradiação de micro-ondas dos resíduos do caroço da pitomba.

Analisando a Figura 1 onde se verifica a razão de umidade em função do tempo de secagem, é possível observar que houve uma diminuição no teor de água ao decorrer do tempo, até este se tornar constante. De acordo com Carvalho *et al.* (2022) o aumento da temperatura do ar de secagem provoca uma maior taxa de retirada de água do produto. Este fato pode ser justificado através do nível de vibração molecular das moléculas de água que aumenta com o aumento da temperatura, provocando assim uma difusão mais rápida da água (Silva *et al.*, 2020b).

Verifica-se que tanto para a secagem do caroço da pitomba em estufa de circulação de ar quanto para a secagem em forno micro-ondas, os comportamentos das curvas são similares, a razão de umidade declina rapidamente no início do processo e a redução vai ocorrendo mais lentamente à medida que há um aumento no tempo de secagem. Este mesmo comportamento

foi observado por Barros *et al.* (2020) que afirmam que a maior taxa de secagem ocorre no início do processo, elucidada pela maior inclinação das curvas.

Figura 1: Valores experimentais da razão de umidade das secagens dos caroços da pitomba: a) secagem em estufa de circulação de ar; b) secagem em forno micro-ondas nas potências de 780, 910 e 1040W.



Fonte: Autora, 2024.

Segundo Silva *et al.* (2020b), as curvas da cinética de secagem mostram o efeito provocado pelo aumento da temperatura do ar sob a secagem do produto, processo no qual

ocorre a transferência de energia na forma de calor para as amostras, possibilitando uma maior taxa de transferência de massa.

Considerando a cinética de secagem do caroço da pitomba em estufa de circulação de ar, observa-se que foram necessários 300, 240 e 210 min para atingir o equilíbrio higroscópico (Figura 1a) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. O teor de água inicial foi de 38,80 % bu, com redução para valores finais de 6,23, 4,92 e 3,53 % bu. Por outro lado, na secagem utilizando o forno micro-ondas (Figura 1b), os tempos de secagem foram de 16, 11 e 10 min para a secagem nas potências de 780, 910 e 1040 W, respectivamente. O teor de água inicial foi de 41,92 % bu, e os teores finais de 6,85, 6,82 e 5,34 % bu.

É possível observar uma diferença significativa nos tempos de secagem obtidos entre os dois métodos avaliados. Notavelmente, o tempo de secagem utilizando irradiação de micro-ondas é consideravelmente menor, resultando em uma redução de 95,24% em comparação com o método convencional. Este é um dos aspectos cruciais ao considerar a implementação em escala industrial, pois um menor tempo de secagem não apenas reduz o consumo energético, mas também impacta positivamente nos custos de produção e no valor final do produto, como discutido por Tavares *et al.* (2019).

Na secagem utilizando a estufa de circulação de ar, se destacam os dados da secagem obtidos na maior temperatura (70 °C), onde ocorre uma maior redução na razão de umidade e, no tempo de secagem, que correspondeu a 180 min. Com a secagem em forno micro-ondas observou-se o mesmo comportamento, ao utilizar a maior potência (1040 W) obteve-se uma menor razão de umidade e tempo de secagem, 10 min. Desse modo, pode-se considerar que à medida em que há um aumento na temperatura e/ou potência, há uma redução na razão de umidade e no tempo de secagem do produto.

3.3 Difusividade efetiva, energia de ativação e propriedades termodinâmicas

Na Tabela 5 são apresentados os valores das difusividades efetivas (Def) e energias de ativação (Ea) obtidos nas secagens do caroço da pitomba, com respectivos coeficientes de determinação (R²).

Nota-se que à medida em que a temperatura e potência aumentam, os valores das difusividades efetivas aumentam. A difusividade e a temperatura do ar de secagem são dependentes, quanto maior for a temperatura do ar de secagem, maior a difusividade (Cavalcante *et al.*, 2020).

Durante a secagem do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) em uma temperatura de 50 a 80 °C, Santos *et al.* (2021) encontraram valores de difusividades que variam entre $2,60 \times 10^{-11}$ e $6,03 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Na secagem de grãos de algaroba (*Prosopis juliflora*), as difusividades efetivas encontradas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C foram $2,5088 \times 10^{-8}$, $3,0724 \times 10^{-8}$ e $4,6497 \times 10^{-8}$, respectivamente (Cavalcante *et al.*, 2020).

Tabela 5: Valores de Difusividades efetivas (Def) e Energias de ativação (Ea) dos caroços da pitomba secos em diferentes temperaturas e condições de secagens.

Secagem		Difusividade efetiva ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)	R ²	Energia de ativação ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	R ²
	Temperatura (°C)				
Convectiva	50	$5,39 \times 10^{-10}$	0,976	37,7971	0,837
	60	$6,03 \times 10^{-10}$	0,986		
	70	$1,23 \times 10^{-9}$	0,983		
	Potência (W)				
Irradiação micro-ondas	780	$6,61 \times 10^{-9}$	0,955	14,9644	0,903
	910	$8,43 \times 10^{-9}$	0,948		
	1040	$8,96 \times 10^{-9}$	0,952		

Fonte: Autora, 2024.

Na Tabela 5, são apresentados os valores das energias de ativação associadas aos diferentes processos de secagem investigados, variando entre 37,7971 e 14,9644 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ para secagem convectiva e por irradiação de micro-ondas, respectivamente. Esta variação nas energias de ativação sugere diferenças nos mecanismos de transporte de massa durante os dois métodos de secagem. Valores mais baixos de energia de ativação indicam uma maior facilidade de transporte de massa, o que pode ser atribuído ao aquecimento seletivo e eficiente proporcionado pelas micro-ondas que contribui para a redução na energia de ativação e, consequentemente, para a aceleração do processo de secagem. Tal fato é consistente com estudos anteriores que destacam os efeitos benéficos da irradiação de micro-ondas na redução no tempo de secagem (Silva *et al.* 2022).

Duarte *et al.* (2020), durante a secagem em leito fixo da berinjela (*Solanum melongena*) nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, encontraram valores de energia de ativação de 37,676 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Almeida *et al.* (2020), na secagem do feijão azuki (*Vigna angularis*) nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, o processo apresentou uma energia de ativação de 27,69 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

A Tabela 6 mostra os valores das propriedades termodinâmicas (variação da entalpia, variação da entropia e energia livre de Gibbs) para as secagens do caroço da pitomba nas diferentes temperaturas e potências.

Tabela 6: Propriedades termodinâmicas dos caroços da pitomba secos em diferentes condições de secagens.

Secagem		ΔH (kJ.mol ⁻¹)	ΔS (kJ.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	ΔG (kJ.mol ⁻¹)
	Temperatura (°C)			
Convectiva	50	35,1104	-0,3069	134,3654
	60	35,0273	-0,3071	137,4356
	70	34,9442	-0,3074	140,5084
	Potência (W)			
Irradiação micro-ondas	780	12,1946	-0,3573	131,2215
	910	12,1114	-0,3575	134,7956
	1040	12,0283	-0,3578	138,3720

ΔH : variação de entalpia; ΔS : variação de entropia; ΔG : variação de energia livre de Gibbs

Fonte: Autora, 2024.

Percebesse que à medida em que há um aumento de temperatura e potência a variação de entalpia e entropia diminuíram, já em relação a variação de energia livre de Gibbs houve um aumento.

Os dados obtidos para a variação de entalpia foram positivos (Tabela 6), indicando que se trata de um processo endotérmico no qual ocorre a absorção de calor, os valores encontrados variaram de 35,1104 kJ.mol⁻¹ para a secagem convectiva e 12,0283 kJ.mol⁻¹ para a secagem por irradiação. Resultados similares foram encontrados por Almeida *et al.* (2020) durante a secagem do feijão azuki nas temperaturas de 40 a 80 °C e por Alves *et al.* (2022) na secagem das sementes de *Capsicum baccatum* var. *pendulum* nas temperaturas de 30 a 60 °C.

Em relação aos valores de variação de entropia, todos os dados encontrados foram negativos e variam entre -0,3578 e -0,3069 kJ.mol⁻¹.K⁻¹. Em conformidade com Santos *et al.* (2019), ao avaliarem as propriedades termodinâmicas da polpa de patuá nas temperaturas 40, 50 e 60 °C, onde observou-se que as variações de entropia reduziram com o aumento da temperatura. Cavalcanti-Mata *et al.* (2020) afirmaram que o aumento da temperatura resulta em vibração, rotação e movimento da molécula de água, ocasionando o aumento da difusividade e redução na variação de entropia do processo.

Os valores das energias livres de Gibbs encontradas foram positivas (Tabela 6), os dados indicam que se trata de um processo não espontâneo. Este comportamento também foi observado por Santos *et al.* (2021) na secagem do quiabo nas temperaturas de 50 a 80°C e por Souza *et al.* (2021) ao determinarem as propriedades termodinâmicas do epicarpo, mesocarpo e endocarpo do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, onde os

valores encontrados para a energia livre de Gibbs também foram positivos, indicando que o processo necessita de energia externa para difusividade da água no ar.

3.4 Parâmetros de cor dos produtos farináceos

Após a obtenção dos produtos farináceos nas melhores condições de secagens, foram realizadas as análises para determinar os parâmetros de cor que se encontram expressos na Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros colorimétricos dos produtos farináceos dos resíduos dos caroços da pitomba.

Amostras	Cor				
	L*	a*	b*	Croma	h°
FCAREST	33,88 ± 0,06 ^a	7,68 ± 0,01 ^a	11,60 ± 0,04 ^b	13,91 ± 0,02 ^b	56,47 ± 0,11 ^b
FCARMO	24,41 ± 0,18 ^b	7,52 ± 0,04 ^b	29,66 ± 0,23 ^a	30,60 ± 0,23 ^a	75,78 ± 0,08 ^a

Resultados expressos com média ± desvio padrão (triplicata). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os produtos farináceos pelo teste de Tukey (p < 0,05). FCAREST: farinha do caroço da pitomba na estufa; FCARMO: farinha do caroço da pitomba no micro-ondas; L*: luminosidade; a* e b*: coordenadas de transição das cores; h°: ângulo de tonalidade.

Fonte: Autora, 2024.

Observa-se na Tabela 7 que todos os dados dos parâmetros de cor obtiveram diferença significativa ao nível de 95% entre as farinhas estudadas. Para a coordenada L*, que representa a luminosidade, os resultados encontrados indicam que a farinha do caroço da pitomba em estufa apresenta maior luminosidade correspondendo a 33,88 e menor luminosidade de 24,41 para a farinha no micro-ondas. Segundo Cavalet *et al.* (2023) quanto maior for o valor da coordenada L*, mais próxima ao branco e mais luminosidade a amostra terá.

Silva *et al.* (2020b), na secagem de batatas baroa nas temperaturas de 60 e 70°C, encontraram resultados para o parâmetro de luminosidade de 57,5 e 53,4 nas respectivas temperaturas. Em conformidade com Medeiros Filho *et al.* (2019) que observaram que a farinha do arilo do jatobá-do-cerrado apresentou maior luminosidade correspondendo a 72,97 e menor L* para a farinha da sua semente valor igual a 65,06.

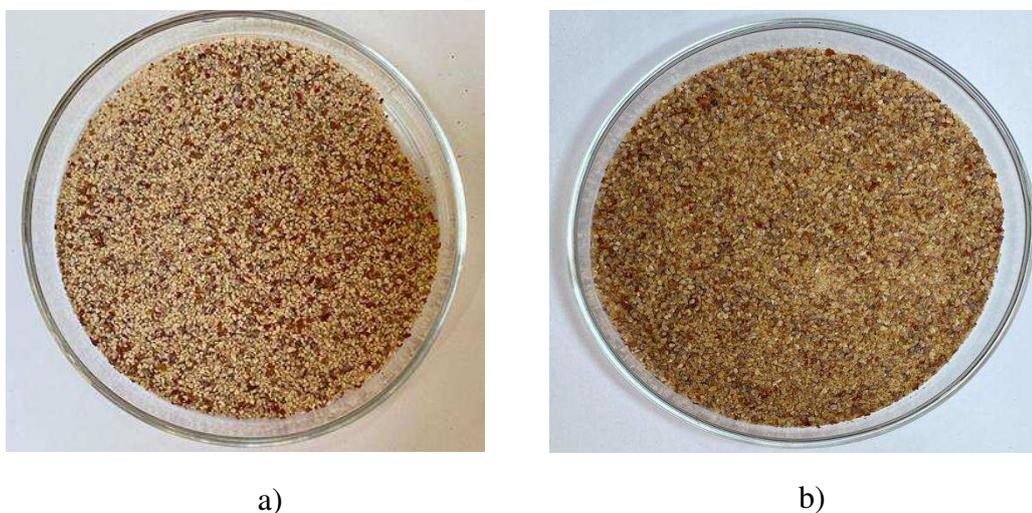
O parâmetro a* expressa a variação de cor entre o verde (a* < 0) e vermelho (a* > 0), enquanto o b* expressa a variação entre o azul (b* < 0) e amarelo (b* > 0) (Viana *et al.*, 2019). Para os resultados de a* (Tabela 7), o valor encontrado para a farinha do caroço na estufa foi 7,68 e para a farinha do caroço no micro-ondas foi de 7,52, logo, se considera que ambas farinhas tendem à cor vermelha. Em relação ao parâmetro b*, os valores encontrados foram

11,60 e 29,66 para a farinha na estufa e no micro-ondas, respectivamente, apresentando tendência para o tom amarelo.

No estudo realizado por Viana *et al.* (2019) as amostras de farinha de mandioca obtiveram valores de $a^* > 0$ o que indica que as farinhas tendem ao vermelho e a amarelo de acordo com os dados obtidos para b^* . Os valores encontrados para as farinhas do flavedo de laranja/melancia e albedo de laranja/melancia apresentaram uma variação entre -3,63 a 4,52 para o parâmetro a^* e 18,00 a 32,91 para b^* (Medeiros Filho *et al.* 2019).

A Figura 2 apresenta os produtos farináceos dos caroços da pitomba obtidos nas diferentes condições de secagens. É possível notar as diferenças existentes entre a coloração das farinhas, onde a farinha obtida no micro-ondas tem uma coloração mais intensa.

Figura 2- Produtos farináceos dos caroços da pitomba obtidos nas secagens em: a) estufa de circulação de ar; b) forno micro-ondas.



Fonte: Autora, 2024.

Segundo Cavalet *et al.* (2023) na avaliação colorimétrica de um produto é importante analisar também a saturação (C^*) que representa a pureza da cor, e a tonalidade (h°) que caracteriza a qualidade da cor. De acordo com a Tabela 7 a farinha do caroço no micro-ondas apresentou melhor saturação de cor com C^* de 30,60, e tonalidade h° com 75,78.

Os resultados obtidos por Medeiros Filho *et al.* (2019) foram semelhantes, onde observou-se a variação de C^* entre 18,34 e 33,22 e para h° de 79,00 a 98,40 para as farinhas do flavedo de laranja/melancia e albedo de laranja/melancia. Os valores de C^* foram 24,80 e 28,40 e de h° foram 61,85 e 67,72 para a farinha da casca e polpa e da farinha da semente de *Syzygium jambos* (Cavalet *et al.*, 2023).

3.5 Caracterização dos caroços *in natura* e dos seus produtos farináceos

Na Tabela 8, tem-se os valores médios e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos do caroço da pitomba *in natura* e de seus produtos farináceos. De maneira geral, verifica-se que o método de secagem influenciou nos parâmetros analisados.

Tabela 8: Valores médios e desvios padrão da caracterização do caroço da pitomba - *in natura* e dos seus produtos farináceos em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas.

Parâmetros	<i>In natura</i>	FCAREST	FCARMO
Teor de água (%) (bu)	44,32 ± 0,60 a	6,88 ± 0,07 c	12,82 ± 0,07 b
Atividade de água (25 °C)	-----	0,59 ± 0,00 b	0,68 ± 0,01 a
pH	5,78 ± 0,02 b	6,04 ± 0,03 a	5,61 ± 0,02 c
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	2,17 ± 0,30 c	6,00 ± 0,50 a	4,50 ± 0,50 b
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	5,82 ± 0,64 b	9,40 ± 0,46 a	9,82 ± 0,71 a
<i>Ratio</i> (SST/ATT)	0,37 ± 0,07 b	0,64 ± 0,02 a	0,46 ± 0,08 b
Cinzas (%)	4,60 ± 0,88 b	7,66 ± 0,68 a	5,82 ± 0,87 ab
Açúcares totais (%)	-----	7,72 ± 0,35 a	7,87 ± 0,13 a
Proteínas (% bu)	5,45 ± 0,19 b	9,76 ± 1,25 a	8,01 ± 0,18 a
Lipídeos (%)	-----	0,55 ± 0,01 a	0,38 ± 0,02 b
Carboidratos totais (g/100g)	-----	74,44 ± 1,61 a	71,79 ± 0,93 a

Resultados expressos com média ± desvio padrão (triplicata). Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FCAREST: farinha do caroço da pitomba na estufa; FCARMO: farinha do caroço da pitomba no micro-ondas.

Fonte: Autora, 2024.

Observa-se que houve diferença significativa entre os teores de água do caroço da pitomba *in natura* e de seus produtos farináceos. O teor de água do caroço *in natura* foi igual a 44,32 ± 0,60, após a sua secagem em estufa de circulação de ar e em micro-ondas os teores encontrados foram 6,88 ± 0,07 e 12,82 ± 0,07, respectivamente. Nota-se que com as secagens o teor de água foi reduzido, como esperado, e que utilizando o método de secagem em estufa de circulação de ar o valor obtido foi menor ainda quando comparado com a secagem em micro-ondas. Valor semelhante ao do teor de água do caroço da pitomba foi relatado por Alves *et al.* (2022) para a secagem das sementes de *Capsicum baccatum* L. var. *pendulum* onde o teor de

água foi reduzido de 86,95% para 21,42%, 15,10%, 8,71% e 0,4% para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60°C.

De acordo com Simões *et al.* (2022) a atividade de água está fortemente relacionada com a contaminação fúngica e com a produção de substâncias potencialmente tóxicas. Quanto menor for a atividade, mais lentas serão as reações bioquímicas e com isso menor a mobilidade de atividade enzimática (Medeiros Filho *et al.*, 2019). A atividade de água (aw) das farinhas do caroço da pitomba apresentaram valores de 0,68 e 0,59. Valor próximo de aw foi encontrado por Gouvea *et al.* (2020) na farinha do talo de beterraba no qual o valor encontrado foi de 0,45.

O pH do caroço da pitomba *in natura* foi igual a $5,78 \pm 0,02$, resultado próximo ao descrito por Resende *et al.* (2019) na semente de fruta-pão ($5,55 \pm 0,05$). O método de secagem provocou mudanças significativas no pH dos produtos farináceos do caroço da pitomba, ocasionando aumento e redução para a farinha obtida na estufa de circulação de ar e em micro-ondas, os valores encontrados para esse parâmetro foram $6,04 \pm 0,03$ e $5,61 \pm 0,02$, respectivamente. Valor inferior foi encontrado por Conceição *et al.* (2022) na farinha do pedúnculo do caju no qual o pH médio encontrado foi igual a 4,20.

O teor dos sólidos solúveis totais (SST) da amostra *in natura* foi igual a $2,17 \pm 0,30$ °Brix, resultado semelhante ao descrito por Carneiro *et al.* (2020) onde para a farinha da banana verde com a combinação de ácido ascórbico com ácido cítrico o valor encontrado foi igual a 2,3 °Brix e 2,1 °Brix para a farinha da banana verde com ácido cítrico. Acorreu uma concentração dos SST ao se utilizar os métodos de secagens, a farinha do caroço na estufa em circulação de ar obteve um valor de $6,00 \pm 0,50$ °Brix, enquanto para a farinha do caroço no micro-ondas o resultado encontrado foi igual a $4,50 \pm 0,50$ °Brix. Segundo Soares *et al.* (2020) o teor de sólidos solúveis totais tem influência na quantidade de compostos, principalmente açúcares e ácidos orgânicos, que são responsáveis pelo sabor do produto e consequentemente pela aceitação do consumidor.

Em relação aos teores de acidez total tituláveis, medidos em % ácido cítrico, observa-se que houve diferença significativa entre a amostra *in natura* e as farinhas obtidas, mas as farinhas não se diferenciam entre si. A farinha do caroço no micro-ondas apresentou maior valor, 9,82 % ácido cítrico, enquanto a amostra *in natura* e a farinha na estufa apresentaram valores menores 5,82 e 9,40 % ácido cítrico, respectivamente. Na farinha do bagaço da cana-de-açúcar os resultados foram semelhantes, os valores obtidos para acidez variaram entre 9,01 e 11,61 mg/100g (Soares *et al.*, 2020).

O parâmetro *ratio*, relação entre SST/ATT, indicam o estado de maturação do fruto, no presente estudo houve diferença significativa entre as amostras analisadas, os valores obtidos podem ser considerados baixos e variam entre 0,37 a 0,64, onde a farinha do caroço da pitomba na estufa apresentou o maior valor. Também foram encontrados baixos valores de *ratio* para a farinha do bagaço da cana-de-açúcar, estando entre 0,16 a 0,30 (Soares *et al.*, 2020). De acordo com Rodrigues *et al.* (2020) a partir da maturação dos frutos, os sólidos solúveis se elevam e a acidez se reduz, indicando que a relação SST/ATT é diretamente proporcional aos sólidos solúveis e inversamente proporcionais à acidez.

Os teores de cinzas encontrados para as amostras *in natura* e das farinhas do caroço da pitomba em estufa e em micro-ondas foram $4,60 \pm 0,88$, $7,66 \pm 0,68$ e $5,82 \pm 0,87$ %, respectivamente, além disso, observa-se que há aumentos nos teores ao se adotar os métodos de secagens para elaborações das farinhas. Resultados próximos foram encontrados por Oliveira *et al.* (2021) no qual o caroço do abacate *in natura* apresentou um teor de cinzas de $2,79 \pm 0,04$ % bs e após o processo de secagem obteve-se um valor de 4,13% bs, aumentando também o valor com a secagem. Nas análises realizadas por Resende *et al.* (2019) para determinar os teores de cinzas da fruta-pão *in natura* e nas farinhas da casca, polpa e semente também foi observado que os teores aumentaram com a secagem devido à perda de água na secagem e pela concentração dos nutrientes nas diferentes partes da fruta.

Em relação aos teores de açúcares totais das farinhas do caroço da pitomba na estufa e no micro-ondas observa-se que estes não se diferem estatisticamente entre si. Os resultados encontrados para os açúcares totais das farinhas foram 7,72 e 7,87 %, simultaneamente, inferiores aos dados obtidos por Azevedo *et al.* (2020) para a farinha do resíduo da jabuticaba no qual o percentual de açúcares totais obtido foi de 62,13%.

Quanto aos teores de proteína bruta, os valores médios obtidos para as amostras *in natura* e das farinhas do caroço da pitomba em estufa e micro-ondas foram 5,45; 9,76 e 8,01. Os expressivos valores demonstram as farinhas são produtos proteicos e que não possuem diferença estatística entre si. No estudo de Cavalet *et al.* (2023), avaliando a farinha da casca e polpa e da semente de *Syzygium jambos*, os pesquisadores encontraram $11,25 \pm 0,06$ % de proteína na farinha da semente. Vieira *et al.* (2021) encontraram valores inferiores nas farinhas de semente de abóbora submetidas ao processamento térmico em micro-ondas e estufa convencional correspondendo a $5,22 \pm 0,05$ e $4,95 \pm 0,09$ %, respectivamente.

Os dados encontrados para os teores de lipídeos apresentam diferenças significativas, os valores obtidos para as farinhas foram $0,55 \pm 0,01$ e $0,38 \pm 0,02$ %, logo pode-se considerar

teores baixos. De acordo com Soares *et al.* (2020) a farinha do bagaço da cana-de-açúcar também apresentou baixos teores de lipídeos, assim como outras farinhas de origem vegetal originadas a partir de resíduos industriais, os teores variam entre 0,16 e 0,65%. Nascimento *et al.* (2024) analisando o teor lipídico da farinha de semente de jaca encontrou uma variação entre 1,13 e 1,54% entre as amostras para cada método aplicado, teores superiores aos resultados encontrados nesse estudo. Em conformidade com Freitas *et al.* (2021) ao analisar a farinha do caroço de abacate, no qual o produto também apresentou consideráveis teores de lipídeos 3,05%.

Na determinação de carboidratos totais por diferença centesimal, observa-se que os valores encontrados não se diferem e correspondem a $74,44 \pm 1,61$ g/100g para a farinha produzida na estufa e $71,79 \pm 0,93$ g/100g para a farinha no micro-ondas. No estudo realizado por Oliveira *et al.* (2021) o teor de carboidratos totais encontrado para o caroço de abacate seco foi igual a $73,26 \pm 1,34$ g/100g, se assemelhando aos dados obtidos para as farinhas do caroço da pitomba nesse estudo.

A Tabela 9 apresenta os valores médios encontrados de CL₅₀, calculados com um intervalo de confiança de 95%, para o extrato aquoso da farinha dos caroços da pitomba em estufa de circulação de ar.

Tabela 9: Toxicidade da farinha dos caroços da pitomba na secagem em estufa de circulação de ar.

CL ₅₀ (µg.mL ⁻¹)	Intervalo de confiança 95%	
	Inferior	Superior
7736,35	5698,07	9774,63

Fonte: Autora, 2024.

A partir dos dados apresentados na Tabela 9 é possível perceber que a farinha do caroço da pitomba através do ensaio toxicológico obteve resultados de CL₅₀ acima de 1000 ppm, 7736,35 µg.mL⁻¹, indicando que a farinha não é tóxica e que há a possibilidade de introduzir esta farinha na alimentação humana.

A toxicidade encontrada para o farináceo proveniente do caroço da pitomba foi superior aos dados de Dantas *et al.* (2020) ao verificarem o valor de CL₅₀ para as amêndoas das sementes de *Moringa oleifera* Lam utilizando *Artemia salina* Leach, observou-se que os extratos analisados também não são tóxicos por apresentarem valor superior de CL₅₀ >1000 ppm, correspondendo a 1783,40 µg.mL⁻¹.

A Tabela 10 apresenta os valores médios encontrados para as análises de fenólicos e flavonóides totais, assim como da atividade antioxidante *in vitro* pelos métodos FRAP e ABTS dos produtos farináceos do caroço da pitomba produzidos em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas.

Todos os dados obtidos para a quantificação de fenólicos e flavonóides totais e de antioxidantes apresentam diferenças significativas entre si, além disso, nota-se que a farinha do caroço da pitomba em estufa se destaca com os maiores valores para todos estes parâmetros.

Tabela 10: Valores médios e desvios padrão dos fenólicos totais, flavonóides totais e atividade antioxidante dos produtos farináceos do caroço da pitomba em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas.

Amostras	Fenólicos Totais (mg EAG/100 g)	Flavonóides Totais (mg EC/100 g)	Antioxidantes	
			FRAP ($\mu\text{mol trolox TEAC/g}$)	ABTS ($\mu\text{mol trolox TEAC/g}$)
FCAREST	1481,07 \pm 4,75 a	519,60 \pm 4,00 a	0,38 \pm 0,00 a	61,32 \pm 0,49 a
FCARMO	971,01 \pm 2,88 b	370,27 \pm 4,62 b	0,30 \pm 0,00 b	42,75 \pm 0,59 b

Resultados expressos com média \pm desvio padrão (triplicata). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FCAREST: farinha do caroço da pitomba na estufa; FCARMO: farinha do caroço da pitomba no micro-ondas.

Fonte: Autora, 2024.

Os resultados encontrados para fenólicos totais das farinhas do caroço da pitomba em estufa e em forno micro-ondas foram iguais a 1481,07 e 971,01 mg EAG/100g, e os flavonóides totais com valores de 519,60 e 370,27 mg EC/100g, simultaneamente. A atividade antioxidante *in vitro* pelo método de FRAP apresentou valores de 0,38 e 0,30 $\mu\text{mol trolox TEAC/g}$, enquanto pelo método de ABTS os valores foram 61,32 e 42,75 $\mu\text{mol trolox TEAC/g}$ para as farinhas em estufa e em micro-ondas, respectivamente. No estudo realizado por Dantas *et al.* (2020b) para avaliar os teores de fenóis totais, flavonóides e a atividade antioxidante contra o radical DPPH do extrato etanólico do caroço da pitomba, os resultados encontrados foram iguais a 54,792 \pm 0,03 mg EAG/g, 4,50 \pm 0,03 mg EQ/g e CI_{50} de 31,24 \pm 1,37 $\mu\text{g/ml}$.

Os valores de concentração dos minerais encontrados foram expressos em mg/100g e os minerais identificados foram magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn), conforme apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Valores médios e desvios padrão dos minerais constituintes das amostras do caroço de pitomba *in natura* e dos produtos farináceos originados em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas.

Minerais mg.100g ⁻¹	<i>In natura</i>	Amostras	
		FCAREST	FCARMO
Magnésio	232,6 ± 0,8	560,6 ± 4,7	469,1 ± 1,6
Fósforo	695,4 ± 0,8	1270,3 ± 3,4	977,5 ± 0,9
Enxofre	326,6 ± 0,4	380,4 ± 0,8	354,5 ± 0,3
Potássio	2869,4 ± 1,4	4630,1 ± 3,1	3497,8 ± 4,5
Cálcio	417,2 ± 0,0	742,8 ± 1,1	497,4 ± 0,3
Manganês	1,2 ± 0,0	1,9 ± 0,0	1,3 ± 0,0
Ferro	5,8 ± 0,0	10,4 ± 0,0	6,9 ± 0,0
Cobre	1,6 ± 0,0	2,7 ± 0,0	1,8 ± 0,0
Zinco	2,9 ± 0,0	5,0 ± 0,0	3,5 ± 0,0

Resultados expressos com média ± desvio padrão (triplicata). FCAREST: farinha do caroço da pitomba na estufa; FCARMO: farinha do caroço da pitomba no micro-ondas.

Fonte: Autora, 2024.

De acordo com os dados obtidos na Tabela 11, é possível observar que o caroço da pitomba é uma boa fonte de minerais, principalmente de potássio onde encontrou-se altos valores tanto na amostra *in natura* quanto nos farináceos. Cândido *et al.* (2022) afirmam em seu estudo que os teores de minerais nas farinhas de banana verde são bastante variáveis e que o potássio (K) foi o mineral mais abundante e zinco (Zn) o menos abundante.

Usando os métodos de secagens os valores para todos os minerais constituintes das amostras das farinhas dos caroços da pitomba aumentaram, sendo os maiores valores encontrados no farináceo obtido na secagem convectiva. Este aumento a partir da secagem também foi observado na secagem de folhas do umbuzeiro por Ferreira *et al.* (2020) onde além do processo de secagem ser capaz de conservar as folhas do umbuzeiro por um período de tempo maior, as farinhas produzidas apresentaram valores maiores de minerais, devido ter ocorrido a concentração destes pela retirada de água, indicando que trata-se de produto elaborado rico em nutrientes.

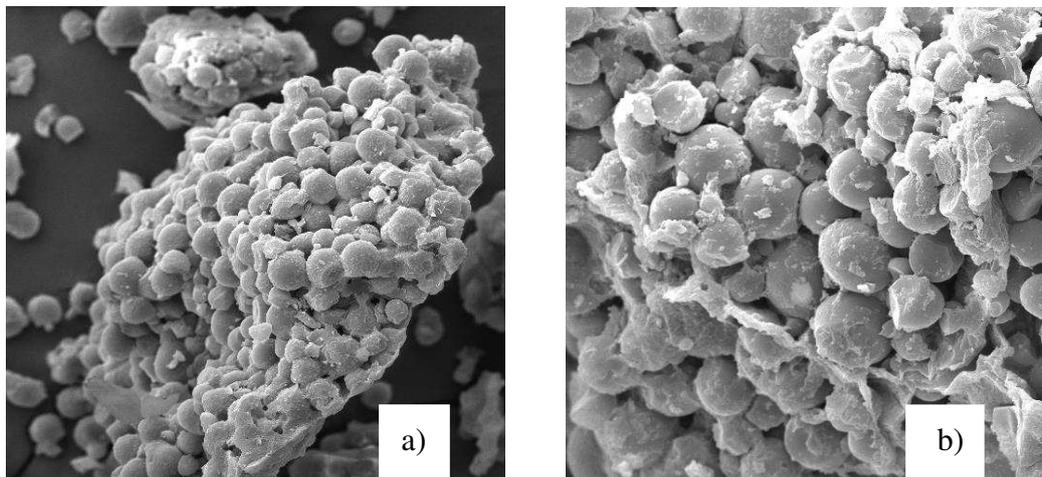
Entretanto, na obtenção da farinha da semente de abóbora por secagem em micro-ondas e em estufa não foi observado alterações na composição de minerais com o uso dos processamentos térmicos, mas de acordo com os dados a farinha também apresenta uma boa constituição de minerais, destacando-se o fósforo, magnésio, manganês e zinco (Vieira *et al.*, 2021).

3.6 Morfologia das partículas

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as micrografias das farinhas do caroço da pitomba submetidas à secagem em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas, respectivamente. É possível observar que as farinhas analisadas apresentam estruturas aglomeradas e esféricas, com superfícies lisas e diâmetro médio de $9,51\mu\text{m}$.

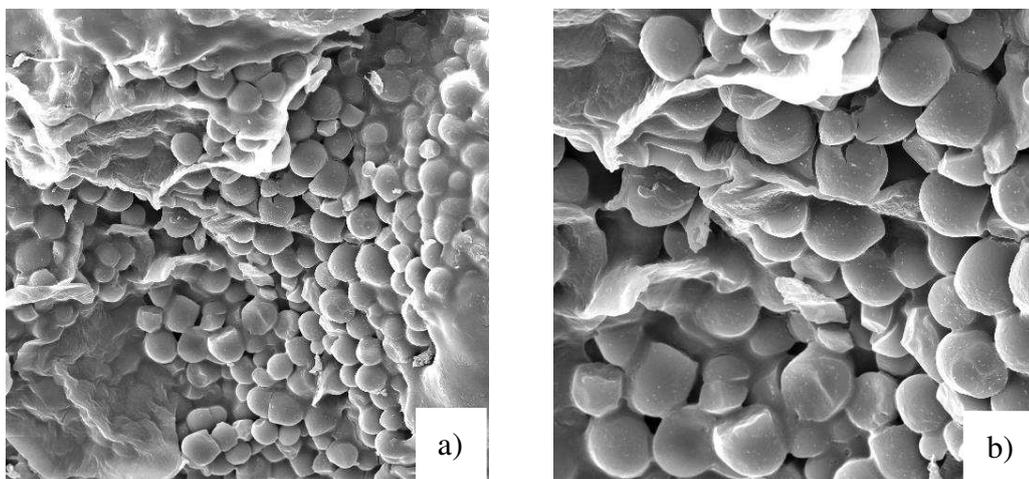
Verifica-se que na farinha obtida por secagem convectiva ocorre uma tendência menor de aglomeração e uma superfície menos definida quando comparada com o farináceo desenvolvido em forno micro-ondas que apresenta uma melhor morfologia.

Figura 3: Micrografia dos farináceos do caroço da pitomba em estufa de circulação de ar: a) 1000x; b) 2000x.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 4: Micrografia dos farináceos do caroço da pitomba em forno micro-ondas: a) 1000x; b) 2000x.



Fonte: Autora, 2024.

Pode-se comprovar a presença de amido nos caroços da pitomba através do formato esférico encontrado nas micrografias, o qual é característico dos grânulos de amido como afirma Silva *et al.* (2020a) na caracterização de farinha de tapioca obtida a partir de féculas de mandiocas (*Manihot esculenta* Crantz).

Em concordância com o estudo realizado por Castro *et al.* (2019) que teve como objetivo extrair amido da semente de pitomba e caracterizá-lo quanto às características físicas, químicas, tecnológicas, térmicas e morfológicas, observou que o rendimento do amido foi de 44%. Ao analisar as micrografias do amido da pitomba, os referidos autores encontraram uma estrutura semielíptica com alguns grânulos em forma de sino com superfície lisa, sem rachaduras e algumas estruturas aglomeradas, com tamanho médio de 8,85 μm .

4. CONCLUSÕES

Em relação as cinéticas de secagens, todos os modelos tiveram bons ajustes matemáticos, mas o modelo de Aproximação da difusão se destaca para a secagem em estufa de circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e o modelo de Midilli para a secagem em forno micro-ondas nas potências de 780, 910 e 1040W, devido serem os mais adequados para prever as cinéticas nas condições utilizadas por possuir os maiores valores para o coeficiente de determinação e os menores valores do desvio quadrático médio e qui-quadrado. Além disso, observou-se que à medida em que a temperatura e potência aumentam, os valores das difusividades efetivas e energia livre de Gibbs se elevam, por outro lado, a variação de entalpia e entropia diminuem.

Os dados indicam que as farinhas não são tóxicas apresentam teores de proteína bruta, carboidratos totais, fenólicos totais, flavonóides totais e de atividade antioxidante consideráveis, além de ser uma boa fonte de minerais, principalmente de potássio e fósforo. A farinha obtida na estufa apresenta os maiores valores, com exceção dos dados encontrados apenas nas análises do teor de água, atividade de água, acidez total titulável e açúcares totais. As morfologias das partículas dos farináceos possuem estruturas aglomeradas e esféricas, indicando a presença de amido no caroço da pitomba, e que a farinha desenvolvida em forno micro-ondas apresenta uma melhor morfologia.

Portanto, pode-se considerar que através dos processos de secagens dos caroços de pitomba utilizando tanto a estufa de circulação de ar como o forno micro-ondas é possível obter os produtos farináceos destes resíduos com condições propícias para o consumo, agregando valor ao produto e reduzindo o desperdício da matéria-prima.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. S.; QUEIROGA, A. P. R.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; ARAÚJO, R. D. A.; CABRAL, M. B.; SILVA, L. R. I.; BORGES, E. M. E. S. Cinética de secagem do feijão azuki: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e27932316-e27932316, 2020.
- ALVES, J. C.; FERREIRA JÚNIOR, W. N.; SANTOS, S. G.; ALMEIDA, V. G.; VAZ, V.; SELARIE, P. J.; RODOVALHO, R. S. Drying kinetics and thermodynamic properties of *Capsicum baccatum* L. var. pendulum (Willd.) Eshbaugh. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 45, n. 1-2, 2022.
- AZEVEDO, T. S.; ABREU, J. P.; TORRES, T. L. Avaliação das características físico-químicas, atividade antioxidante e fenólicos totais da farinha do extrato da jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*). **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 7, n. 2, p. 1-13, 2020.
- BARROS, S. L.; CÂMARA, G. B.; LEITE, D. D. F.; SANTOS, N. C.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; ALBUQUERQUE, A. P.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e60911608-e60911608, 2020.
- BENZIE, I. F. F, STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol**, v. 37, n.8, p. 911-917, 1959.
- BORAH, M. S.; RAJ, G. B.; TIWARI, A.; DASH, K. K. Effect of intermittent microwave convective drying on quality characteristics of persimmon fruit. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, p. 100816, 2023.
- BRASIL. Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes. Vol. 1 - Métodos físicos e químicos. LANARA: 1981.
- CÂNDIDO, H. T.; LEONEL, M.; LEONEL, S.; OUROS, L. F.; JESUS, P. R. R.; IZIDORO, M.; MOLHA, N. Z.; DOMICIANO, V. M. Green banana and ora-pro-nóbis mixed flours: nutritional and technological characteristics. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 2022.
- CARNEIRO, T. S.; OLIVEIRA, G. L. S.; SANTOS, J.; CONSTANT, P. B. L.; CARNELOSSI, M. A. G. Avaliação da farinha de banana verde com aplicação de antioxidantes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28634-28643, 2020.
- CARVALHO, M. S.; CORRÊA, P. C.; SILVA, G. N.; LOPES, L. M.; SOUSA, A. H. Kinetics and mathematical modeling of the drying process of macaúba almonds. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 199-205, 2022.
- CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152–167, 2018.

CASTRO, D. S.; MOREIRA, I. S.; SILVA, L. M. M.; LIMA, J. P.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Isolation and characterization of starch from pitomba endocarp. **Food Research International**, v. 124, p. 181-187, 2019.

CAVALCANTE, A. M. M.; ALMEIDA, R. D.; MELO, A. M.; MORAIS, B. A.; SILVA, I. R.; RIBEIRO, N. L.; DA SILVA, O. S. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 11192-11209, 2020.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; LIRA, V. V.; OLIVEIRA, R. F.; COSTA, N. L.; OLIVEIRA, H. M. L. A new approach to the traditional drying models for the thin-layer drying kinetics of chickpeas. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 12, p. 1-11, 2020.

CAVALET, M. C.; FILHO, A. C. P. M.; CASTRO, C. F. S.; VENTURA, M. V. A. Avaliação anatômica do fruto de jamba amarelo (*Syzygium jambos* (L.) Alston) e análise físico-química farinácea da casca e polpa e semente. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 7, p. 48-61, 2023.

CONCEIÇÃO, A. C.; VIEIRA, A. P. S. S.; CONCEIÇÃO, A. P.; FRANÇA, A. L.; SANTOS, J. M.; COSTA, J.; ABREU, B. B.; BARROS, N. V. A. Elaboração e Análise Físico-química e Sensorial de um Pão Fortificado com a Farinha do Resíduo Pedúnculo do Caju (*Anacardium Occidentale* L.). **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 26, n. 2, p. 229-236, 2022.

DANTAS, D. L.; SOUSA, A. P. M.; COSTA, J. D.; OLIVEIRA, J. A. M.; ALMEIDA, A. F.; APOLINÁRIO, M. O.; SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. Estudo toxicológico das sementes de Moringa oleifera Lam. utilizando o teste com Artemia salina Leach. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 9, p. e457997332-e457997332, 2020a.

DANTAS, L. V. B.; LOPES, S. F. F.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; CARDOSO, A. L. H.; MORAIS, S. M. Avaliação Fitoquímica, quantificação de Fenóis e Flavonóides totais, Atividade antioxidante e antiacetilcolinesterase do extrato etanólico Da Talísia esculenta (Pitomba). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60597-60602, 2020b.

DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C.; ARAÚJO, R. D. A.; ALMEIDA, R. D.; ANDRÉ, A. M. M. C. N.; MELO, R. B. D. F.; SOUSA, R. V.; NUNES, L. S. Coeficiente de difusividade efetivo e modelagem matemática da secagem de berinjela. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 54117-54124, 2020.

FERREIRA JUNIOR, W. N.; RESENDE, O.; PINHEIRO, G. K.; SILVA, L. C. D. M.; SOUZA, D. G.; SOUSA, K. A. D. Modeling and thermodynamic properties of the drying of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 37-43, 2021.

FERREIRA, S. V. F.; CAMPOS, A. R. N.; MEDEIROS, M. F. T. Elaboração e caracterização de produto farináceo a partir da folha do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e1309108295-e1309108295, 2020.

MEDEIROS FILHO, A. C. P. M.; SOUZA, J. C. P.; CASTRO, C. F. D. S. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e tecnológicos da farinha produzida a partir dos resíduos da agroindústria de laranja e melancia. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 399-410, 2019.

FRAGA, L. N.; OLIVEIRA, A. K. S.; ARAGÃO, B. P.; SOUZA, D. A.; SANTOS, E. W. P.; MELO, J. A.; SILVA, A. M. O.; JÚNIOR, A. W.; CORRÊA, C. B.; WARTHA, E. R. S. A.; BACCI, L.; CARVALHO, I. M. M. Mass spectrometry characterization, antioxidant activity, and cytotoxicity of the peel and pulp extracts of Pitomba. **Food Chemistry**, v. 340, p. 127929, 2021.

FREITAS, L. S.; DUTRA, C. S. Y.; MEDEIROS, M. B. O.; RODRIGUES, A. R. P.; LIMA, D. C. N. Obtenção e caracterização físico-química de farinha do caroço de abacate para adição em bolos. **Cadernos UniFOA**, v. 16, n. 45, 2021.

GOUVEA, I. F. S.; MACIEL, M. P. R.; CARVALHO, E. E. N.; BOAS, B. M. V.; NACHTIGALL, A. M. Caracterização física e química de farinha de talo de beterraba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15814-15823, 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. Ed., 1 ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

LIU, M.; LI, X. Q.; WEBER, C.; LEE, C. Y.; BROWN, J.; LIU, R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 2926–2930, 2002.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. E.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta medica**, v. 45, n. 05, p. 31-34, 1982.

MKHIZE, X.; NKOSI, N.; ZONDI, L.; TUMBA, K. Convective drying of pumpkin: Brief literature review and new data for organically produced indigenous pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) over an expanded temperature range. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 100800, 2023.

NASCIMENTO, P. C. A.; LOPES, M. M. A.; STAMFORD, T. C. M.; LEÃO, V. L. X. S.; RIBEIRO, M. A.; VASCONCELOS, M. A. S. Effects of thermal processing on nutritional composition and toxicity of jackfruit seeds. **Ciência Rural**, v. 54, p. 20230111, 2024.

NERI-NUMA, I. A.; CARVALHO, L. B. S.; FERREIRA, J. E. M.; MACHADO, A. R. T.; MALTA, L. G.; RUIZ, A. L. T. G.; PASTORE, G. M. Preliminary evaluation of antioxidant, antiproliferative and antimutagenic activities of pitomba (*Talisia esculenta*). **Lwt-Food science and technology**, v. 59, n. 2, p. 1233-1238, 2014.

OLIVEIRA, J. F.; MOREIRA, G. C.; STEINMCHER, N. C.; CORSO, M. P.; ZANATTA, E. R. Composição centesimal de subprodutos de frutas in natura e após o processo de secagem / Centesimal composition of fruit by-products in natura and after the drying process. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 53996-54004, 2021.

RESENDE, K. K. O.; SOUSA, S.; GUEDES, S. F.; LOSS, R. A. Cinética de secagem e avaliação físico-química de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) variedade semínifera. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 74-81, 2019.

ROCKENBACH, I. I.; RODRIGUES, E.; GONZAGA, L. V.; CALIARI, V.; GENOVESE, M. I.; GONÇALVES, A. E. D. S. S.; FETT, R. Phenolic compounds content and antioxidant

activity in pomace from selected red grapes (*vitis vinifera* L. and *vitis labrusca* L.) widely produced in Brazil. **Food Chemistry**, v. 127, p. 174-179, 2011.

RODRIGUES, R. M.; LACERDA, G. E.; CLEMENTE, R. C.; SILVA, A.; PIRES, C. R. F.; DO NASCIMENTO, G. N. L. Composição centesimal e características químicas dos frutos e sementes da mutamba (*Guazuma ulmifolia*). **Rev Bras Plantas Med/Braz J Med Plants**, v. 22, p. 160-169, 2020.

SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; FRANCO, F. B.; CASTRO, R. C.; FERREIRA, J. P. L.; SOUZA, M. A. S.; SANTOS, J. C. P. Drying kinetics and thermodynamic properties of patawa pulp (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1-11, 2019.

SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; REIS, C. G.; AMADEU, L. T. S.; SILVA, L. P. F. R.; LIMA, T. L. B. Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas na secagem do quiabo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, 2021.

SARIBURUN, E.; ŞAHIN, S.; DEMIR, C.; TÜRK BEN, C.; UYLAŞER, V. Phenolic content and antioxidant activity of raspberry cultivars. **Journal of food Science**, v. 75, p. 328-335, 2010.

SILVA, J. R. B.; CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C.; DANTAS, D. L.; MACEDO, A. D. B.; SOUSA, A. P. M.; MALAQUIAS, A. B.; ALBUQUERQUE, T. N.; SILVA, G. B.; SANTOS, A. X. Drying kinetics of Eggplant (*Solanum Melongena* L.) in an oven. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e34111427319-e34111427319, 2022.

SILVA, P. A.; OLIVEIRA, I. V.; AGUIAR, R. O.; CRUZ, W. P.; MARTINS, L. H. S.; CARVALHO, F. I. M.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. Desenvolvimento e caracterização de farinha de tapioca obtida a partir de féculas de mandiocas cultivadas no Nordeste do Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 42264-42281, 2020a.

SILVA, R. C.; ARAÚJO, K. T. A.; PEREIRA, J. C. A.; AMADEU, L. T. S.; REIS, C. G.; LIMA, L. S. L.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P. Chips de batata baroa obtidos por secagem convectiva. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 102586-102598, 2020b.

SIMÕES, R. O.; SILVA, G. N.; RODRIGUES, J. P. B.; SOUZA, A. C. M.; FARONI, L. R. D. INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SECAGEM DO CAFÉ EM COCO NO DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS. **OPEN SCIENCE RESEARCH I**, v. 1, n. 1, p. 137-146, 2022.

SOARES, I. F.; SANTOS, J. F. N.; LIMA, M. A.; PINTO, L. Í. F.; BORGES, J. M.; SILVA, R. A. Análise dos parâmetros físico-químicos e de composição centesimal da farinha do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e773974689-e773974689, 2020.

SOUZA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N.; MACEDO, A. D. B.; DANTAS, D. L.; SILVA, A. P. F.; COSTA, J. D.; SANTANA, R. A. C. Modelagem matemática da secagem de resíduo de acerola em forno de micro-ondas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1797-1806, 2020.

- SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Braz. J. Food Technol.**, v. 14, n. 3, p. 202-210, 2021.
- SOUZA, J. L. F.; OLIVEIRA, D. E. C.; PLACIDO, G. R.; EGEA, M. B.; CALIARI, M.; SILVA, M. A. P. 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.
- SOUZA, T. T. C.; MONTEIRO, E. R.; RIBEIRO, C. T.; SOUZA, D. S.; SANTOS, T. T. Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem do epicarpo, mesocarpo e endocarpo do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021.
- TAVARES, I. M. C.; CASTILHOS, M. B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. BRS Violeta (BRS Rúbea × IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, p. 1-11, 2019.
- UCHÔA, V. T.; OLIVEIRA, J. F.; RAMOS, M. A. B.; OLIVEIRA, R. K. S.; BRITO, T. M. V.; OLIVEIRA, A. R.; MORAES, B. C. Avaliação biométrica e análise da vitamina C em frutas exóticas comercializadas em supermercados e mercados de Teresina-PI. **Agrarian**, v. 13, n. 50, p. 577-592, 2020.
- VIANA, L.; PIRES, C.; MACEDO, M.; TROMBETE, F.; SILVA, L. ASPECTOS DA QUALIDADE DE FARINHAS DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz) ARTESANAIS PRODUZIDAS NO MUNICÍPIO DE SANTANA DE PIRAPAMA/MG. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 16, n. 30, 2019.
- VIEIRA, K. H.; LIMA, F. R.; MELO, R.; PEREIRA, K. C.; OLIVEIRA, C. D.; MENDES, C. F.; PINTO, N. A. V. D.; SOUZA, P. M. Caracterização da farinha de semente de abóbora obtida por secagem em micro-ondas e estufa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 22267-22283, 2021.
- ZAHOOR, I.; MIR, T. A.; AYOUB, W. S.; FAROOQ, S.; GANAIE, T. A. Recent applications of microwave technology as novel drying of food-Review. **Food and Humanity**, v. 1, p. 92-103, 2023.
- ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v. 64p. 555-559, 1999.

ARTIGO 2

PROCESSO DE OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS DAS CASCAS DE *TALISIA ESCULENTA* POR SECAGEM CONVECTIVA E POR IRRADIAÇÃO DE MICRO-ONDAS

Resumo

A polpa da pitomba é a única parte do fruto que é consumida diretamente e apreciada pelo sabor característico, devido a polpa ser a parte comestível do fruto, suas cascas se tornam resíduos. Entretanto, é possível elaborar produtos farináceos a partir desses coprodutos, visando não só o aproveitamento do fruto como o desenvolvimento de novos produtos alimentícios com potencial nutricional. Além disso, a pitomba possui consideráveis atividades antioxidantes, antiproliferativas, antimutagênicas e antiinflamatórias, logo, o reaproveitamento de toda a matéria-prima permite o uso integral dessas propriedades. Desta forma, objetivou-se elaborar farinhas utilizando as cascas da pitomba por diferentes métodos de secagens, assim como determinar as cinéticas, as difusividades efetivas, as propriedades termodinâmicas envolvidas no processo. Também se quantificou os teores de fenólicos totais, flavonóides totais, antioxidantes, parâmetros físico-químicos e identificou-se os minerais constituintes dos resíduos e farináceos obtidos. Em relação as cinéticas de secagens, todos os modelos matemáticos utilizados apresentaram ajustes satisfatórios, porém, os modelos de Exponencial de Dois Termos e Page se destacam para predizer as cinéticas nas condições utilizadas por atender aos critérios de seleção. Os dados obtidos caracterizam as farinhas provenientes das cascas de pitomba como não tóxicas e ricas em nutrientes, apresentando teores de compostos bioativos, carboidratos totais, proteína bruta e minerais relevantes, destacando-se à presença de cálcio e potássio. Desse modo considera-se que os farináceos apresentam propriedades nutricionais que podem ser introduzidos na alimentação.

Palavras-chaves: Propriedades nutricionais; Compostos bioativos; Coprodutos.

Abstract

The pulp of the pitomba is the only part of the fruit that is consumed directly and appreciated for the characteristic flavor, due to the pulp being the edible part of the fruit, its skins become waste. However, it is possible to make farinaceous products from these co-products, aiming not only at the use of the fruit but also at the development of new food products with nutritional potential. In addition, pitomba has considerable antioxidant, antiproliferative, antimutagenic and inflammatory activities, so the reuse of all the raw material allows the full use of these properties. Thus, the objective was to make flours using the peels of the pitomba by different drying methods, as well as to determine the kinetics, the effective diffusivities, the thermodynamic properties involved in the process. The contents of total phenolics, total flavonoids, antioxidants, physicochemical parameters were also quantified, and the constituent minerals of the residues and flours obtained were identified. Regarding the drying kinetics, all the mathematical models used presented satisfactory adjustments, however, the Two-Term Exponential and Page models stand out to predict the kinetics in the conditions used for meeting the selection criteria. The data obtained characterize the flours from pitomba peels as non-toxic and rich in nutrients, presenting contents of bioactive compounds, total carbohydrates, crude protein and relevant minerals, highlighting the presence of calcium and potassium. Thus, it is considered that farinaceous foods have nutritional properties that can be introduced into the diet.

Keywords: nutritional properties; bioactive compounds; coproducts.

1. INTRODUÇÃO

A pitomba (*Talisia esculenta*) apresenta em suas diferentes estruturas, atividades antioxidantes, antiproliferativas, antimutagênicas e antiinflamatórias (Fraga; Carvalho, 2020). É uma frutífera nativa da Amazônia Ocidental, pertencente a família Sapindaceae, que inclui espécies alimentares como lichia e guaraná, seus frutos são pequenas drupas globosas com sementes grandes, cobertas por um arilo agridoce que varia de branco a transparente quando maduros (Castro *et al.*, 2019).

A fruta é encontrada e consumida principalmente nas regiões norte e nordeste do Brasil, sendo sua polpa consumida crua e apreciada por seu sabor agridoce característico (Fraga *et al.*, 2021). Desse modo, considera-se que a polpa da pitomba é a única parte do fruto que é consumida diretamente, entretanto, é possível desenvolver produtos farináceos a partir de seus coprodutos, cascas e caroços, visando o aproveitamento integral do fruto.

De acordo com Fernandes *et al.* (2021) as farinhas das cascas de pitomba são alternativas para o aproveitamento destes resíduos agroindustriais, possuem um ótimo valor nutricional, principalmente fonte de carboidratos e fibras, o que torna possível a troca total ou parcial da farinha de trigo pelas farinhas provenientes das cascas de pitomba.

Para obtenção de produtos farináceos alguns métodos de secagem estão sendo utilizados, a secagem tem como finalidade reduzir significativamente o teor de umidade do produto para evitar o crescimento de germes que causam deterioração, devido ao baixo teor de umidade residual, além da função de preservação, facilita o acondicionamento, manuseio e transporte dos alimentos (Zahoor *et al.*, 2023).

Dentre os métodos de secagens destacam-se a secagem convectiva com o uso de estufa com circulação de ar, que trata-se da remoção de água do alimento por meio do mecanismo de vaporização térmica, onde o ar conduz calor ao alimento, promovendo a evaporação da água, além de ser o veículo no transporte do vapor úmido a partir do alimento e para o alimento (Silva *et al.*, 2022a). E a secagem por irradiação de micro-ondas que apresenta vantagens na preservação de alimentos devido ao seu processo de secagem ser mais rápido, reduzindo o tempo necessário para o procedimento (Silva *et al.*, 2022b).

Desta forma, objetivou-se obter produtos farináceos a partir das cascas de pitomba utilizando diferentes técnicas de secagens, determinar as cinéticas, as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas envolvidas nos processos; e avaliar a composição física, físico-química, toxicológica e dos compostos bioativos constituintes das amostras.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Processamento dos resíduos

Os frutos da pitomba foram adquiridos em estágio de maturação maduros, no distrito de Barra do Farias, município de Brejo da Madre de Deus/PE, e conduzidos para o Laboratório de Bioprocessos (LabBio) do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para realizações das análises. As frutas foram selecionadas manualmente e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio com concentração de 100 ppm durante 15 min. Após esse processo, realizou-se a trituração das cascas em um liquidificador industrial (METVISA, LQL6220M60N5, Brusque, Santa Catarina, Brasil).

2.2 Caracterização das cascas *in natura* e dos seus produtos farináceos

Os resíduos *in natura* e os produtos farináceos provenientes das cascas da pitomba foram caracterizados em triplicata e de acordo com as metodologias descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL,2008). Para o teor de água utilizou-se o método gravimétrico; a atividade de água foi quantificada por leitura direta a 25 °C em higrômetro (METER, Aqualab 4TE, Pullman, Washington, EUA) e os parâmetros de cor foram analisados por meio do uso do espectrofotômetro portátil de cor (FRU, modelo WR10QC) em leitura direta no sistema de cor CIELAB com as coordenadas L*; a*e b*, além disso, com os resultados de a* e b* foram calculados os valores de croma (C*) (Equação 1) e o ângulo de tonalidade (h°) (Equação 2).

$$C^* = \sqrt{((a^*)^2 + (b^*)^2)} \quad (1)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

Os sólidos solúveis totais foram determinados por meio da técnica de refratometria na escala °Brix; pH através da leitura direta em um pHmetro (MS TECNOPON, LUCA-210); os teores de cinzas obtidos pela queima do material em forno mufla a 550 °C; proteína bruta pelo método Kjeldahl com o fator de conversão de 6,25; lipídeos totais pela metodologia descrita por Bligh e Dyer modificado (1959); acidez total titulável através de titulação potenciométrica; ratio quantificado pela razão entre os valores dos sólidos solúveis totais e a acidez total titulável; e carboidratos totais pela diferença centesimal utilizando os resultados encontrados para a unidade, cinzas, proteínas e lipídeos; açúcares totais através do método de Lane-Eynon.

O perfil de minerais foi identificado com o auxílio de um Espectrômetro de Fluorescência de Raios X por energia dispersiva (Shimadzu, modelo EDX-720, Japão); a extração dos compostos bioativos das amostras foi obtida pela metodologia descrita por Sousa

et al. (2021) com adaptações; o teor de compostos fenólicos totais das formulações utilizou-se a metodologia descrita por Liu *et al.* (2002) com algumas modificações, com os resultados expressos em miligrama equivalentes de ácido gálico (EAG) por cem gramas de amostra (mg EAG/100 g); flavonóides totais foi determinado de acordo com o método proposto por Zhishen; Mengcheng; Jianming (1999), com resultados expressos em miligrama equivalentes de catequina (EC) por cem gramas de amostra (mg EC/100 g); a determinação da atividade antioxidante por meio da redução do ferro (FRAP) foi utilizada metodologia descrita por Benzie; Strain (1996), adaptada por Rockenbach *et al.* (2011) e os resultados foram expressos em μmol de trolox/g de amostra; o método ABTS foi realizado de acordo com a metodologia de Sariburun *et al.* (2010) com algumas modificações.

A análise de toxicidade foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Meyer (1982), com modificações. Os extratos aquosos a frio do produto farináceo das cascas da pitomba originados por secagem convectiva foram preparados nas concentrações de 1500, 1000, 500, 250, 125 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, e os cistos de *Artemia salina* Leach foram incubados com água salina artificial com concentração de 38 g.L^{-1} , em temperatura ambiente, com iluminação constante por 48 h a partir de lâmpada incandescente. Foi calculado os valores da CL_{50} (concentração que produziu 50% de letalidade) por análise PROBIT com software *Statistic* com intervalo de confiança (95%).

A morfologia foi avaliada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), (Tescan VEGA3), sob vácuo de $1,5 \times 10^{-3}$ Pa, com aumento de 1000 e 2000x.

2.3 Cinéticas de secagens em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas

Para a cinética de secagem foi utilizada uma estufa com circulação e renovação de ar (SOLAB, SL 102), onde as cascas trituradas foram dispersas em bandejas redondas de alumínio com dimensão de 16 cm e espessura da camada de 0,5 cm. Os experimentos foram conduzidos em duplicata, utilizando as temperaturas de 50, 60 e 70°C, pesando-se as bandejas em diferentes intervalos de tempo (5, 15, 30, 60 e 120 min), em balança semi-analítica, até atingir teor de água de equilíbrio (variação de 0,01 g) em três pesagens consecutivas.

Na cinética de secagem utilizando o forno micro-ondas (Electrolux, MTO30, Manaus, Brasil), os experimentos também foram realizados em duplicata, utilizando potências de 780, 910 e 1040W, respectivamente, depósitos de polipropileno com dimensões de 16 cm de comprimento por 10 cm de largura foram utilizados durante todo o processo e as massas das

amostras foram registradas a cada 1 min até atingir teor de água de equilíbrio, com variação de 0,01g.

Os teores de água iniciais e finais dos processos de secagens foram determinados gravimetricamente por secagem em estufa a 105 °C por 24 h e a partir desses dados calculou-se os valores da razão do teor de água (Equação 3), que foram ajustados a diferentes modelos matemáticos.

$$RU = \frac{U_{bs} - U_e}{U_{bs}(\text{inicial}) - U_e} \quad (3)$$

Onde: RU = razão de teor de água (adimensional); U_e = teor de água de equilíbrio em base seca; U_{bs} = teor de água em base seca; $U_{bs}(\text{inicial})$ = teor de água inicial em base seca.

2.4 Modelagem matemática

Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem, utilizando-se o software Statistica versão 8.0 para análise de regressão não linear, pelo método Quase-Newton (StatSoft, 2008).

Tabela 1. Modelos matemáticos escolhidos para os ajustes.

Designação do modelo	Modelos	Equação
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot e^{-kt}$	(4)
Midilli	$RU = a \cdot e^{-kt^n} + bt$	(5)
Logarítmico	$RU = a \cdot e^{-kt^n} + c$	(6)
Dois termos	$RU = a \cdot e^{-k_0 t} + b \cdot e^{-k_1 t}$	(7)
Exponencial de dois termos	$RU = a \cdot e^{-kt} + (1 - a) e^{-kat}$	(8)
Wang & Sing	$RU = 1 + at + bt^2$	(9)
Henderson e Pabis modificado	$RU = ae^{-kt} + be^{-k_0 t} + ce^{-k_1 t}$	(10)
Aproximação da difusão	$RU = ae^{-kt} + (1 - a) e^{-kbt}$	(11)
Newton	$RU = e^{-kt}$	(12)
Thompson	$RU = e^{\frac{-a - (a^2 + 4bt)^{0.5}}{2b}}$	(13)
Page	$RU = e^{-kt^n}$	(14)
Verna	$RU = ae^{-kt} + (1 - a) e^{-k_1 t}$	(15)

RU: razão de teor de água; t: tempo de secagem (min); a, b, c, k, k_0 , k_1 e n: parâmetros dos modelos.

Fonte: Autora, 2024.

Para avaliar a qualidade dos ajustes matemáticos dos modelos aos dados experimentais, foram utilizados como critérios a análise do coeficiente de determinação (R^2) (Equação 16), do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 17) e do qui-quadrado (χ^2) (Equação 18).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (16)$$

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \quad (18)$$

Onde: R^2 – coeficiente de determinação; DQM – desvio quadrático médio; χ^2 – qui-quadrado; $RU_{pred,i}$ – razão do teor de água predito pelo modelo; $RU_{exp,i}$ – razão do teor de água experimental; n – número de observações; N – número de constantes do modelo.

2.5 Difusividade efetiva, energia de ativação e propriedades termodinâmicas

A difusividade efetiva foi determinada baseada na teoria da difusão líquida, de acordo com a lei de Fick, e usando a solução analítica com aproximação de cinco termos (Equação 19).

$$RU = \frac{x - x_e}{x_i - x_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- (2n+1)^2 \pi^2 Def \frac{t}{4L^2} \right] \quad (19)$$

Onde: Def - difusividade efetiva (m^2/s); n - número de termos da equação; L - dimensão característica (m); t - tempo (s).

A relação difusividade e temperaturas de secagem foi determinada pela equação de Arrhenius (Equação 20).

$$Def = D_0 \exp \left(- \frac{E_a}{R(T+237,15)} \right) \quad (20)$$

Onde: D_0 - fator pré-exponencial (m^2/s); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T - temperatura absoluta (K).

Para a obtenção dos parâmetros da equação de Arrhenius (20), foi aplicado o logaritmo natural à Equação 21.

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T-273,15} \quad (21)$$

Onde: $\ln D_0$ - logarítmico do fator pré-exponencial (m^2/s); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T - temperatura absoluta (K).

As propriedades termodinâmicas secagem incluem a variação da entalpia (Equação 22), variação da entropia (Equação 23) e energia livre de Gibbs (Equação 24), nas diferentes temperaturas e usando a constante universal dos gases.

$$\Delta H = E_a - R(T + 273,15) \quad (22)$$

Onde: ΔH - variação da entalpia (J/mol); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T - temperatura absoluta (K).

$$\Delta S = R \left[\ln(D_0) - \ln \frac{k_b}{h_p} - \ln(T + 273,15) \right] \quad (23)$$

Onde: ΔS - variação da entropia (J/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); D_0 - fator pré-exponencial (m²/s); k_b - constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K); h_p - constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J s); T - temperatura absoluta (K).

$$\Delta G = \Delta H - (T + 273,15)\Delta S \quad (24)$$

Onde: ΔG - energia livre de Gibbs de ativação (J/mol); ΔH - variação da entalpia (J/mol); T - temperatura absoluta (K); ΔS - variação da entropia (J/mol).

2.6 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software *STATISTICA* versão 8.0 (StatSoft, 2008), os resultados em triplicata foram submetidos à análise de variância de fator único com 5% de probabilidade de erro e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Modelagem matemática

Os métodos de secagens foram eficazes para o desenvolvimento dos produtos farináceos originados a partir das cascas de pitomba. As Tabela 2 e 3 apresentam os valores de coeficiente de determinação, desvio quadrático médio, qui-quadrado e parâmetros dos modelos matemáticos testados para as secagens, em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas, das cascas de pitomba.

Tabela 2: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros dos modelos matemáticos na secagem em estufa de circulação de ar das cascas de pitomba.

Modelos	T (°C)	Parâmetros				R^2	DQM	χ^2
		a	k	b	n			
Henderson e Pabis	50	1,0538	0,0211			0,9921	0,0414	0,0001
	60	1,0520	0,0250			0,9954	0,0310	0,0010
	70	1,0592	0,0442			0,9913	0,0416	0,0017
Midilli		a	b	n	k			
	50	0,4878	-0,0025	0,0000	-0,1247	0,7641	0,2131	0,0454
	60	0,5278	-0,0030	0,0000	-0,1599	0,7688	0,2072	0,0429
	70	0,9682	-0,0000	1,4166	0,0100	0,9984	0,0181	0,0003
Logarítmico		a	k	c				
	50	1,0954	0,0188	-0,0551		0,9943	0,0353	0,0012
	60	1,0762	0,0232	-0,0331		0,9965	0,0272	0,0007

	70	1,0859	0,0405	-0,0371				0,9931	0,0372	0,0014
		a	k₀	b	k₁					
Dois Termos	50	0,0530	0,0211	1,0007	0,0211			0,9921	0,0414	0,0017
	60	0,5260	0,0250	0,5260	0,0250			0,9954	0,0310	0,0010
	70	0,5296	0,0442	0,5296	0,0442			0,9913	0,0416	0,0017
		a	k							
Exponencial de Dois Termos	50	0,0001	156,6758					0,9903	0,0458	0,0021
	60	0,0028	8,2151					0,9937	0,0362	0,0013
	70	0,0028	14,7384					0,9894	0,0460	0,0021
		a	b							
Wang e Sing	50	-0,0136	0,0000					0,9861	0,0548	0,0030
	60	-0,0147	0,0000					0,9659	0,0839	0,0070
	70	-0,0239	0,0001					0,9506	0,0984	0,0097
		a	b	c	k	k₀	k₁			
Henderson e Pais modificado	50	0,3513	0,3510	0,3514	0,0211	0,0211	0,0211	0,9921	0,0414	0,0017
	60	0,2099	0,4211	0,4211	0,0250	0,0250	0,0250	0,9954	0,0310	0,0010
	70	0,3530	0,3530	0,3530	0,0442	0,0442	0,0442	0,9913	0,0416	0,0017
		a	k	b						
Aproximação da difusão	50	-141,79	0,0374	0,9949				0,9977	0,0226	0,0005
	60	-148,52	0,0426	0,9954				0,9991	0,0139	0,0002
	70	-259,99	0,0774	0,9970				0,9978	0,0208	0,0004
		k								
Newton	50	0,0198						0,9903	0,0458	0,0021
	60	0,0235						0,9939	0,0358	0,0013
	70	0,0419						0,9896	0,0456	0,0021
		a	b							
Thompson	50	-1439,52	5,3443					0,9903	0,0458	0,0021
	60	-3224,43	8,7151					0,9939	0,0358	0,0013
	70	-4047,43	13,0240					0,9896	0,0456	0,0021
		n	k							
Page	50	1,3009	0,0062					0,9977	0,0226	0,0005
	60	1,2496	0,0093					0,9990	0,0145	0,0002
	70	1,3433	0,0133					0,9980	0,0199	0,0004
		a	k	k₁						
Verna	50	-65,9594	0,0113	0,0114				0,9950	0,0330	0,0011
	60	-12,0104	0,0437	0,0414				0,9991	0,0139	0,0002
	70	-21,1303	0,0787	0,0760				0,9978	0,0208	0,0004

Fonte: Autora, 2024.

Analisando os dados da Tabela 2, é possível considerar que todos os modelos matemáticos testados na cinética de secagem apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, obtendo $R^2 > 0,76410$, $DQM < 0,21310$ e $X^2 < 0,04541$. Entretanto, destaca-se o modelo de Page por apresentar as melhores condições para prever a cinética de secagem das cascas de pitomba em estufa de circulação de ar.

Na modelagem matemática aplicada a cinética de secagem das cascas de pitomba (*Talisia esculenta*) realizada por Santos *et al.* (2020a) o resultado foi semelhante, os autores

também observaram que o modelo matemático de Page foi considerado como o de melhor ajuste por apresentar elevados valores de R^2 e os menores valores da função qui-quadrado nas temperaturas utilizadas.

O modelo de Page vem se destacando nos estudos realizados de secagens. Santos *et al.* (2020b), realizando a cinética de secagem das cascas de toranja (*Citrus paradisi* Macf.), observaram que o modelo de Page se destacou como o melhor por proporcionar excelentes ajustes, com altos R^2 e baixos DQM, além de descrever de forma satisfatória a secagem a partir da simplicidade de sua equação. Em concordância com Barros *et al.* (2020) na cinética de secagem de kino (*Cucumis metuliferus*) e com Lin *et al.* (2023) na secagem de fatias de manga que também obtiveram melhores ajustes com o modelo de Page nos seus estudos.

Além disso, observa-se na Tabela 2 que à medida em que há um aumento na temperatura para a realização da secagem ocorre um aumento em relação a constante “k”, enquanto que em relação ao parâmetro “n” não se observa uma tendência. Este mesmo comportamento também foi relatado por Araujo *et al.* (2017), os valores encontrados para a constante "k" indicam que a taxa de secagem se eleva com o aumento da temperatura do ar, por outro lado, o parâmetro "n" do modelo de Page, que reflete a resistência interna do produto à secagem, não houve nenhuma tendência observada.

Tabela 3: Valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM), qui-quadrado (χ^2) e parâmetros para modelos matemáticos de secagem em forno micro-ondas dos resíduos das cascas de pitomba (*Talisia esculenta*).

Modelos	T (°C)	Parâmetros				R^2	DQM	χ^2
Henderson e Pabis		a	k					
	60	1,1042	0,2514		0,9890	0,0490	0,0024	
	70	1,0777	0,3478		0,9890	0,0504	0,0025	
	80	1,0692	0,3856		0,9900	0,0477	0,0023	
Midilli		a	b	n	k			
	60	1,0109	0,0002	1,4597	0,1109	0,9994	0,0109	0,0001
	70	1,0064	-0,0005	1,4275	0,1873	0,9998	0,0070	0,0000
	80	1,0040	-0,0001	1,4321	0,2181	0,9998	0,0063	0,0000
Logarítmico		a	k	c				
	60	1,1641	0,2047	-0,0864		0,9936	0,0374	0,0014
	70	1,1649	0,2697	-0,1129		0,9949	0,0344	0,0012
	80	1,1311	0,3169	-0,0815		0,9944	0,0356	0,0013
Dois Termos		a	k₀	b	k₁			
	60	0,5521	0,2514	0,5521	0,2514	0,9890	0,0490	0,0024
	70	0,5388	0,3478	0,5388	0,3478	0,9890	0,0504	0,0025
	80	0,5346	0,3856	0,5346	0,3856	0,9900	0,0477	0,0023
Exponencial	60	a	k					
		2,0436	0,3625			0,9996	0,0097	0,0000

de Dois Termos	70	2,0236	0,5073					0,9996	0,0089	0,0000
	80	2,0159	0,5630					0,9997	0,0082	0,0000
Wang e Sing		a	b							
	60	-0,1630	0,0066					0,9950	0,0332	0,0011
	70	-0,2321	0,0134					0,9970	0,0261	0,0007
	80	-0,2524	0,0156					0,9964	0,0287	0,0008
Henderson e Pais modificado		a	b	c	k	k₀	k₁			
	60	0,3681	0,3681	0,3681	0,2514	0,2514	0,2514	0,9890	0,0490	0,0024
	70	0,3592	0,3592	0,3592	0,3479	0,3479	0,3479	0,9890	0,0504	0,0025
	80	0,3564	0,3564	0,3564	0,3856	0,3856	0,3856	0,9900	0,0477	0,0023
Aproximação da difusão		a	k	b						
	60	- 6,3201	0,5161	0,8629				0,9996	0,0089	0,0001
	70	0,1107	0,3260	0,9999				0,9856	0,0576	0,0033
	80	0,1275	0,3642	0,9999				0,9874	0,0535	0,0029
Newton		k								
	60	0,2303						0,9837	0,0597	0,0036
	70	0,3260						0,9856	0,0576	0,0033
	80	0,3642						0,9874	0,0535	0,0029
Thompson		a	b							
	60	-2077,94	21,8798					0,9837	0,0597	0,0036
	70	-2116,17	26,2643					0,9856	0,0576	0,0033
	80	-1736,50	25,1521					0,9873	0,0535	0,0029
Page		n	k							
	60	1,4745	0,1064					0,9994	0,0115	0,0001
	70	1,4532	0,1816					0,9997	0,0075	0,0000
	80	1,4435	0,2148					0,9998	0,0065	0,0000
Verna		a	k	k₁						
	60	-2,7748	0,1022	0,1268				0,9919	0,0421	0,0018
	70	-20,9829	0,1531	0,1585				0,9943	0,0362	0,0013
	80	-13,6815	0,1857	0,1943				0,9942	0,0362	0,0013

Fonte: Autora, 2024.

Observando a Tabela 3 é possível considerar que o modelo Exponencial de Dois Termos é o mais indicado para prever a cinética de secagem das cascas de pitomba em forno micro-ondas, por possuir os melhores ajustes matemáticos. Além disso, observa-se de acordo com os valores encontrados na Tabela 3 que através do aumento da potência do micro-ondas há uma diminuição no parâmetro “a” que não apresenta significado físico por não está relacionado diretamente com o fenômeno de secagem, e aumento na constante “k” que corresponde ao efeito das condições externas no processo de secagem.

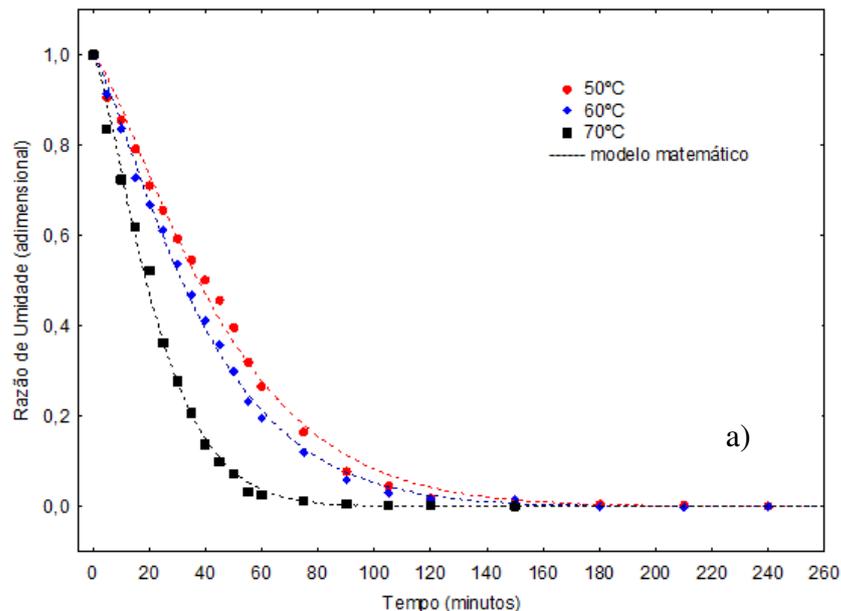
Na Figura 1 são apresentadas as curvas das cinéticas de secagens das cascas de pitomba, onde observa-se os valores da razão de umidade estimados pelo modelo de Page para a secagem realizada em estufa de circulação de ar e do modelo Exponencial de Dois Termos para a secagem em forno micro-ondas.

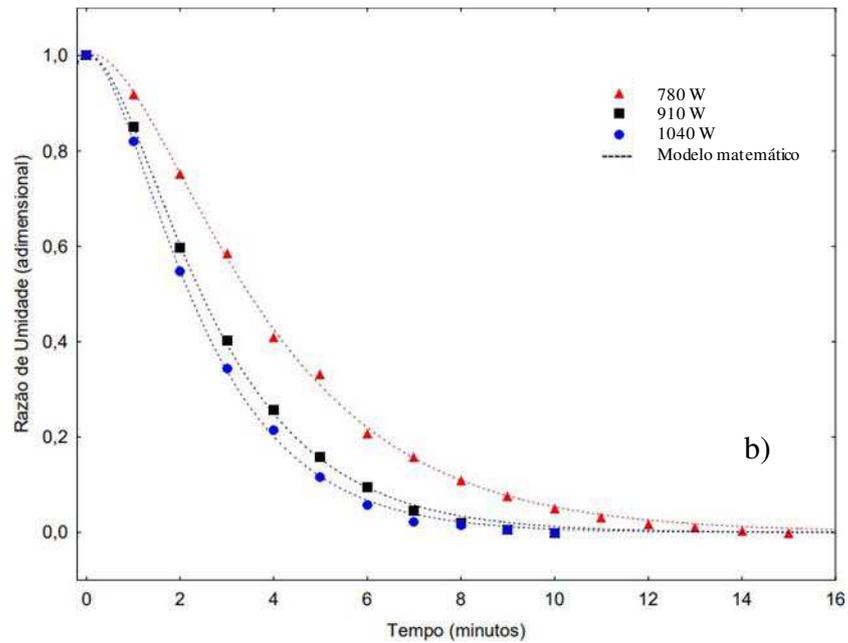
Analisando a Figura 1 que apresenta as curvas das cinéticas de secagens é possível verificar a razão de umidade em função do tempo de secagem, nota-se que os comportamentos das curvas são semelhantes, com o teor de água declinando rapidamente no início do processo e diminuindo gradativamente até o final da secagem.

Para a cinética de secagem das cascas da pitomba em estufa de circulação de ar, foram necessários 240, 210 e 150 min para atingir o equilíbrio higroscópico (Figura 1a) nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. Por outro lado, na secagem utilizando o forno micro-ondas (Figura 1b), os tempos de secagens foram iguais a 15, 10 e 9 min nas potências de 780, 910 e 1040 W, nessa ordem.

Quando a temperatura e/ou potência aumenta para realização das secagens, há reduções na razão de umidade e no tempo de secagem do produto, como já era esperado. Este comportamento também foi observado por Santos *et al.* (2020b) que afirmam que o tempo de secagem das cascas de toranja foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem e este aumento proporciona uma maior taxa de remoção de água do produto.

Figura 1: Valores experimentais da razão de umidade das secagens das cascas da pitomba: a) secagem em estufa de circulação de ar; b) secagem em forno micro-ondas nas potências de 780, 910 e 1040W.





Fonte: Autora, 2024.

Considerando os dados, nota-se que na secagem das cascas de pitomba em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas os melhores resultados para as cinéticas foram obtidos com a maior temperatura e potência utilizadas, 70 °C e 1040 W, por apresentarem as menores razões de umidade e tempos de secagem. Comparando os tempos encontrados, verifica-se que utilizando o forno micro-ondas o tempo foi reduzido, apenas 9 min, otimizando assim o processo de secagem das cascas.

3.2 Difusividade efetiva, energia de ativação e propriedades termodinâmicas

Na Tabela 4 são apresentados os valores encontrados para as difusividades efetivas (Def) e energias de ativação (Ea) das secagens das cascas da pitomba, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 4: Valores de Difusividade efetiva (Def) e Energia de ativação (Ea) das cascas da pitomba secos em diferentes temperaturas e condições de secagens.

Secagem		Difusividade efetiva ($m^2 \cdot s^{-1}$)	R^2	Energia de ativação ($kJ \cdot mol^{-1}$)	R^2
	Temperatura (°C)				
Convectiva	50	$6,46 \times 10^{-10}$	0,967	37,0439	0,899
	60	$7,76 \times 10^{-10}$	0,972		
	70	$1,45 \times 10^{-9}$	0,969		
	Potência (W)				
Irradiação micro-ondas	780	$7,28 \times 10^{-9}$	0,931	27,9625	0,906
	910	$1,14 \times 10^{-9}$	0,963		
	1040	$1,29 \times 10^{-9}$	0,965		

Fonte: Autora, 2024.

As difusividades efetivas neste estudo variam entre $6,46 \times 10^{-10}$ e $1,45 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para a secagem em estufa, enquanto, que para a secagem realizada no micro-ondas a variação é de $7,28 \times 10^{-9}$ a $1,29 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. É possível observar que com o aumento da temperatura e potência para realização das secagens, os valores obtidos para as difusividades efetivas também aumentam, este mesmo comportamento também foi observado por Pereira; Vieira (2020), que verificaram o aumento do coeficiente de difusão efetivo com a elevação da temperatura.

De acordo com Souza *et al.* (2021), a difusão de água do interior para a superfície do produto é mais rápida e a perda da água por dessorção também aumenta por meio do aumento da temperatura, além de ser necessário uma menor quantidade de energia para o processo de perda de água por difusão.

Os resultados encontrados para as difusividades efetivas são superiores aos dados obtidos nos estudos de Duarte *et al.* (2020), para a secagem da berinjela (*Solanum melongena*, L), onde houve uma variação de $6,6611 \times 10^{-10}$ a $16,3835 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para as difusividades encontradas; e por Lima *et al.* (2021), na secagem do Abiu (*Pouteria caimito*), em que as difusividades efetivas variam de $7,839 \times 10^{-10}$ a $13,255 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Além disso, na Tabela 4 também estão expostos os valores das energias de ativação envolvidas no processo de secagem das cascas de pitomba, correspondendo a 37,0439 e 27,9625 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ para a secagem realizada na estufa e no micro-ondas, respectivamente. Na secagem do quiabo realizada por Santos *et al.* (2021), a energia de ativação para a difusão líquida do quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) foi de 26,12 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, enquanto, Souza *et al.* (2021), avaliando a energia de ativação do epicarpo do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), encontrou um valor igual a 39,5 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, superior ao encontrado neste estudo.

Os valores das propriedades termodinâmicas (variação da entalpia, variação da entropia e energia livre de Gibbs) para as secagens das cascas da pitomba nas diferentes condições estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades termodinâmicas das secagens das cascas da pitomba.

Secagem		ΔH ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	ΔS ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	ΔG ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			
Convectiva	50	34,3572	-0,3075	133,7256
	60	34,2740	-0,3077	136,8018
	70	34,1909	-0,3080	139,8806
	Potência (W)			
	780	25,1927	-0,3173	130,8891
	910	25,1095	-0,3175	134,0630

Irradiação micro-ondas	1040	25,0264	-0,3177	137,2393
---------------------------	------	---------	---------	----------

Fonte: Autora, 2024.

Verifica-se que a variação de entalpia apresenta uma variação de 25,0264 a 34,3572 kJ.mol⁻¹ entre as secagens realizadas, além disso, nota-se que estes valores reduzem à medida em que a temperatura e/ou potência utilizada se eleva e que se trata de um processo endotérmico, onde há absorção de calor. Resultados similares foram encontrados por Santos *et al.* (2019), na secagem de polpa de pataúá (*Oenocarpus bataua* Mart.), em que os valores para ΔH ficaram compreendidos entre 37,3345 e 37,5008 kJ/mol para a amostra com espessura de 0,3 cm e entre 29,6363 e 29,8025 kJ.mol⁻¹ na polpa com camada de 0,6 cm.

Em relação aos valores de variação de entropia, todos os dados encontrados foram negativos com variação entre -0,31775 e -0,30750 kJ.mol⁻¹.K⁻¹, e inversamente proporcionais ao aumento de temperatura e/ou potência para todas as secagens realizadas. Segundo Cavalcanti-Mata *et al.* (2020), o aumento da temperatura possibilita a vibração, rotação e movimento da molécula de água, provocando assim tanto o aumento da difusividade efetiva como redução na variação de entropia do processo. Uma tendência similar foi relatada por Cabral *et al.* (2021) na cinética de secagem de raspas de abóbora onde a variação da entropia variou de -0,3114 a -0,3121 kJ.mol⁻¹.K⁻¹ entre as condições utilizadas.

As energias livres de Gibbs encontradas aumentam com a elevação da temperatura e potência, variando de 130,8891 a 139,8806 kJ.mol⁻¹, além de serem positivas, os dados indicam que se trata de um processo não espontâneo e de uma reação endergônica, necessitando do calor do meio para que ocorra. Durante o processo de secagem das sementes de melancia cidra (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) nas temperaturas de 50 a 80°C observou-se um aumento proporcional entre os valores da energia livre de Gibbs e o aumento da temperatura do ar de secagem, variando entre 134,8986 e 145,8463 kJ.mol⁻¹ (Leite *et al.*, 2022).

Desse modo, pode-se considerar que o aumento da temperatura provoca reduções nos valores da variação de entalpia e entropia, e aumenta a energia livre de Gibbs. Araujo *et al.* (2017), trabalhando com amendoim também observaram este comportamento para o aumento da energia livre de Gibbs e redução da variação de entalpia e entropia com a elevação da temperatura.

3.3 Parâmetros de cor dos produtos farináceos

A partir da elaboração dos produtos farináceos desenvolvidos nas melhores condições de secagens, foram realizadas as análises para determinar os seus parâmetros colorimétricos que se encontram na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros colorimétricos dos produtos farináceos das cascas da pitomba.

Amostras	Cor			Croma	h°
	L*	a*	b*		
FCASEST	14,72 ± 0,05 ^b	22,50 ± 0,40 ^a	66,65 ± 0,70 ^a	70,34 ± 0,74 ^a	71,35 ± 0,25 ^a
FCASMO	36,32 ± 0,03 ^a	11,08 ± 0,02 ^b	26,36 ± 0,15 ^b	28,59 ± 0,14 ^b	67,21 ± 0,11 ^b

Resultados expressos com média ± desvio padrão (triplicata). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os produtos farináceos pelo teste de Tukey (p < 0,05). FCASEST: farinha da casca da pitomba na estufa; FCASMO: farinha da casca da pitomba no micro-ondas; L*: luminosidade; a* e b*: coordenadas de transição das cores; h°: ângulo de tonalidade.

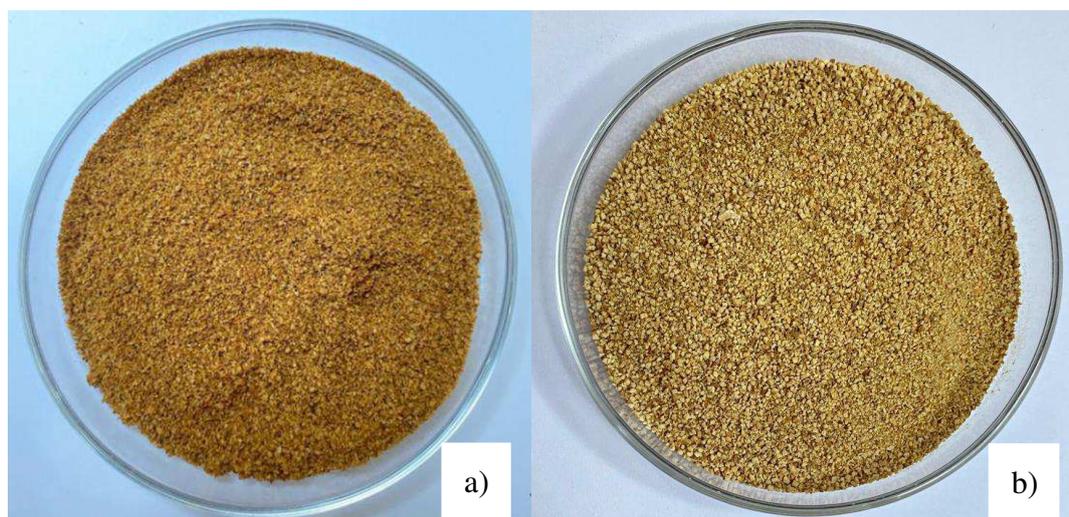
Fonte: Autora, 2024.

É possível observar pela Tabela 6 que todos os dados dos parâmetros colorimétricos obtiveram diferença significativa entre as farinhas estudadas. Para a coordenada L*, que representa a luminosidade, a farinha da casca da pitomba na estufa apresenta menor L* correspondendo a 14,72, enquanto que a farinha no micro-ondas obteve maior L*, 36,32. Resultados superiores foram encontrados por Sousa *et al.* (2020) nas farinhas de cascas de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) submetidas à secagem em estufa e forno micro-ondas, as luminosidades encontradas foram iguais a 45,13 e 49,58, respectivamente.

O parâmetro a* expressa a variação de cor entre o verde (a* < 0) e vermelho (a* > 0), enquanto o b* expressa a variação entre o azul (b* < 0) e amarelo (b* > 0) (Viana *et al.*, 2019). O valor encontrado para a farinha da casca na estufa foi de 22,50 para o parâmetro a* e 11,08 para a farinha no micro-ondas. Em relação ao parâmetro b*, os valores obtidos foram iguais a 66,65 e 26,36 para a farinha na estufa e no micro-ondas, respectivamente. Desse modo, pode-se considerar que as farinhas tendem à cor vermelha e amarela. Tendência similar para os parâmetros a* e b* foi obtida no estudo de Cardoso *et al.* (2020) ao avaliarem a farinha de jenipapo (*Genipa americana* L.), na qual houve a predominância da cor vermelho-amarelada, correspondendo ao estágio de maturação das frutas utilizadas para a elaboração da farinha.

A Figura 2 apresenta as farinhas das cascas da pitomba obtidos nas diferentes condições de secagens, onde nota-se as diferenças existentes entre suas colorações.

Figura 2: Farinhas da pitomba obtidos nas secagens em: a) estufa de circulação de ar; b) forno micro-ondas.



Fonte: Autora, 2024.

Observando a Tabela 6 tem-se que a farinha da casca na estufa de circulação de ar obteve melhor saturação de cor com C^* de 70,34, e tonalidade h° com 71,38, enquanto, que para a farinha no micro-ondas o valor de C^* obtido foi igual a 28,59 e h° de 67,21. Medeiros Filho *et al.* (2019) observou a variação de C^* entre 18,34 e 33,22 e para h° de 79,00 a 98,40 para as farinhas do flavedo de laranja/melancia e albedo de laranja/melancia. Em relação ao parâmetro croma (C^*), que indica a intensidade da cor do alimento, as farinhas de casca de jaca em estufa e em micro-ondas apresentaram os valores de 25,50 e 29,63, respectivamente (Sousa *et al.*, 2020).

3.4 Caracterização das cascas *in natura* e dos seus produtos farináceos

Na Tabela 7, tem-se os valores médios e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos das cascas da pitomba *in natura* e de seus produtos farináceos. De maneira geral, verifica-se que o método de secagem influenciou nos parâmetros analisados.

Tabela 7: Valores médios e desvios padrão das características físico-químicas das cascas da pitomba - *in natura* e dos seus produtos farináceos.

Parâmetros	<i>In natura</i>	FCASEST	FCASMO
Teor de água (% bu)	63,11 ± 0,05 a	10,40 ± 0,11 b	10,93 ± 0,02 b
Atividade de água (25°C)	-----	0,92 ± 0,00 a	0,59 ± 0,00 b

pH	5,28 ± 0,02 b	4,35 ± 0,01 c	5,53 ± 0,02 a
SST (°Brix)	1,67 ± 0,27 c	4,17 ± 0,29 b	5,17 ± 0,31 a
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	2,84 ± 0,20 c	18,52 ± 0,69 a	9,05 ± 1,35 b
Ratio (SST/ATT)	0,58 ± 0,06 a	0,22 ± 0,03 b	0,57 ± 0,06 a
Cinzas (%)	5,36 ± 0,21 b	6,04 ± 0,12 ab	7,18 ± 0,85 a
Açúcares totais (%)	-----	2,84 ± 0,26 b	4,35 ± 0,19 a
Proteínas (% bu)	5,78 ± 0,41 c	9,31 ± 0,64 b	10,51 ± 0,12 a
Lipídeos (%)	-----	0,56 ± 0,02 b	0,62 ± 0,04 a
Carboidratos totais (g/100g)	-----	78,73 ± 0,35 a	76,34 ± 0,86 b

Resultados expressos com média ± desvio padrão (triplicata). Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). IN: in natura; FCASEST: farinha da casca da pitomba na estufa; FCASMO: farinha da casca da pitomba no micro-ondas.

Fonte: Autora, 2024.

O teor de água da casca de pitomba *in natura* foi igual a $63,11 \pm 0,05$. O teor de água *in natura* foi reduzido com a secagem em estufa de circulação de ar e em micro-ondas, os teores encontrados foram $10,40 \pm 0,11$ e $10,93 \pm 0,02$, respectivamente, destaca-se a farinha em estufa de circulação de ar por apresentar o menor teor. Carneiro *et al.* (2020) avaliando a farinha de banana verde um teor de umidade variando de 7,81 a 9,38%.

Em relação a atividade de água (aw), a farinha da casca da pitomba em estufa de circulação de ar obteve valor de 0,92 e a farinha no micro-ondas de 0,59. A farinha produzida pela estufa apresentou um valor considerado alto para este parâmetro, o qual pode ser justificado pela possível oxidação e alteração na umidade do material ao longo do tempo de armazenagem. Segundo Filho *et al.* (2019) quanto menor for a atividade de água, as reações bioquímicas se tornam mais lentas e conseqüentemente menor é a mobilidade de atividade enzimática. Resultado similar foi obtido no estudo de Almeida *et al.* (2020) ao avaliar a casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) *in natura* que apresentou elevado valor de atividade de água, 0,991, reduzindo após o processo de liofilização no qual apresentou valor de 0,302.

O pH da casca da pitomba *in natura* foi igual a $5,28 \pm 0,02$, resultado próximo ao descrito por Silva *et al.* (2020) na farinha das cascas de laranja, melão e abacaxi com os valores de pH variando de 4,31 a 5,69. Nas farinhas obtidas em estufa de circulação de ar e em micro-ondas, os valores encontrados são iguais a $4,35 \pm 0,01$ e $5,53 \pm 0,02$, no estudo realizado por

Barros *et al.* (2021) para avaliar a farinha de casca da bacaba, o pH obtido foi de $4,53 \pm 0,13$ e por Gouvea *et al.* (2020) na farinha de talo de beterraba que teve um pH de 5,70.

Tratando-se do teor dos sólidos solúveis totais (SST) da amostra *in natura* o resultado encontrado foi igual a $1,67 \pm 0,27$ °Brix semelhante ao resultado descrito por Carneiro *et al.* (2020) nos quais os sólidos solúveis variaram de 2,3 °Brix para a farinha da banana verde com a combinação de ácido ascórbico com ácido cítrico e 2,1 °Brix para a farinha da banana verde com ácido cítrico. Ao se utilizar os métodos de secagens ocorreu aumento significativo de SST nas amostras, a farinha da casca na estufa obteve um valor de $4,17 \pm 0,29$ °Brix, enquanto que para a farinha no micro-ondas o resultado encontrado foi igual a $5,17 \pm 0,31$ °Brix.

Os teores de acidez total tituláveis, medidos em % ácido cítrico, apresentaram diferença significativa entre as amostras como expressados na Tabela 7. A casca *in natura* apresentou uma acidez total titulável de 2,84% ácido cítrico, para os produtos farináceos na estufa e no micro-ondas os valores obtidos foram 18,52 e 9,05% ácido cítrico, respectivamente. O parâmetro *ratio*, relação entre SST/ATT, indicam o estado de maturação do fruto, os valores obtidos podem ser considerados baixos e variam de 0,22 a 0,58, sendo que a casca da pitomba *in natura* apresentou o maior valor.

Os teores de cinzas encontrados para as amostras *in natura* e dos produtos farináceos obtidos em estufa e em micro-ondas foram $5,36 \pm 0,21$, $6,04 \pm 0,12$ e $7,18 \pm 0,85$ %, respectivamente. Nota-se que os teores aumentam com o uso dos métodos de secagens. Dados superiores foram encontrados ao analisar as quantidades de cinzas das farinhas de coprodutos da abóbora, onde observou-se valores variando de 3,56 a 11,19% bs (Soares *et al.*, 2023).

Em relação aos teores de açúcares totais das farinhas da casca da pitomba na estufa e no micro-ondas observa-se que eles se diferem estaticamente entre si, com os dados encontrados iguais a 2,84 e 4,35 %, simultaneamente. Resultados superiores foram obtidos na farinha do resíduo da jabuticaba no qual o percentual de açúcares totais foi igual a 62,13% (Almeida *et al.*, 2020).

Para as amostras *in natura* e das farinhas das cascas da pitomba em estufa e micro-ondas, os teores de proteína bruta correspondem a $5,78 \pm 0,41$, $9,31 \pm 0,64$ e $10,51 \pm 0,12$ % bu, demonstrando que se trata de coprodutos proteicos. Ferreira *et al.* (2020) avaliando os teores de proteínas dos produtos farináceos originados a partir da folha do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) obteve valores de 9,00% e 8,60%.

Os dados encontrados para os teores de lipídios apresentam diferenças significativas, com valores de $0,56 \pm 0,02$ e $0,62 \pm 0,04$ % bs, logo pode-se considerar que os teores são baixos.

De acordo com Soares *et al.* (2020), a farinha do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) também apresentou baixos teores de lipídios, assim como outras farinhas de origem vegetal proveniente de resíduos industriais, os teores variam de 0,16 a 0,65%.

Na determinação de carboidratos totais por diferença centesimal, os dados obtidos se diferem e correspondem a $78,73 \pm 0,35$ g/100g para a farinha produzida na estufa e $76,34 \pm 0,86$ g/100g para a farinha no micro-ondas. Dados aproximados foram encontrados por Santos *et al.* (2020) ao verificarem os teores de carboidratos totais da farinha da casca de pitomba com diferentes tratamentos variando de 83,02 g/100g a 86,59 g/100g, na análise encontra-se incluso o teor de fibras totais, desse modo, os dados evidenciam que a farinha da casca da pitomba trata-se de um pó com alto teor fibras.

A Tabela 8 apresenta os valores médios encontrados de CL₅₀, calculados com um intervalo de confiança de 95%, para o extrato aquoso da farinha das cascas da pitomba em estufa de circulação de ar.

Tabela 8: Toxicidade da farinha das cascas da pitomba na secagem em estufa de circulação de ar.

CL ₅₀ (µg.mL ⁻¹)	Intervalo de confiança 95%	
	Inferior	Superior
2502,86	2008,05	2997,67

Fonte: Autora, 2024.

Os dados apresentados na Tabela 8 indicam que a farinha das cascas de pitomba não é tóxica por ter resultados de CL₅₀ acima de 1000 ppm através do ensaio toxicológico, correspondendo a 2502,86 µg.mL⁻¹.

De acordo com Dantas *et al.* (2020) o valor de CL₅₀ encontrado no extrato das cascas de *Moringa oleifera* Lam foi igual a 1501,71µg.mL⁻¹, tornando-se não tóxico por apresentar valor superior de CL₅₀ >1000 ppm. Em concordância com Nascimento *et al.* (2024) que observaram que os extratos das sementes de jacas não apresentaram atividade citotóxica significativa nas concentrações testadas.

Na Tabela 9 estão expressos os valores médios obtidos para as análises de fenólicos e flavonóides totais, assim como da atividade antioxidante *in vitro* pelos métodos FRAP e ABTS dos produtos farináceos provenientes das cascas da pitomba.

Tabela 9: Valores médios e desvios padrão dos fenólicos totais, flavonóides totais e atividade antioxidante dos produtos farináceos das cascas da pitomba em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas.

Amostras	Fenólicos Totais (mg EAG/100 g)	Flavonóides Totais (mg EC/100 g)	Antioxidantes	
			FRAP (µmol trolox TEAC/g)	ABTS (µmol trolox TEAC/g)
FCASEST	115,66 ± 3,77 b	220,93 ± 2,31 b	0,15 ± 0,00 b	0,89 ± 0,02 b
FCASMO	324,15 ± 4,00 a	251,60 ± 4,00 a	0,22 ± 0,00 a	11,96 ± 0,14 a

Resultados expressos com média ± desvio padrão (triplicata). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p < 0,05). FCASEST: farinha da casca da pitomba na estufa; FCASMO: farinha da casca da pitomba no micro-ondas.

Fonte: Autora, 2024.

De acordo com Fraga *et al.* (2021) apesar da polpa da pitomba ser a mais comum de ser consumida, é fundamental que o perfil antioxidante da casca seja caracterizado por conter considerável atividade antioxidante e 19 compostos bioativos diferentes.

Considerando os dados obtidos na Tabela 9 é possível verificar que a quantificação de fenólicos e flavonóides totais e de antioxidantes apresentam diferenças significativas entre si, além disso, a farinha da casca da pitomba em forno micro-ondas se destaca por apresentar os maiores valores em todos os parâmetros. Para a farinha das cascas da pitomba em estufa e em micro-ondas os fenólicos totais encontrados foram iguais a 115,66 e 324,15 mg EAG/100g, e os flavonóides totais com valores de 220,93 e 251,60 mg EC/100g, simultaneamente. Em relação a atividade antioxidante *in vitro* pelo método de FRAP os valores obtidos foram 0,15 e 0,22 µmol trolox TEAC/g, enquanto pelo método de ABTS os dados correspondem a 0,89 e 11,96 µmol trolox TEAC/g para as farinhas na estufa e em micro-ondas, respectivamente.

No estudo realizado por Soares *et al.* (2023) avaliando as farinhas elaboradas através da casca, da semente e da mistura entre a casca e semente da abóbora (*Cucurbita moschata*), observou-se que a farinha da casca apresentou o maior teor de fenólicos totais (1,36 ± 0,07), de flavonóides (1,09 ± 0,00), e de capacidade antioxidante total (1,29 ± 0,07), em todas as concentrações estudadas. Em conformidade com Azevedo *et al.* (2020), onde os valores de flavonóis totais correspondem a 60,31 mg/100g, 101,20 mg/100g e 123,67 mg/100g; teores de compostos fenólicos totais de 1497,87 mgGAE/100g, 887,33 mgGAE/100g e 1054,63 mgGAE/100g; atividade antioxidante pelo método ABTS de 325,98 µmol Trolox/g, 230,41 µmol Trolox/g e 287,98 µmol Trolox/g para a casca de jabuticaba *in natura* e dos seus produtos farináceos desenvolvidos por secagem convectiva e liofilizada, respectivamente.

Na Tabela 10 estão expressos os valores médios encontrados para a quantificação de minerais das amostras da casca de pitomba *in natura* e de seus produtos farináceos.

Tabela 10: Valores médios e desvios padrão dos minerais constituintes das amostras da casca de pitomba *in natura* e dos produtos farináceos originados em estufa de circulação de ar e em forno micro-ondas.

Minerais mg.100g ⁻¹	<i>In natura</i>	Amostras	
		FCASEST	FCASMO
Magnésio	313,3 ± 0,1	454,6 ± 0,3	362,4 ± 0,7
Fósforo	349,2 ± 0,7	434,1 ± 0,7	363,6 ± 0,0
Enxofre	350,1 ± 0,5	406,2 ± 0,4	372,5 ± 0,1
Potássio	3068,6 ± 0,6	4096,9 ± 3,1	3520,4 ± 0,1
Cálcio	1281,2 ± 0,2	1662,5 ± 7,7	1407,4 ± 0,1
Manganês	0,4 ± 0,0	0,6 ± 0,0	0,4 ± 0,0
Ferro	5,2 ± 0,0	8,1 ± 0,0	6,6 ± 0,0
Cobre	1,0 ± 0,0	1,3 ± 0,0	1,1 ± 0,0
Zinco	0,9 ± 0,0	1,3 ± 0,0	1,0 ± 0,0

Resultados expressos com média ± desvio padrão (triplicata). FCASEST: farinha da casca da pitomba na estufa; FCASMO: farinha da casca da pitomba no micro-ondas.

Fonte: Autora, 2024.

Com relação a quantificação de minerais, o potássio e o cálcio são os componentes majoritários das amostras analisadas, nota-se que a farinha obtida pela estufa se destaca com os maiores valores. Além disso, também se verifica a presença de magnésio, fósforo, ferro, sódio, fósforo e manganês, mas em concentrações menores.

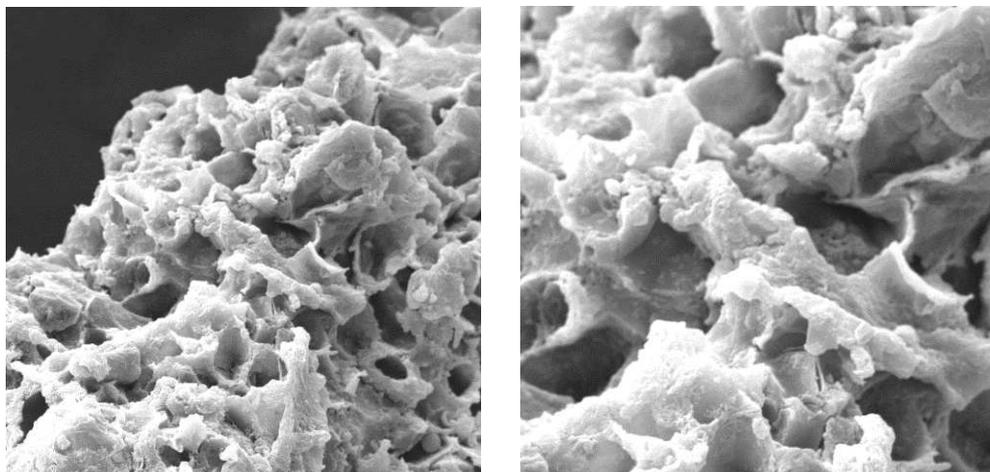
Os dados obtidos indicam que as amostras analisadas podem ser consideradas ricas em nutrientes, podendo ser utilizadas para suprir carências nutricionais por contribuir com o fornecimento de minerais. Cândido *et al.* (2022) encontrou resultados inferiores na farinha de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller), apresentando valores de 152, 1566, 2217, 981, 10,4, 2,5 e 17,2 mg/100 g em massa seca de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Na, respectivamente.

3.5 Morfologia das partículas

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as micrografias das farinhas das cascas da pitomba submetidas às secagens, as imagens de MEV indicam que as farinhas possuem superfícies aglomeradas e irregulares. Resultado semelhante foi obtido no estudo de Brar *et al.* (2020) ao analisarem a morfologia das partículas de pó de pêssego (*Prunus persica*) obtidas por secagem

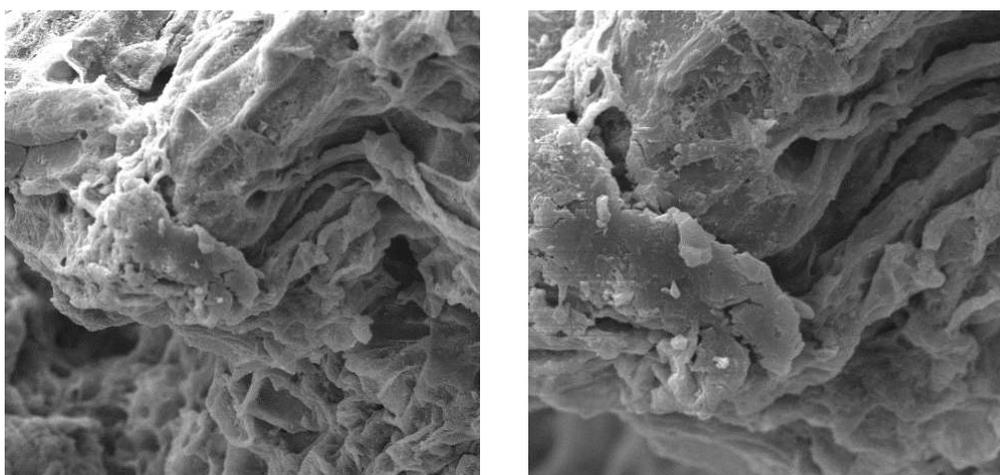
em esteira de espuma (65 a 75 °C), também se observou superfície irregular e que se assemelha a um vidro quebrado com estruturas similares a flocos.

Figura 3: Micrografia das farinhas das cascas da pitomba em estufa de circulação de ar: a) 1000x; b) 2000x.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 4: Micrografia das farinhas das cascas da pitomba em forno micro-ondas: a) 1000x; b) 2000x.



Fonte: Autora, 2024.

Nota-se que as partículas apresentaram a presença de algumas aberturas de aspecto oco, com distribuição compactada e superfícies rugosas e amorfa, concordando com Güzel e Akpinar (2019) que, ao caracterizarem a morfologia de cascas de frutas secas e moídas, explicaram que as micrografias revelaram aderência entre as partículas com formação de aglomerados e superfícies rugosas, como observado no presente estudo, que podem fornecer mais sítios de adsorção, influenciando nas propriedades de ganho de água.

4. CONCLUSÕES

Considera-se que as cinéticas de secagens e a modelagem matemática foram eficazes para determinar as condições propícias para obtenção das farinhas, destacando-se os modelos de Page para a secagem convectiva em estufa de circulação de ar e Exponencial de Dois Termos para a secagem em forno micro-ondas por apresentar os melhores ajustes matemáticos.

Além disso, observou-se que o tempo de processo na secagem por irradiação de micro-ondas foi mais rápido, apresentando menor energia de ativação e que a partir do aumento da temperatura e/ou potência para realização das secagens os valores das difusividades efetivas e as energias livre de Gibbs aumentaram, enquanto as variações de entalpia e entropia diminuíram.

Os métodos de secagens adotados interferiram nos resultados de maneira significativa, a partir dos dados encontrados observa-se que as farinhas provenientes das cascas de pitomba tendem a coloração vermelha para tom amarelo, não são tóxicas e que há concentração dos nutrientes nos produtos elaborados. Possuem baixos teores de lipídeos, *ratio* e açúcares totais, mas apresentam teores de carboidratos totais, fenólicos totais, flavonóides totais, atividade antioxidante, proteína bruta e minerais relevantes.

Desse modo, as elaborações dos produtos farináceos a partir das cascas da pitomba, além de possibilitar seu reaproveitamento, permite o desenvolvimento de produtos alimentícios com potencial nutricional e alimentício.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. L.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. A.; CABRAL, M. B.; BARROS, E. R.; SOUZA, N. C.; LUIZ, M. R.; AMORIM, F. V.; SILVA, L. R. I. Determinação de compostos bioativos e composição físico-química da farinha da casca de jaboticaba obtida por secagem convectiva e liofilização. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e157911876, 2020.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 448-457, 2017.

AZEVEDO, T. S.; DE ABREU, J. P.; TORRES, T. L. Avaliação das características físico-químicas, atividade antioxidante e fenólicos totais da farinha do extrato da jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*). **Cientific@-Multidisciplinary Journal**, v. 7, n. 2, p. 1-13, 2020.

BARROS, S. K. A.; SOUZA, A. R. M.; DAMIANI, C.; PEREIRA, A. S.; ALVES, D. G.; CLEMENTE, R. C.; COSTA, D. M. Obtenção e caracterização de farinhas de caroço de açaí (*Euterper Oleracea*) e de casca de bacaba (*Oenocarpus Bacaba*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e2710413724-e2710413724, 2021.

BARROS, S. L.; CÂMARA, G. B.; LEITE, D. D. F.; SANTOS, N. C.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; ALBUQUERQUE, A. P.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e60911608-e60911608, 2020.

BENZIE, I. F. F, STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol**, v. 37, n.8, p. 911-917, 1959.

BRAR, A. S.; KAUR, P.; KAUR, G.; SUBRAMANIAN, J.; KUMAR, D.; SINGH, A. Optimization of process parameters for foam-mat drying of peaches. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 3, p.1495-1518, 2020.

BRASIL. Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes. Vol. 1 - Métodos físicos e químicos. LANARA: 1981.

CABRAL, F. S.; DOS SANTOS, S. G. F.; CRUZ, D. R. C.; ALMEIDA, V. G.; RODOVALHO, R. S.; DE MELO, M. F. Cinética de secagem de raspas de abóbora. **Científica**, v. 49, n. 1, p. 01-08, 2021.

CÂNDIDO, H. T.; LEONEL, M.; LEONEL, S.; DOS OUROS, L. F.; DE JESUS, P. R. R.; IZIDORO, M.; MOLHA, N. Z.; DOMICIANO, V. M. Green banana and ora-pro-nóbis mixed flours: nutritional and technological characteristics. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 2022.

CARDOSO, D. R.; PINTO, L. I. F.; LIMA, M. A.; SOARES, I. F.; ROCHA, F. P. S.; SILVA, R. A.; VIANA, V. G. F. Potencial tecnológico e composição de Farinha de Jenipapo (*Genipa americana* L.) obtida por secagem em convecção. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 33448-33467, 2020.

CARNEIRO, T. S.; OLIVEIRA, G. L. S.; SANTOS, J.; CONSTANT, P. B. L.; CARNELOSSI, M. A. G. Avaliação da farinha de banana verde com aplicação de antioxidantes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28634-28643, 2020.

CASTRO, D. S.; MOREIRA, I. S.; SILVA, L. M. M.; LIMA, J. P.; DA SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Isolation and characterization of starch from pitomba endocarp. **Food Research International**, v. 124, p. 181-187, 2019.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; LIRA, V. V.; OLIVEIRA, R. F.; COSTA, N. L.; OLIVEIRA, H. M. L. A new approach to the traditional drying models for the thin-layer drying kinetics of chickpeas. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 12, p. 1-11, 2020.

DANTAS, D. L.; SOUSA, A. P. M.; COSTA, J. D.; OLIVEIRA, J. A. M.; ALMEIDA, A. F.; APOLINÁRIO, M. O.; SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. Estudo toxicológico das sementes de Moringa oleifera Lam. utilizando o teste com *Artemia salina* Leach. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 9, p. e457997332-e457997332, 2020.

DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C.; ARAÚJO, R. D. A.; ALMEIDA, R. D.; ANDRÉ, A. M. M. C. N.; MELO, R. B. D. F.; SOUSA, R. V.; NUNES, L. S. Coeficiente de difusividade efetivo e modelagem matemática da secagem de berinjela. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 54117-54124, 2020.

FERNANDES, L. M. C.; FONTENELE, L. A.; DINIZ, M. A. N.; SOUSA, M. D. D. A.; FONSECA, M. C. S. D.; SOUSA, P. C. S.; SENA, A. R. D. Obtenção de farinhas das cascas de cupuaçu e pitomba: análise bromatológica e fitoquímica. **Extensão rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar**, v. 1, n. 1, p. 431-449, 2021.

FERREIRA, S. V. F.; CAMPOS, A. R. N.; MEDEIROS, M. F. T. Elaboração e caracterização de produto farináceo a partir da folha do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e1309108295-e1309108295, 2020.

FRAGA, L. N.; DE CARVALHO, I. M. M. *Talisia esculenta* (A. ST.-HIL.) Radlk: physico-chemical characteristics, antioxidant activity and biological activity. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e53921909-e53921909, 2020.

FRAGA, L. N.; OLIVEIRA, A. K. S.; ARAGÃO, B. P.; DE SOUZA, D. A.; DOS SANTOS, E. W. P.; MELO, J. A.; SILVA, A. M. O.; JÚNIOR, A. W.; CORRÊA, C. B.; WARTHA, E. R. S. A.; BACCI, L.; DE CARVALHO, I. M. M. Mass spectrometry characterization, antioxidant activity, and cytotoxicity of the peel and pulp extracts of Pitomba. **Food Chemistry**, v. 340, p. 127929, 2021.

GOUVEA, I. F. S.; MACIEL, M. P. R.; CARVALHO, E. E. N.; BOAS, B. M. V.; NACHTIGALL, A. M. Caracterização física e química de farinha de talo de beterraba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15814-15823, 2020.

GÜZEL, M.; AKPINAR, Ö. Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. **Food and Bioproducts Processing**, v. 115, p. 126-133, 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. Ed., 1 ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

LEITE, D. D. D. F., QUEIROZ, A. J. D. M., DE FIGUEIRÊDO, R. M., SANTOS, F. S. D., SILVA, S. D. N., & SANTOS, D. D. C. Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas na secagem de sementes de melancia africana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 67-74, 2021.

LIMA, N. C. R.; SANTOS JUNIOR, J. M.; GUIMARÃES FILHO, E. E. X.; COSTA, R. M. M.; SANTANA, A. A. Cinética de secagem e difusividade efetiva do Abiu (*Pouteria caimito*). **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 1, p. 2-10, 2021.

LIN, Q.; ZONG, X.; LIN, H.; HUANG, X.; WANG, J.; NIE, S. Based on quality, energy consumption selecting optimal drying methods of mango slices and kinetics modelling. **Food Chemistry: X**, v. 17, p. 100600, 2023.

LIU, M.; LI, X. Q.; WEBER, C.; LEE, C. Y.; BROWN, J.; LIU, R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 2926–2930, 2002.

MEDEIROS FILHO, A. C. P. M.; SOUZA, J. C. P.; CASTRO, C. F. D. S. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e tecnológicos da farinha produzida a partir dos resíduos da agroindústria de laranja e melancia. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 399-410, 2019.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. E.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta medica**, v. 45, n. 05, p. 31-34, 1982.

NASCIMENTO, P. C. A.; LOPES, M. M. A.; STAMFORD, T. C. M.; LEÃO, V. L. X. S.; RIBEIRO, M. A.; VASCONCELOS, M. A. S. Effects of thermal processing on nutritional composition and toxicity of jackfruit seeds. **Ciência Rural**, v. 54, p. 20230111, 2024.

PEREIRA, F. S.; VIEIRA, K. P. M. Desenvolvimento e caracterização de farinha obtida a partir da casca do jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 1, 2020.

ROCKENBACH, I. I.; RODRIGUES, E.; GONZAGA, L. V.; CALIARI, V.; GENOVESE, M. I.; GONÇALVES, A. E. D. S. S.; FETT, R. Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes (*vitis vinifera* L. and *vitis labrusca* L.) widely produced in Brazil. **Food Chemistry**, v. 127, p. 174-179, 2011.

SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; FRANCO, F. B.; CASTRO, R. C.; FERREIRA, J. P. L.; SOUZA, M. A. S.; SANTOS, J. C. P. Drying kinetics and thermodynamic properties of patawa pulp (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1-11, 2019.

SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; REIS, C. G.; AMADEU, L. T. S.; SILVA, L. P. F. R.; LIMA, T. L. B. Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas na secagem do quiabo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, 2021.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; PEREIRA, T. S.; QUEIROGA, A. P. R.; SILVA, V. M. A.; AMARAL, D. S.; ALMEIDA, R. D.; RIBEIRO, V. H. A.; BARROS, E. R.; SILVA, L. R. I. Mathematical modeling applied to the drying kinetics of pitomba bark (*Talisia esculenta*). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. e46921986, 2020a.

SANTOS, N. C.; LEITE, D. D. F.; CÂMARA, G. B.; BARROS, S. L.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; ALBUQUERQUE, A. P.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas da toranja (*Citrus paradisi* Macf.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. 9, 2020b.

SARIBURUN, E.; ŞAHİN, S.; DEMİR, C.; TÜRK BEN, C.; UYLAŞER, V. Phenolic content and antioxidant activity of raspberry cultivars. **Journal of food Science**, v. 75, p. 328-335, 2010.

SILVA, F. B.; DOS SANTOS, S. G. F.; ALMEIDA, V. G.; REZENDE, G.; XAVIER, I. R. R.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem e qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 45, n. 1-2, p. 24-33, 2022a.

SILVA, J. R. B.; CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C.; DANTAS, D. L.; MACEDO, A. D. B. de; SOUSA, A. P. M.; MALAQUIAS, A. B.; ALBUQUERQUE, T. N.; SILVA, G. B.;

SANTOS, A. X. Drying kinetics of Eggplant (*Solanum Melongena* L.) in an oven. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e34111427319-e34111427319, 2022b.

SILVA, M. S.; SILVA, S. N.; WANDERLEY, R. O. S.; PAIVA, A. C. C.; MEDEIROS, A. P. Caracterização química e colorimétrica de farinhas de cascas de laranja, melão e abacaxi. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e139973912, 2020.

SOARES, I. F.; SANTOS, J. F. N.; LIMA, M. A.; PINTO, L. Í. F.; BORGES, J. M.; SILVA, R. A. Análise dos parâmetros físico-químicos e de composição centesimal da farinha do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e773974689-e773974689, 2020.

SOARES, T.; DE MOURA, L. V.; ABREU, L. L. C.; SILVA, J. N.; DE PAULA, G. A.; MEDEIROS, S. R. A.; FREIRE, J. A. P. Análise físico-química e nutricional de farinha à base de coprodutos da abóbora (*Cucurbita moschata*). **Evidência**, v. 23, n. 2, 2023.

SOUSA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N.; MACEDO, A. D. B.; DANTAS, D. L.; SILVA, A. P. F.; COSTA, J. D.; SANTANA, R. A. C. Modelagem matemática da secagem de resíduo de acerola em forno de micro-ondas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1797-1806, 2020.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Braz. J. Food Technol.**, v. 14, n. 3, p. 202-210, 2021.

SOUZA, T. T. C.; MONTEIRO, E. R.; RIBEIRO, C. T.; SOUZA, D. S.; SANTOS, T. T. Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem do epicarpo, mesocarpo e endocarpo do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021.

VIANA, L.; PIRES, C.; MACEDO, M.; TROMBETE, F.; SILVA, L. ASPECTOS DA QUALIDADE DE FARINHAS DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz) ARTESANAIS PRODUZIDAS NO MUNICÍPIO DE SANTANA DE PIRAPAMA/MG. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 16, n. 30, 2019.

ZAHOOR, I.; MIR, T. A.; AYOUB, W. S.; FAROOQ, S.; GANAIE, T. A. Recent applications of microwave technology as novel drying of food—Review. **Food and Humanity**, v. 1, p. 92-103, 2023.

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v. 64p. 555–559, 1999.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Com a execução deste trabalho, observou-se que as obtenções dos produtos farináceos dos resíduos provenientes da pitomba, cascas e caroços, contribuem para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para o uso integral do fruto. Assim como permite que a matéria-prima tenha uma maior vida útil, com consumo prolongado e de valor nutricional, podendo ser acessíveis às classes economicamente menos favorecidas da população.

Os dados das cinéticas de secagem tiveram ajustes satisfatórios com diferentes modelos, destacando-se os modelos de Aproximação da Difusão, Midilli, Exponencial de Dois Termos e Page por terem maiores valores de coeficiente de determinação e menores desvio quadrático médio e qui-quadrado. As secagens por irradiação de micro-ondas possuem um tempo de processo mais rápido e menores energias de ativação, indicando uma maior facilidade no transporte de massa e menor energia necessária para desencadear o processo de difusão da água.

Com o aumento da temperatura e/ou potência para realização das secagens observou-se que as difusividades efetivas e as energias livre de Gibbs aumentaram, enquanto as variações de entalpia e entropia diminuíram, como as energias livres de Gibbs e a variação de entalpia foram positivas o processo é caracterizado como endotérmico e não espontâneo.

Os resultados evidenciam que as farinhas desenvolvidas a partir dos resíduos sólidos da pitomba não são tóxicas, tendem a coloração vermelha para o tom amarelo, com baixos teores de lipídeos, *ratio* e açúcares totais. Além de apresentarem teores de fenólicos totais, flavonóides totais, atividade antioxidante, carboidratos totais, proteína bruta e minerais relevantes, destacando-se a presença dos minerais fósforo, cálcio e potássio.

Portanto, pode-se considerar que os produtos farináceos obtidos por meio das secagens dos resíduos da pitomba apresentam condições propícias para o consumo, agregando valor e reduzindo o desperdício da matéria-prima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004 - Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro (RJ), 2004.

BENZIE, I. F. F, STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol**, v. 37, n.8, p. 911-917, 1959.

BORAH, M. S.; RAJ, G. B.; TIWARI, A.; DASH, K. K. Effect of intermittent microwave convective drying on quality characteristics of persimmon fruit. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, p. 100816, 2023.

BRASIL. Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes. Vol. 1 - Métodos físicos e químicos. LANARA: 1981.

CANEPELLE, E.; WRITZL, T. C.; STEFFLER, A. D.; REDIN, M.; WEBER, F. H.; DA SILVA, G. C. R. S. Influência dos métodos de secagem e preparo das amostras no processo de desidratação e reidratação do Abacaxi Pérola (*Ananas comosus* L.). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 2, 2020.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152–167, 2018.

CASTRO, D. S.; MOREIRA, I. S.; SILVA, L. M. M.; LIMA, J. P.; DA SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Isolation and characterization of starch from pitomba endocarp. **Food Research International**, v. 124, p. 181-187, 2019.

CHEN, B. L.; LIN, G. S.; AMANI, M.; YAN, W. M. Microwave-assisted freeze drying of pineapple: Kinetic, product quality, and energy consumption. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 41, p. 102682, 2023.

DANTAS, L. V. B; LOPES, S. F. F.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; CARDOSO, A. L. H.; MORAIS, S. M. Avaliação Fitoquímica, quantificação de Fenóis e Flavonóides totais, Atividade antioxidante e antiacetilcolinesterase do extrato etanólico Da *Talísia esculenta* (Pitomba). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60597-60602, 2020.

FERNANDES, L. M. C.; FONTENELE, L. A.; DINIZ, M. A. N.; SOUSA, M. D. D. A.; FONSECA, M. C. S. D.; SOUSA, P. C. S.; SENA, A. R. D. Obtenção de farinhas das cascas de cupuaçu e pitomba: análise bromatológica e fitoquímica. **Extensão rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar**, v. 1, n. 1, p. 431-449, 2021.

FERREIRA JUNIOR, W. N.; RESENDE, O.; PINHEIRO, G. K.; SILVA, L. C. D. M.; SOUZA, D. G.; SOUSA, K. A. D. Modeling and thermodynamic properties of the drying of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 25, p. 37-43, 2021.

FRAGA, L. N.; CARVALHO, I. M. M. *Talisia esculenta* (A. ST.-HIL.) Radlk: physico-chemical characteristics, antioxidant activity and biological activity. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e53921909-e53921909, 2020.

FRAGA, L. N.; OLIVEIRA, A. K. S.; ARAGÃO, B. P.; DE SOUZA, D. A.; DOS SANTOS, E. W. P.; MELO, J. A.; SILVA, A. M. O.; JÚNIOR, A. W.; CORRÊA, C. B.; WARTHA, E. R. S. A.; BACCI, L.; DE CARVALHO, I. M. M. Mass spectrometry characterization, antioxidant activity, and cytotoxicity of the peel and pulp extracts of Pitomba. **Food Chemistry**, v. 340, p. 127929, 2021.

GAETE, A. V.; TEODORO, C. E. S.; MARTINAZZO, A. P. Utilização de resíduos agroindustriais para produção de celulase: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e567985785-e567985785, 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. Ed., 1 ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JORGE, A. P. P.; FERREIRA JUNIOR, W. N.; SILVA, L. C. M.; DE OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O. Drying kinetics of 'gueroba' (*Syagrus oleracea*) fruit pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 23-29, 2020.

KUSUMA, H. S.; IZZAH, D. N.; LINGGAJATI, I. W. L. Microwave-assisted drying of *Ocimum sanctum* leaves: Analysis of moisture content, drying kinetic model, and techno-economics. **Applied Food Research**, v. 3, n. 2, p. 100337, 2023.

LIMA, N. C. R.; SANTOS JUNIOR, J. M.; GUIMARÃES FILHO, E. E. X.; COSTA, R. M. M.; SANTANA, A. A. Cinética de secagem e difusividade efetiva do Abiu (*Pouteria caimito*). **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 1, p. 2-10, 2021.

LIN, Q.; ZONG, X.; LIN, H.; HUANG, X.; WANG, J.; NIE, S. Based on quality, energy consumption selecting optimal drying methods of mango slices and kinetics modelling. **Food Chemistry: X**, v. 17, p. 100600, 2023.

LIU, M.; LI, X. Q.; WEBER, C.; LEE, C. Y.; BROWN, J.; LIU, R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 2926–2930, 2002.

MARTINS, F. P.; NETO, J. C. B.; SILVA, A. J. O.; SIQUEIRA, A. M. O. Secagem: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 4, p. 0600-0607i, 2020.

MENDES, J. J. V. D. A.; NASCIMENTO, A. S.; CONCEIÇÃO, B. G. D. F.; OLIVEIRA, C. A.; MARQUES, L. F. Cinética e aplicação de modelos matemáticos de secagem em leite fixo de farinhas obtidas a partir de resíduos agroindustriais. **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 18, n. 1, 2023.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. E.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta medica**, v. 45, n. 05, p. 31-34, 1982.

MKHIZE, X.; NKOSI, N.; ZONDI, L.; TUMBA, K. Convective drying of pumpkin: Brief literature review and new data for organically produced indigenous pumpkin (*Cucurbita pepo*

L.) over an expanded temperature range. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 100800, 2023.

NERI-NUMA, I. A. DE CARVALHO, L. B. S.; FERREIRA, J. E. M.; MACHADO, A. R. T.; MALTA, L. G.; RUIZ, A. L. T. G.; PASTORE, Pastore, G. M. Preliminary evaluation of antioxidant, antiproliferative and antimutagenic activities of pitomba (*Talisia esculenta*). **Lwt-Food science and technology**, v. 59, n. 2, p. 1233-1238, 2014.

RAVIKUMAR, M.; SRINATH, M. K.; PRASAD, M. G. Thermal modelling of microwave dehydration of fruit slice. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 51, p. 103543, 2023.

RIBEIRO, S. A.; MEDEIROS, E.; DANTAS, S. L.; APARECIDA, L. A.; NOJOSA, L. O.; LORENZONI, G. N. Efeito do processo de secagem sobre as características nutricionais de cajá-manga (*Spondias mombin* L.). **Referências em Saúde do Centro Universitário Estácio de Goiás**, v. 3, n. 02, p. 33-36, 2020.

RICARDINO, I. E. F.; SOUZA, M. N. C.; SILVA NETO, I. F. Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 8, p. 55-79, 2020.

ROCKENBACH, I. I.; RODRIGUES, E.; GONZAGA, L. V.; CALIARI, V.; GENOVESE, M. I.; GONÇALVES, A. E. D. S. S.; FETT, R. Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes (*vitis vinifera* L. and *vitis labrusca* L.) widely produced in Brazil. **Food Chemistry**, v. 127, p. 174-179, 2011.

SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, M. A. J.; REIS, C. G.; AMADEU, L. T. S.; SILVA, L. P. F. R.; LIMA, T. L. B. Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas na secagem do quiabo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, 2021.

SANTOS, K. L. D.; PANIZZON, J.; CENCI, M. M.; GRABOWSKI, G.; JAHNO, V. D. Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. e2019134, 2020.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; DOS SANTOS, T. P.; DE QUEIROGA, A. P. R.; DE ALCÂNTARA, V. M. S.; DO AMARAL, D. S.; DA SILVA, L. R. I. Modelagem matemática aplicada a cinética de secagem das cascas de pitomba (*Talisia esculenta*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e46921986-e46921986, 2020a.

SANTOS, N. C.; LEITE, D. D. F.; CÂMARA, G. B.; BARROS, S. L.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; ALBUQUERQUE, A. P.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas da toranja (*Citrus paradisi* Macf.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. 9, 2020b.

SARIBURUN, E.; ŞAHIN, S.; DEMIR, C.; TÜRK BEN, C.; UYLAŞER, V. Phenolic content and antioxidant activity of raspberry cultivars. **Journal of food Science**, v. 75, p. 328-335, 2010.

SILVA, F. B.; DOS SANTOS, S. G. F.; ALMEIDA, V. G.; REZENDE, G.; XAVIER, I. R. R.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem e qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 45, n. 1-2, p. 24-33, 2022a.

SILVA, J. R. B.; CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C.; DANTAS, D. L.; MACEDO, A. D. B. de; SOUSA, A. P. M.; MALAQUIAS, A. B.; ALBUQUERQUE, T. N.; SILVA, G. B.; SANTOS, A. X. Drying kinetics of Eggplant (*Solanum Melongena* L.) in an oven. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e34111427319-e34111427319, 2022b.

SILVA, R. C.; ARAÚJO, K. T. A.; PEREIRA, J. C. A.; AMADEU, L. T. S.; REIS, C. G.; LIMA, L. S. L.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P. Chips de batata baroa obtidos por secagem convectiva. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 102586-102598, 2020.

SOUSA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N.; MACEDO, A. D. B.; DANTAS, D. L.; SILVA, A. P. F.; COSTA, J. D.; SANTANA, R. A. C. Modelagem matemática da secagem de resíduo de acerola em forno de micro-ondas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1797-1806, 2020.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Braz. J. Food Technol.**, v. 14, n. 3, p. 202-210, 2021.

SOUZA, L. M. R.; CANUTO, M. F. C. S.; SILVA, D. R. S.; FARIAS, F. P. M.; SANTOS, F. S. Secagem da polpa do umbu (*Spondias tuberosa*) em camada de espuma. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 11, p. e488101119955-e488101119955, 2021.

SOUZA, L. S.; ALBUQUERQUE JUNIOR, N. M.; LIMA, D. A.; AMORIM, T. A.; SILVA, A. B. M.; VILAR, S. B. O.; PACHECO, C. S. G. R.; ARAÚJO, A. J. B. Aproveitamento do resíduo agroindustrial de abacaxi submetido ao processo de secagem para elaboração de barra de cereais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e33101421713-e33101421713, 2021.

SOUZA, M. P.; BATAGLION, G. A.; DA SILVA, F. M. A.; DE ALMEIDA, R. A.; PAZ, W. H. P.; NOBRE, T. A.; MARINHO, J. V. N.; SALVADOR, M. J.; FIDELIS, C. H. V.; ACHO, L. D. R.; DE SOUZA, A. D. L.; NUNOMURA, R. C. S.; EBERLIN, M. N.; LIMA, E. S.; KOOLEN, H. H. F. Phenolic and aroma compositions of pitomba fruit (*Talisia esculenta* Radlk.) assessed by LC-MS/MS and HS-SPME/GC-MS. **Food Research International**, v. 83, p. 87-94, 2016.

SOUZA, M. P.; LIMA, B. R.; SÁ, I. S.; FREITAS, F. A. Compostos bioativos isolados de frutos amazônicos e suas possíveis aplicações. **Estudos em Química de Produtos Naturais**, v. 79, p. 205-239, 2023.

STEFANELLO, R.; KLAIC, P. M.; FERRARINI, F.; HERMANN, G.; WALTER, M. Caracterização físico-química de farinha de batata-doce biofortificada cultivar "Beauregard" obtida por secagem em estufa e por atomização. **Boletim Técnico-Científico**, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2022.

SZADZIŃSKA, J.; MIERZWA, D. The influence of hybrid drying (microwaveconvective) on drying kinetics and quality of white mushrooms. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 167, p. 108532, 2021.

VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; DA SILVA, C. A.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Effect of temperature on drying kinetic in foam mat and anthocyanin degradation in strawberry. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

ZAHOOR, I.; MIR, T. A.; AYOUB, W. S.; FAROOQ, S.; GANAIE, T. A. Recent applications of microwave technology as novel drying of food–Review. **Food and Humanity**, v. 1, p. 92-103, 2023.

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v. 64p. 555–559, 1999.

ANEXO A - BR 10 2023 021279 4

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2023 021279 4

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - PB

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 05055128000176

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: AV. APRIGIO VELOSO, 882 - UNIVERSITÁRIO

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429900

Pais: Brasil

Telefone: (83) 2011601

Fax: (83) 21011601

Email: nitt@ufcg.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
13/10/2023 às 10:26, Petição 870230090715

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): PRODUÇÃO DE FARINHA ALIMENTAR A PARTIR DA SECAGEM DO CAROÇO DA PITOMBA POR MICRO-ONDAS

Resumo: A presente invenção trata da secagem de resíduos dos frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*). O processo constitui-se da secagem de resíduos provenientes do caroço da pitomba a partir da secagem via micro-ondas. A invenção tem potencial aplicabilidade na área de alimentos, visando sua utilização na preparação de produtos para alimentação humana.

Figura a publicar: 1

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 13/10/2023 às 10:26, Petição 870230090715

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 11

Nome: ANA MARIA DE SOUZA ARAÚJO

CPF: 70318295423

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Mestrando

Endereço: Barra do Faris, Zona Rura

Cidade: Brejo da Madre de Deus

Estado: PE

CEP: 55170-000

Pais: BRASIL

Telefone: (81) 995 070370

Fax:

Email: souza.araujo@estudante.ufcg.edu.br

Inventor 2 de 11

Nome: ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS

CPF: 03270153490

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Salviano da Costa Agra, 70, Apo 202, Alto Branco

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58401-515

Pais: BRASIL

Telefone: (83) 993 055827

Fax:

Email: arncampos@yahoo.com.br

Inventor 3 de 11

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
13/10/2023 às 10:26, Petição 870230090715

ANEXO B - BR 10 2023 025570 1



Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2023 025570 1

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - PB

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 05055128000176

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: AV. APRIGIO VELOSO, 882 - UNIVERSITÁRIO

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429900

Pais: Brasil

Telefone: (83) 2011601

Fax: (83) 21011601

Email: nitt@ufcg.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
06/12/2023 às 09:11, Petição 870230107433

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): SECAGEM CONVECTIVA DO CAROÇO DA PITOMBA PARA OBTENÇÃO DE PRODUTO FARINÁCEO

Resumo: A presente invenção refere-se ao processo de secagem de resíduos dos frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*). O processo constitui-se da secagem dos resíduos provenientes do caroço da pitomba via secagem convectiva utilizando uma estufa de circulação de ar para elaboração de produto farináceo. A invenção tem potencial aplicabilidade na área de alimentos, visando sua utilização no desenvolvimento de produtos destinados à alimentação humana.

Figura a publicar: 1

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 06/12/2023 às 09:11, Petição 870230107433

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 11

Nome: ANA MARIA DE SOUZA ARAÚJO

CPF: 70318295423

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Mestrando

Endereço: Barra do Faris, Zona Rural

Cidade: Brejo da Madre de Deus

Estado: PE

CEP: 55170-000

Pais: BRASIL

Telefone: (81) 995 070370

Fax:

Email: souza.araujo@estudante.ufcg.edu.br

Inventor 2 de 11

Nome: ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS

CPF: 03270153490

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Salviano da Costa Agra, 70, Apto.: 202, Alto Branco

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58401-515

Pais: BRASIL

Telefone: (83) 993 055827

Fax:

Email: arncampos@yahoo.com.br

Inventor 3 de 11

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
06/12/2023 às 09:11, Petição 870230107433

ANEXO C - BR 10 2023 016821 3



**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de
Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT**

Número do Processo: BR 10 2023 016821 3

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - PB

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 05055128000176

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: AV. APRIGIO VELOSO, 882 - UNIVERSITÁRIO

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429900

Pais: Brasil

Telefone: (83) 2011601

Fax: (83) 21011601

Email: nitt@ufcg.edu.br

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): PROCESSO DE SECAGEM POR MICRO-ONDAS PARA OBTENÇÃO DE FARINÁCEO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA CASCA DA PITOMBA

Resumo: A presente invenção trata da secagem de resíduos dos frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*). O processo constitui-se de secagem de resíduos provenientes da casca da pitomba a partir da secagem via micro-ondas. A invenção tem potencial aplicabilidade na área de alimentos, visando sua utilização na preparação de produtos para alimentação humana.

Figura a publicar: 1

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 22/08/2023 às 09:19, Petição 870230074148

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 9

Nome: ANA MARIA DE SOUZA ARAÚJO

CPF: 70318295423

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Mestrando

Endereço: Barra do Faris, Zona Rural

Cidade: Brejo da Madre de Deus

Estado: PE

CEP: 55170-000

Pais: BRASIL

Telefone: (81) 995 070370

Fax:

Email: souza.araujo@estudante.ufcg.edu.br

Inventor 2 de 9

Nome: ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS

CPF: 03270153490

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Salviano da Costa Agra, 70, Apto.: 202, Alto Branco

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58401-515

Pais: BRASIL

Telefone: (83) 993 055827

Fax:

Email: arncampos@yahoo.com.br

Inventor 3 de 9

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 22/08/2023 às 09:19, Petição 870230074148

ANEXO D - BR 10 2023 025575 2



Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2023 025575 2

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - PB

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 05055128000176

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: AV. APRIGIO VELOSO, 882 - UNIVERSITÁRIO

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429900

Pais: Brasil

Telefone: (83) 2011601

Fax: (83) 21011601

Email: nitt@ufcg.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
06/12/2023 às 10:04, Petição 870230107454

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): PROCESSO DE OBTENÇÃO DA FARINHA DAS CASCAS DE PITOMBA

Resumo: A presente invenção envolve a secagem dos resíduos dos frutos da pitombeira (*Talisia esculenta*). O processo constitui-se da secagem de resíduos provenientes da casca dos frutos da pitombeira a partir da secagem em estufa de circulação de ar para obtenção de produto farináceo. A invenção tem potencial aplicabilidade na área de alimentos, por permitir a utilização dos resíduos no desenvolvimento de produtos para alimentação humana.

Figura a publicar: (1)

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 06/12/2023 às 10:04, Petição 870230107454

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 11

Nome: ANA MARIA DE SOUZA ARAÚJO

CPF: 70318295423

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Mestrando

Endereço: Barra do Faris, Zona Rural

Cidade: Brejo da Madre de Deus

Estado: PB

CEP: 55170-000

Pais: BRASIL

Telefone: (81) 995 070370

Fax:

Email: souza.araujo@estudante.ufcg.edu.br

Inventor 2 de 11

Nome: ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS

CPF: 03270153490

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Salviano da Costa Agra, 70, Apto.: 202, Alto Branco

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58401-515

Pais: BRASIL

Telefone: (83) 993 055827

Fax:

Email: arncampos@yahoo.com.br

Inventor 3 de 11

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
06/12/2023 às 10:04, Petição 870230107454