



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



MARIA LAIZA DOS SANTOS DA MOTA

POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE EXTRATOS DA CASCA DE ROMÃ
(*Punica granatum* L.)

CAMPINA GRANDE - PB

2022

MARIA LAIZA DOS SANTOS DA MOTA

POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE EXTRATOS DA CASCA DE ROMÃ
(Punica granatum L.)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador(es): Dra. Ana Paula Trindade Rocha
Dra. Maria Elita Martins Duarte

CAMPINA GRANDE – PB

2022

M917p

Mota, Maria Laiza dos Santos da.

Potencial antioxidante de extratos da casca de romã (*Punica granatum* L.) / Maria Laiza dos Santos da Mota – Campina Grande, 2024.

107 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Trindade Rocha, Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte."

Referências.

1. Cascas de *Punica granatum* L. 2. Cinética de Secagem. 3. Extrato Liofilizado. 4. Compostos Bioativos. 5. Atividade Antioxidante. 6. Acetilcolinesterase. I. Rocha, Ana Paula Trindade. II. Duarte, Maria Elita Martins. III. Título.

CDU 634.64(043)

MARIA LAIZA DOS SANTOS DA MOTA

POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE EXTRATOS DA CASCA DE ROMÃ
(*Punica granatum L.*)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Aprovado em: 12 de setembro de 2022

Ana Paula Trindade Rocha - Orientadora

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – UFCG

Maria Elita Martins Duarte - Orientadora

Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos – UFCG

Gilmar Trindade de Araújo - Examinador Interno

Unidade Acadêmica de Engenharia Química – UFCG

Semirames do Nascimento Silva - Examinadora Externa

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UFCG

Inacia dos Santos Moreira - Examinadora Externa

Instituto Nacional do Semiárido – INSA



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429- 900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, REALIZADA EM 12 DE SETEMBRO DE 2022.

CANDIDATO(A): MARIA LAIZA DOS SANTOS DA MOTA

COMISSÃO EXAMINADORA: Ana Paula Trindade Rocha - Orientador(a) - PPGEALI/CTRN/UFCG; Maria Elita Martins Duarte - Orientador(a) - PPGEALI/CTRN/UFCG; Gilmar Trindade de Araújo - Examinador(a) Interno(a) - PPGEALI/CTRN/UFCG; Semirames do Nascimento Silva - Examinador(a) Externo(a); e Inacia dos Santos Moreira - Examinador(a) Externo(a) - (PORTARIA Nº 15/2022 PPGEALI/UAEALI/CTRN/UFCG, DE 27 DE SETEMBRO DE 2022)

TÍTULO: POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE EXTRATOS DA CASCA DE ROMÃ (PUNICA GRANATUM L.)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Tecnologia de Armazenamento e Processamento de Produtos Alimentícios

LOCAL: Por Videoconferência (plataforma Google Meet)

HORÁRIO: 14h

Em sessão pública, após exposição de cerca de 45 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, sendo **APROVADO(A)**, com modificações no texto, de acordo com as exigências da Comissão Examinadora, que deverão ser cumpridas no prazo máximo de 30 (trinta) dias. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, assinada pelo(a) coordenador(a) do PPGEALI e demais membros da Comissão Examinadora presentes. Campina Grande/PB, 12 de setembro de 2022.

Ana Paula Trindade Rocha - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCCG

Maria Elita Martins Duarte - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCCG

Gilmar Trindade de Araújo - Examinador(a) Interno(a) - PPGEALI/CTRN/UFCCG

Semirames do Nascimento Silva - Examinador(a) Externo(a);

Inacia dos Santos Moreira - Examinador(a) Externo(a)

Maria Laiza dos Santos da Mota - Discente

1. Segue a presente Ata de Defesa de Dissertação do(a) candidato(a) **MARIA LAIZA DOS SANTOS DA MOTA**, assinada eletronicamente pela Comissão Examinadora acima identificada.



Documento assinado eletronicamente por **ANA PAULA TRINDADE ROCHA, COORDENADOR(A)**, em 04/11/2022, às 09:28, 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 **Semirames do Nascimento Silva, Usuário Externo**, em 04/11/2022, às 09:39, 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 **MARIA ELITA MARTINS DUARTE, PROFESSOR 3 GRAU**, em 04/11/2022, às 09:42, 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 **INACIA DOS SANTOS MOREIRA, Usuário Externo**, em 04/11/2022, às 09:51, 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 **Maria Laiza dos Santos da Mota, Usuário Externo**, em 07/11/2022, às 20:42, 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 **GILMAR TRINDADE DE ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/02/2024, às 15:00, 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 **2895302** e o código CRC **03A61700**.

*“Nem sempre o que Deus vai fazer
Tem a ver com o que estou pensando e esperando
Ele sabe o que é melhor para mim
Ele sabe o que irá fazer, Ele é Deus!
Por que Ele faz infinitamente mais do que
pedimos, do que pensamos...”*
(Samuel Messias)

*“Viver os sonhos de Deus significa ser lançado
em estações em que só Ele pode sustentar você”*
(Pr. André Fernandes)

A Deus, que é perfeito sempre! Por estar comigo em todos os momentos, me segurando no colo nos dias mais difíceis, me ensinando que nos momentos de silêncio Ele trabalha a meu favor, basta que eu ore, confie e espere o Seu tempo perfeito. Paizinho, obrigada por ser tão bom!

Aos meus pais, Francisco e Júlia, pelo amor incondicional, educação, por me apoiar em todas as decisões, e por estarem sempre à disposição para o que preciso. Aos meus irmãos, Patrícia, Ramilson e Robson, pela disponibilidade e apoio, pela paciência em meus momentos de estresse durante a realização da pesquisa, e por estarem sempre à disposição para o que preciso.

À Karine Feitosa, laboratorista da FATEC Cariri, pessoa fundamental para a realização de grande parte desta pesquisa. Obrigada por estar sempre disponível para tudo o que eu precisava (tirando, inclusive, seu pai das atividades para montar minhas cestas teladas), obrigada por ficar até tarde no laboratório, mesmo não estando mais em horário de trabalho, e pelos momentos divertidos em laboratório.

Às minhas orientadoras, Profa. Dra. Ana Paula e Profa. Dra. Maria Elita, pela disponibilidade de me orientar, pelos ensinamentos e contribuição para realização desta pesquisa. À professora Ana Paula, em especial, por ter acolhido minhas ideias, por sua flexibilidade demonstrada desde o início, sendo compreensiva diante das minhas limitações.

À Thais Jaciane e Adgylannah (Lannah), pelas orientações e por abrirem mão do seu tempo de estudo e de pesquisa para realizar parte dos meus experimentos.

Ao professor Dr. Dennys Correia, da Universidade Federal do Maranhão, tão solícito. Mesmo sem conhecê-lo, a partir de um e-mail, se colocou à total disposição para me ajudar numa etapa tão difícil, mas tão prazerosa de se estudar, a cinética de secagem.

Ao Diretor da FATEC Cariri, Emerson Lacerda, pela autorização concedida para realização de parte da minha pesquisa nos laboratórios da instituição e pela sensibilidade ao me ouvir.

À professora Dra. Selene Maia e Daniela Ribeiro, da Universidade Estadual do Ceará, pela sensibilidade e disponibilidade de realizar análises fundamentais para esta pesquisa.

Aos professores que se dispuseram a fazer parte da banca examinadora, Dr. Gilmar Trindade, Dra. Semirames Silva e Dra. Inacia Moreira, pelas observações e valiosas contribuições dadas ao trabalho.

À Roberta Wanderley, Inacia Moreira e Douglas Vinícius, pelos ensinamentos sobre a cinética de secagem. A disponibilidade e gentileza de vocês em compartilhar conhecimentos foi fundamental.

À Priscila, minha amiga, por todas as vezes que me incentivou a continuar, pelos conselhos e por me ouvir sempre.

À Emilly Coutinho e Jôingly Farias, minhas amigas do mestrado, com quem dividi tantas dúvidas durante esta caminhada, e mesmo nos falando apenas via WhatsApp (grupo TRIO PPGEALI), tudo foi muito válido e gratificante.

À professora Edna Mori, minha referência na vida acadêmica, e que tanto me incentivou a ingressar no mestrado, acreditando em meus projetos mais do que eu.

A CAPES, pelo apoio financeiro concedido durante a realização do mestrado.

À Suzete e Antônia, pelo fornecimento das romãs e pela disponibilidade de me ajudarem na coleta, mesmo quando não agendava com antecedência.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UFCG-Campus Campina Grande, pelos conhecimentos transmitidos.

À Universidade Federal de Campina Grande, UFCG-Campus Campina Grande, pela oportunidade de realização deste sonho.

Por fim, minha gratidão a todos que cruzaram meu caminho e contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A romã (*Punica granatum* L.) tem despertado o interesse da ciência por suas propriedades funcionais e terapêuticas, entre elas, seu potencial antioxidante, anti-inflamatório e antimicrobiano. Com isso, objetivou-se avaliar o potencial antioxidante em extratos liofilizados da casca de romã, determinando as atividades antioxidante e anticolinesterásica e a quantificação de compostos bioativos. Em adição, estudar a cinética de secagem das cascas de romã e avaliar o efeito da secagem convectiva em diferentes temperaturas nas propriedades físicas e químicas das farinhas obtidas. As cascas de romã foram cortadas em fatias com 5,0 x 1,5 x 0,4 cm e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar ajustada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Para descrever a cinética de secagem foram usados vários modelos matemáticos e um modelo de difusão. Após a secagem, as cascas foram trituradas para obtenção de farinhas e caracterizadas quanto às características físicas e físico-químicas. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, e os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. De acordo com os resultados, verificou-se que o modelo de Page apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais. A elevação da temperatura de secagem aumentou a difusividade efetiva e sua relação com a temperatura pode ser descrita pela equação de Arrhenius. A farinha obtida na temperatura de 70 °C apresentou menor teor de umidade e maiores percentuais de sólidos solúveis totais, acidez, carboidrato total, proteínas, lipídeos, cinzas e minerais. As farinhas obtidas apresentaram boa solubilidade, fluidez e capacidade de escoamento aceitáveis e altas densidades. A farinha obtida após a secagem a 50 °C foi selecionada para obtenção do extrato hidroalcoólico 70%. O extrato obtido foi concentrado, adicionado do adjuvante de secagem maltodextrina em diferentes concentrações (35, 40 e 45%) e liofilizado para obtenção do extrato seco. Os extratos liofilizados foram caracterizados quanto aos parâmetros físicos e físico-químicos, compostos fenólicos totais, taninos totais, flavonoides, antocianinas e carotenoides totais, avaliação da atividade antioxidante *in vitro* pelos métodos ABTS e DPPH e atividade de inibição da enzima acetilcolinesterase. Os extratos liofilizados apresentam elevados percentuais de compostos bioativos, especialmente fenólicos totais e taninos. A atividade antioxidante foi expressivamente alta pelos ensaios ABTS e DPPH. Os extratos revelaram importante atividade anticolinesterásica. O extrato ELM35 se destacou pelos maiores valores de bioativos, elevada capacidade antioxidante e poder de inibição da enzima acetilcolinesterase. Pode-se afirmar que a casca de romã representa uma fonte potencial de compostos com propriedades antioxidantes e constitui alternativa viável de aplicação em diversos produtos.

Palavras-chave: Cascas de *Punica granatum* L.; Cinética de secagem; Extrato liofilizado; Compostos bioativos; Atividade antioxidante; Acetilcolinesterase.

ABSTRACT

Pomegranate (*Punica Granatum* L.) has attracted the interest of science for its functional and therapeutic properties, including its antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial potential. Thus, the objective was to evaluate the antioxidant potential in lyophilized extracts of pomegranate peel, determining the antioxidant and anticholinesterase activities and the quantification of bioactive compounds. In addition, study the drying kinetics of pomegranate shells and evaluate the effect of convective drying at different temperatures on the physical and chemical properties of the flours obtained. The pomegranate shells were cut into slices with 5.0 x 1.5 x 0.4 cm and dried in an oven with forced air circulation adjusted at temperatures of 50, 60 and 70 °C. Several mathematical models and a diffusion model were used to describe the drying kinetics. After drying, the shells were crushed to obtain flours and characterized for physical and physicochemical characteristics. The experiment was installed in a completely randomized design, with three replications, and the data were submitted to analysis of variance by the F test and the Tukey test at 5% probability level. According to the results, it was found that the Page model presented the best fit to the experimental data. The increase in drying temperature increased the effective diffusivity and its relationship with temperature can be described by the Arrhenius equation. The flour obtained at 70 °C showed lower moisture content and higher percentages of total soluble solids, acidity, total carbohydrate, proteins, lipids, ash and minerals. The flours obtained presented good solubility, fluidity and acceptable flow capacity and high densities. The flour obtained after drying at 50 °C was selected to obtain the 70% hydroalcoholic extract. The extract obtained was concentrated, added from the drying adjuvant maltodextrin at different concentrations (35, 40 and 45%) and lyophilized to obtain the dry extract. The lyophilized extracts were characterized for physical and physicochemical parameters, total phenolic compounds, total tannins, flavonoids, anthocyanins and total carotenoids, in vitro antioxidant activity by ABTS and DPPH methods and inhibition activity of acetylcholinesterase enzyme. The lyophilized extracts have high percentages of bioactive compounds, especially total phenolics and tannins. The antioxidant activity was expressively high by the ABTS and DPPH assays. The extracts revealed important anticholinesteric activity. The extract ELM35 stood out for the higher values of bioactives, high antioxidant capacity and inhibition power of the enzyme acetylcholinesterase. It can be stated that the pomegranate peel represents a potential source of compounds with antioxidant properties and is a viable alternative for application in several products.

Keywords: *Punica granatum* L.; Drying kinetics; Lyophilized extract; Bioactive compounds; Antioxidant activity; Acetylcholinesterase.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Inflorescência (A); Fruto (B) e Arilos (C) da romã.....	21
Figura 4.1 - Disposição das fatias das cascas de romã nas bandejas teladas.....	37
Figura 5.1 - Romã in natura (A); Cascas de romã em fatias antes (B) e depois da secagem (C)..	53
Figura 5.2 – Curvas de secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	53
Figura 5.3 - Valores experimentais e estimados da razão de teor de água em função do tempo para a secagem das cascas de romã, de acordo com os modelos propostos.....	60
Figura 5.4 - Valores experimentais e estimados pelo modelo de Page nas temperaturas de 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C).	62
Figura 5.5 - Valores de coeficientes de difusão efetivo – Def (m ² s ⁻¹) obtidos a partir da cinética de secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	64
Figura 5.6 - Valores experimentais e estimados pelo modelo de Difusão para a secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C).....	65
Figura 5.7 - Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura de secagem das cascas de romã.	65
Figura 5.8 - Amostras das farinhas obtidas após secagem a 50 °C (A - FCR50), 60 °C (B - FCR60) e 70 °C (C - FCR70).....	69
Figura 5.9 - Extratos das cascas de romã liofilizados com maltodextrina em concentrações de 35% (A - ELM35), 40% (B - ELM40) e 45% (C - ELM45).....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1- Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das cascas de romã.....	38
Tabela 5.1 - Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos aos dados de secagem das cascas de romã.....	54
Tabela 5.2 - Coeficientes de determinação (R^2) e erros médios relativos (MRE %) dos dez modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das cascas de romã.....	57
Tabela 5.3 - Coeficiente de difusividade efetiva (Def), coeficiente de determinação (R^2) e erro médio relativo (MRE %) obtidos na descrição da secagem das cascas de romã usando o modelo de Difusão.	63
Tabela 5.4 - Propriedades termodinâmicas obtidas na secagem das cascas de romã.....	67
Tabela 5.5 - Rendimentos das farinhas das cascas de romã (FCR).....	68
Tabela 5.6 - Composição físico-química das farinhas das cascas de romã, FCR50, FCR60 e FCR70	69
Tabela 5.7 - Características físicas das farinhas das cascas de romã, FCR50, FCR60 e FCR70.	73
Tabela 5.8 - Teor de extrativos (TE) das farinhas das cascas de romã, FCR50, FCR60 e FCR70.	76
Tabela 5.9 - Caracterização físico-química e física dos extratos liofilizados das cascas de romã, ELM35, ELM40 e ELM45.....	77
Tabela 5.10 - Compostos fenólicos totais (CFT), taninos totais, flavonoides, antocianinas e carotenoides totais dos extratos liofilizados das cascas de romã, ELM35, ELM40 e ELM45.....	81
Tabela 5.11 - Atividade antioxidante dos extratos liofilizados das cascas de romã	84
Tabela 5.12 - Atividade anticolinesterásica dos extratos da casca de romã.....	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3 REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1 Aproveitamento de resíduos agroindustriais	20
3.2 Romã (<i>Punica granatum</i> L.)	21
3.2.1 Composição química	22
3.3 Compostos bioativos	23
3.3.1 Extração de compostos bioativos	26
3.4 Atividade antioxidante	28
3.5 Inibição da enzima acetilcolinesterase	29
3.6 Secagem	30
3.6.1 Secagem em estufa e cinética de secagem	30
3.6.2 Liofilização.....	32
3.6.2.1 Adjuvantes de secagem	33
3.6.2.1.1 Maltodextrina	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Condução do experimento.....	36
4.2 Aquisição e seleção dos frutos	36
4.3 Cinética de secagem das cascas de romã.....	36
4.3.1 Modelagem matemática do processo de secagem.....	37
4.3.1.1 Modelos Semiempíricos/Empíricos	38
4.3.1.2 Modelo de Difusão	39
4.4 Obtenção da farinha das cascas de romã.....	40
4.4.1 Rendimento das farinhas	41
4.5 Caracterização físico-química das farinhas.....	41
4.5.1 Sólidos solúveis totais (SST).....	41
4.5.2 pH.....	41
4.5.3 Acidez titulável	41
4.5.4 Teor de umidade.....	42
4.5.5 Carboidrato total.....	42
4.5.6 Proteínas.....	42

4.5.7 Lipídeos.....	42
4.5.8 Cinzas.....	42
4.5.9 Cálcio.....	42
4.5.10 Ferro.....	42
4.5.11 Fósforo.....	43
4.5.12 Vitamina C.....	43
4.6 Caracterização física das farinhas.....	43
4.6.1 Solubilidade.....	43
4.6.2 Densidade real.....	43
4.6.3 Densidade aparente.....	44
4.6.4 Densidade compactada.....	44
4.6.5 Porosidade.....	45
4.6.6 Índice de compressibilidade.....	45
4.6.7 Fator de Hausner.....	45
4.7 Teor de extrativos.....	46
4.8 Obtenção do extrato hidroalcoólico.....	46
4.9 Obtenção do extrato concentrado.....	47
4.9.1 Determinação do teor de sólidos totais.....	47
4.10 Obtenção do extrato seco por liofilização.....	47
4.11 Caracterização físico-química e física dos extratos liofilizados.....	48
4.12 Quantificação de compostos bioativos dos extratos liofilizados.....	48
4.12.1 Determinação de compostos fenólicos totais.....	48
4.12.2 Determinação de taninos totais.....	48
4.12.3 Determinação de flavonoides e antocianinas.....	48
4.12.4 Determinação de carotenoides totais.....	49
4.13 Atividade antioxidante dos extratos liofilizados.....	50
4.13.1 Atividade antioxidante pelo método ABTS.....	50
4.13.2 Atividade antioxidante pelo método DPPH.....	51
4.14 Atividade inibitória da enzima acetilcolinesterase (AChE).....	51
4.15 Análise estatística dos dados.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1 Cinética de secagem das cascas de romã.....	53
5.1.1 Modelos Semiempíricos/Empíricos.....	54
5.1.2 Modelo de Difusão.....	63

5.2 Rendimento das farinhas	68
5.3 Caracterização físico-química das farinhas	69
5.4 Caracterização física das farinhas	73
5.5 Teor de extrativos.....	76
5.6 Caracterização dos extratos liofilizados	77
5.6.1 Caracterização físico-química e física dos extratos liofilizados	77
5.6.2 Quantificação de compostos bioativos dos extratos liofilizados.....	81
5.6.3 – Atividade antioxidante dos extratos liofilizados das cascas de romã.....	84
5.6.4 Atividade inibitória da enzima acetilcolinesterase (AChE).	86
6 CONCLUSÕES.....	88
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1 INTRODUÇÃO

O interesse pela pesquisa com a casca de romã surgiu a partir de relatos de consumidores do Cariri Cearense, sobre o histórico de uso medicinal da casca com alegações de seus benefícios no tratamento de inflamações, alergias, irritações na visão, cicatrização de feridas, entre outros. Esses consumidores que, embora não tenham o conhecimento científico das propriedades funcionais da romã, valorizam a fruta ao consumir o suco e armazenar as cascas para uso e aproveitamento na forma de chás, compostos, entre outras formas de aproveitamento

A romã (*Punica granatum* L.), originária do Oriente Médio e pertencente à família *Punicaceae*, é uma planta largamente utilizada na medicina popular. Estudos científicos de suas propriedades terapêuticas apontam para seu potencial antioxidante, anti-inflamatório e antimicrobiano (SOUSA et al., 2018). Sua área cultivada vem se expandido, tendo-se em vista a demanda pela fruta por parte das indústrias de alimentos, farmacêuticas e de cosméticos. O Nordeste brasileiro apresenta condições ideais para o cultivo dessa frutífera, a qual tem despertado o interesse de produtores da região (MOREIRA et al., 2015).

A cultura da romãzeira apresenta um grande apelo comercial, devido ao aumento da demanda por frutas in natura e produtos com propriedades funcionais. A romã é uma fruta de baixo valor calórico, e tem se tornado cada vez mais popular, econômica e cientificamente, devido às suas agradáveis propriedades organolépticas e pelos constituintes benéficos que a tornam um alimento funcional (LAMPAKIS; SKENDERIDIS; LEONTOPOULOS, 2021). Farias (2018), ressalta a sua composição em açúcares, proteínas, fibras, minerais, ácidos orgânicos e compostos bioativos.

Durante o beneficiamento industrial da romã, resíduos são gerados, especialmente as cascas, que representam 40-50% do peso total desses resíduos segundo Lampakis, Skenderidis e Leontopoulos (2021). Consequentemente, grande parte ainda é descartada sem qualquer forma de aproveitamento, demonstrando a necessidade de novas tecnologias para sua melhor utilização, diante do surgimento de novas propostas, utilizando alternativas alimentares saudáveis com propriedades funcionais e atrativas sensorialmente.

O aproveitamento desses resíduos constitui um fator importante na manutenção do meio ambiente, evitando que o elevado volume de resíduos gerados pela agroindústria seja descartado em locais inadequados. Além disso, o desenvolvimento de novos produtos por pesquisadores, a partir desses resíduos, contribui para a produção de materiais com inúmeras finalidades, como alimentares, medicamentosas, embalagens biodegradáveis, reduzindo os custos de descarte e dos índices de desperdício alimentar (MENEZES FILHO; CASTRO, 2020;

PEREIRA; FIRMO; COUTINHO, 2022). Esses resíduos são fontes valiosas de nutrientes e de compostos bioativos que, além de serem naturais, exercem atividade antioxidante e antimicrobiana, sendo relatados em pesquisas para melhorar a qualidade, segurança e prolongar a vida útil de uma variedade de produtos alimentícios (GULLÓN et al., 2020).

A secagem constitui-se numa importante técnica de conservação desses resíduos, no entanto, se realizada de maneira inadequada pode comprometer a qualidade do produto e/ou acelerar os processos de deterioração. Assim, a cinética de secagem, compreendida como a velocidade com que determinado produto perde água, permite uma análise sobre o comportamento da transferência de massa entre o produto e o agente de secagem, contribuindo com informações sobre o comportamento do mesmo durante o processo, possibilitando o estudo do tempo de desidratação, bem como, o consumo de energia durante o processo, favorecendo a otimização das condições operacionais, objetivando maximizar o aproveitamento energético e evitar as perdas das características nutricionais do alimento (SANTOS et al., 2020; SANTOS et al., 2017; LIMA et al., 2020).

Estudos sobre a composição química, conteúdo em compostos bioativos e potencial antioxidante, assim como, a aplicação de alternativas tecnológicas que visem o aproveitamento integral da casca de romã e a preservação de seus constituintes químicos, são fundamentais para futuras aplicações na área farmacêutica e de alimentos. Para a indústria alimentícia, mais especificamente, essa técnica fomentará possibilidades de desenvolvimento de novas formulações, novos ingredientes alimentares e melhorias na qualidade nutricional e/ou funcional dos produtos, favorecendo o crescimento na demanda de produção da romã, valorização e inclusão da fruta na dieta, agregando valor à cultura.

Devido os compostos bioativos serem extremamente sensíveis a ambientes oxidantes, como a presença de luz, oxigênio e umidade, é importante a utilização de tecnologias que diminuam essa sensibilidade, um exemplo é o uso de agentes carreadores de secagem que funcionam como barreira a estes fatores, preservando o composto. Sua utilização, seguida de processos como a liofilização, técnica promissora já utilizada pela indústria de alimentos, promove a transformação desses compostos em um produto final em pó, podendo ser utilizado de inúmeras formas (LIMA, 2019).

Neste trabalho, são utilizadas metodologias e técnicas visando a obtenção das melhores condições de secagem da matéria-prima, juntamente com sua caracterização química e dos extratos obtidos, assim como, uma avaliação mais aprofundada do potencial antioxidante dos extratos de *Punica granatum* L. e de seus constituintes bioativos, nas diferentes etapas de tratamento da matéria-prima até a obtenção do produto em pó pelo processo de liofilização.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial antioxidante de extratos liofilizados das cascas de romã da variedade “Mollar”.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar a cinética de secagem das cascas de romã em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C;
- Avaliar os parâmetros de secagem de dez modelos empíricos/semiempíricos e um modelo de difusão;
- Avaliar a qualidade das farinhas obtidas das cascas de romã, através de atributos físicos e físico-químicos;
- Selecionar uma farinha para obtenção do extrato hidroalcólico da farinha das cascas de romã;
- Obter extrato concentrado da farinha das cascas de romã por meio de rotoevaporação;
- Secar o extrato concentrado através de liofilização utilizando adjuvante de secagem maltodextrina nas concentrações de 35, 40 e 45%;
- Avaliar as características físico-químicas e físicas dos extratos liofilizados;
- Quantificar compostos fenólicos totais, taninos totais, flavonoides, antocianinas e carotenoides totais dos extratos liofilizados;
- Determinar a atividade antioxidante total dos extratos liofilizados utilizando ensaios *in vitro* pelos métodos ABTS e DPPH;
- Avaliar o potencial anticolinesterásico dos extratos liofilizados utilizando ensaio *in vitro*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aproveitamento de resíduos agroindustriais

A agroindústria tem por finalidade a transformação das matérias-primas a fim de prolongar sua disponibilidade e valor (VAZ JÚNIOR, 2020). No processo industrial, principal responsável pela geração de subprodutos, destaca-se a indústria alimentícia que emprega toneladas de matérias-primas na produção de diversos produtos gerando resíduos que, em sua maioria, ainda são descartados sem nenhum tratamento, porém são grandes fontes de compostos ativos com potencial de aproveitamento (PEREIRA; FIRMO; COUTINHO, 2022).

O desperdício ocorre em praticamente todas as etapas da cadeia produtiva, especialmente no manuseio pós-colheita, armazenamento, processamento e comercialização. No caso de frutas, hortaliças e leguminosas, estas perdas chegam a 30% da produção total (ALMEIDA, 2021).

Na fruticultura, setor em expansão no Brasil, estima-se que cerca de 53% da produção é comercializada de forma in natura e 47% destinada à indústria para processamento e produção de sucos, polpas congeladas, geleias, doces, entre outros (ANSILIERO et al., 2020). Em 2021, o setor alcançou a marca de 1 milhão e 217 mil toneladas de frutas exportadas, um aumento de 18% em relação ao ano de 2020, e um faturamento de mais de 1 trilhão de dólares, 20% a mais que em 2020 (ABRAFRUTAS, 2021). No entanto, grande parte dos resíduos gerados no processamento são descartados no meio ambiente para fins de compostagem ou aproveitados na alimentação animal devido ao seu baixo custo, porém, o aproveitamento destes resíduos constitui-se numa importante alternativa para a obtenção de insumos para a indústria química, farmacêutica, cosmética e, em especial, para a indústria alimentícia na produção de novos produtos visando seu enriquecimento nutricional e propriedades funcionais (ANSILIERO et al., 2020).

Com o objetivo de reduzir o descarte indevido, minimizar os danos causados ao meio ambiente e contribuir para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, diversos estudos têm sido empenhados na valorização de resíduos de origem agroindustrial visando o desenvolvimento de novos produtos que sejam atrativos sensorialmente e com potencial nutricional, funcional e econômico (BARROS; TOSI; ASSIS, 2017; MARTINS et al., 2019). Especialmente nos últimos anos, tem sido observado um interesse crescente por parte da ciência e pesquisadores quanto ao aproveitamento dos resíduos gerados, como cascas, sementes, talos, entre outras partes comumente descartadas, tendo em vista sua composição em nutrientes, como

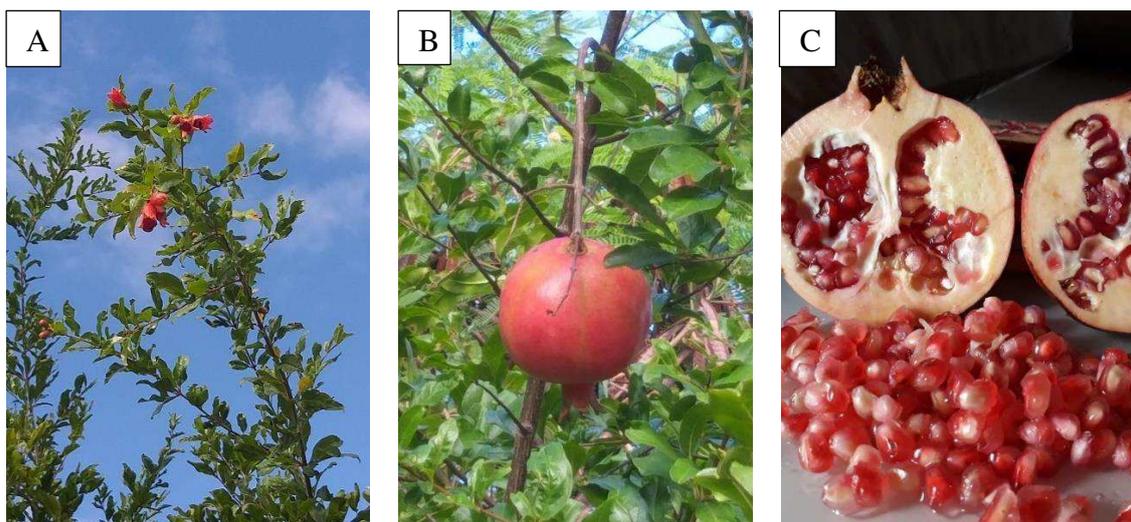
vitaminas, minerais e fibras, além de compostos antioxidantes com importância para as funções fisiológicas (FEITOSA et al., 2020).

A secagem e moagem empregadas nesses subprodutos resultam em farinhas, que podem ser utilizadas como ingrediente para produtos de panificação e massas alimentícias, aumentando a gama de produtos funcionais, além de outras alternativas sugeridas a partir de estudos já realizados, como os filmes plásticos comestíveis e biodegradáveis, extratos de compostos bioativos de interesse alimentícios ou farmacêuticos produzidos a partir dos rejeitos da cadeia hortifrutícola (RODRIGUES; SEIBEL, 2021; BARROS; TOSI; ASSIS, 2017).

3.2 Romã (*Punica granatum* L.)

A *Punica granatum* L., pertencente à família *Punicaceae* e popularmente conhecida no Brasil como “romã”, é um tipo de planta arbustiva que atinge de 4 a 6 metros de altura. Tem folhas simples e flores isoladas, de corola vermelha alaranjada e cálices esverdeados, duros e coriáceo (Figura 3.1 - A). Fruto tipo baga, arredondado, de casca coriácea, amarela ou avermelhada (Figura 3.1 - B) contendo inúmeras sementes envolvidas por um arilo polposo, róseo avermelhado (Figura 3.1 - C), de sabor doce e levemente acidulado (MENEZES, 2004).

Figura 3.1 – Inflorescência (A); Fruto (B); Arilos (C)



Fonte: Autor (2022)

O fruto tem sido cultivado por milhares de anos e é nativo do Afeganistão, Irã, China e do subcontinente indiano. Originária da Pérsia (Irã), posteriormente, se espalhou para a região do Mediterrâneo até as fronteiras da Europa turca e do sudoeste americano, Califórnia e México e, atualmente, seu cultivo encontra-se distribuído, principalmente, nos continentes Europeu e

Asiático, sendo a Índia, Irã, China e Turquia os principais produtores da fruta (ISMAIL; SESTILI; AKHTAR, 2012).

A romãzeira prospera em regiões de condições climáticas áridas e semiáridas, assim, ao aportar no Brasil, encontrou condições favoráveis para o crescimento vegetativo, florescimento e produção de frutos, despertando o interesse de produtores de frutíferas, especialmente do Nordeste brasileiro, que apresenta condições ideais para o seu cultivo. Apesar de dados sobre a área plantada e a produção ainda serem escassos, a cultura da romãzeira no Brasil encontra-se em crescimento, sendo avaliada desde 2010, com o objetivo de encontrar uma nova opção de cultivo para produtores da região.

É amplamente utilizada por muitos povos, sendo um fruto com uma longa história medicinal que tem sido respaldada por estudos científicos de suas propriedades terapêuticas, principalmente antimicrobiana e anti-inflamatória. Estas propriedades têm sido estudadas em diferentes preparações desta planta, incluindo extratos e frações do fruto, flores e folhas e parecem estar relacionadas ao alto teor de compostos fenólicos presentes em suas composições (SOUSA et al., 2018).

A romã (*Punica granatum* L.) é um fruto que possui importantes propriedades funcionais, com destaque para o seu potencial antioxidante consideravelmente elevado. Várias pesquisas comprovaram sua capacidade de proteção contra uma gama de doenças, como câncer, diabetes tipo 2, aterosclerose e doenças cardiovasculares, sendo utilizada toda a fruta e seus derivados, como óleo da semente, casca, extrato de flores e o suco. O fruto demonstrou possuir também propriedades antimicrobianas, anti-hepatotóxicas e antivirais. Estes benefícios estão atribuídos à alta capacidade antioxidante que está correlacionada com a concentração e composição química de antocianinas e taninos hidrolisáveis (FARIAS, 2018; CONIDI et al., 2017).

3.2.1 Composição química

A composição química da romã varia em relação ao tipo de cultivo, região de crescimento, clima, maturidade e práticas culturais. Suas características organolépticas e os benefícios oferecidos pelo seu consumo são atribuídos à presença de compostos polifenólicos, taninos aos quais se deve o seu sabor adstringente, e ácidos orgânicos, ácido cítrico e málico, responsáveis pelo sabor acidificado. O fruto é constituído em sua maior medida por água e açúcares, sendo o teor de lipídeos e proteínas menor, conferindo-lhe um baixo poder calórico e ideal para consumo. Seu alto teor de água e potássio, além da baixa concentração de sódio, lhe conferem propriedades diuréticas e purificantes, as quais, junto com sua concentração em ácido

cítrico, favorecem a eliminação de ácido úrico e seus sais pela urina (CORONADO-REYES et al., 2021).

A romã está inserida na lista das superfrutas, por apresentar características e constituintes nutricionais, como vitamina C, fitonutrientes que atuam como antioxidantes, além de ser uma fonte de vitamina B5 (ácido pantotênico) e potássio. Na análise de composição físico-química de romãs obtidas em diferentes estabelecimentos comerciais, foram encontrados expressivos teores de ácido ascórbico, variando de 7,58 a 12,26 mg/100 g no suco; valores de 27,26 a 40,16 mg/100 g na casca do fruto e variações de 9,68 a 13,55 mg/100 g na semente, sendo observado, assim, maiores quantidades de ácido ascórbico na casca em comparação com o suco e sementes (ATAÍDE et al., 2018).

Onias et al. (2020), estudaram o conteúdo de minerais da casca, sementes e arilos da romã durante o seu desenvolvimento e verificaram que os principais elementos presentes no fruto são: potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca), ferro (Fe) e zinco (Zn), sendo o K encontrado em maior proporção na casca do fruto (variações de 6,9 g.Kg a 10 g.Kg⁻¹). Na semente, destaca-se o Zn (maior valor de 43 mg.Kg⁻¹) e o Fe (valores entre 40 a 44 mg.Kg⁻¹). No arilo, o Fe é o elemento com maior proporção (valores variando de 21 a 7 mg.Kg⁻¹ aos 60 e 100 dias de desenvolvimento, respectivamente).

Na análise de composição centesimal da polpa e sementes de romã, Jardini e Marcini Filho (2007), encontraram porcentagens de 64,09 e 38,30% para umidade; 0,24 e 14,06% para lipídeos; 1,12 e 2,81% para o teor de proteínas; 2,09 e 0,86% de resíduo mineral fixo e 32,3 e 43,97% de composição em carboidratos, respectivamente, ressaltando os valores elevados de carboidratos, tanto para a polpa quanto para as sementes e, também, que as sementes apresentaram valor considerável de lipídeos.

Conforme relatado por Farias (2018), a polpa de romã apresentou pH de 3,17, brix de 11,50 ° e um total de 16,87% de açúcares. Na análise de composição centesimal da farinha obtida da casca do fruto, o autor afirma que a farinha se apresenta como um produto de baixa umidade (10,56%), rico em minerais (3,83%), com baixo teor de gordura (2,93%) e de proteína (0,71%), sendo basicamente composto de carboidratos (81,98 %), sendo 7,73 % fibras.

3.3 Compostos bioativos

Os compostos com maior destaque de bioatividade são os compostos fenólicos, originados do metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o seu crescimento e reprodução. Eles são estruturas químicas que apresentam hidroxilas e anéis aromáticos nas formas simples ou de polímeros, que os confere o poder antioxidante. Quando presentes em

vegetais podem estar em formas livres ou complexadas a açúcares e proteínas. Dentre eles, destacam-se os flavonoides, os ácidos fenólicos, os taninos e os tocoferóis como os antioxidantes fenólicos mais comuns de fonte natural (ANGELO; JORGE, 2007).

Uma das características dessas substâncias é o potencial sequestrante de espécies reativas de oxigênio. Consequentemente, elas podem desempenhar um papel importante nos processos de inibição do risco das doenças cardiovasculares e crônico-degenerativas, como diabetes, câncer e processos inflamatórios. Esses compostos são responsáveis pelas características de aroma e sabor, sendo também considerados como índice de qualidade (RODRIGUES et al., 2018).

A romã (*Punica granatum* L.) tem altos níveis de compostos fenólicos e antioxidantes, principalmente em sua casca, quando comparada as partes comestíveis e outras frutas, indicando o uso potencial dessa matéria-prima pelas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. Em diversos estudos, têm sido demonstrando que a casca é uma excelente fonte desses biocompostos valiosos, como os ácidos fenólicos, flavonoides (antocianinas, catequinas e outros flavonoides complexos) e taninos hidrolisáveis (ácido elágico, pedunculagina, punicalina e punicalagina), todos com efeitos benéficos para a saúde (ZAGO et al., 2020; GULLÓN et al., 2020).

Morzelle (2016), em sua pesquisa, afirma que o extrato da casca de romã apresentou quantidade superior de compostos fenólicos totais ($21,25 \pm 0,16$ mg de ácido gálico. g^{-1}) em relação ao extrato da polpa ($1,04 \pm 0,01$ mg de ácido gálico. g^{-1}). O teor de flavonoides obtido também foi expressivamente maior no extrato da casca ($7,60 \pm 0,12$ mg de quercetina g^{-1}) em relação ao extrato da polpa ($0,12 \pm 0,02$ mg de quercetina g^{-1}). Para o autor, esses resultados corroboram com a literatura, em que os estudos relatam que as cascas de frutas apresentam maior quantidade de compostos fenólicos em relação às polpas.

Os taninos são componentes polifenólicos distribuídos em plantas, alimentos e bebidas. São solúveis em água e em solventes orgânicos polares, sendo capazes de precipitar proteínas. Tais compostos são responsáveis pela adstringência de muitos frutos e plantas em geral, através da complexação entre taninos e proteínas, que constitui a base de algumas de suas propriedades biológicas, como controle de insetos, fungos e bactérias. Na medicina tradicional os taninos são utilizados no tratamento de diversas moléstias, tais como diarreias, hipertensão arterial, reumatismo, hemorragias, feridas, queimaduras, problemas estomacais, e do sistema urinário, bem como em processos inflamatórios em geral. Na indústria alimentícia, são empregados como antioxidantes em sucos de frutas e bebidas e como clarificante de vinhos, também como

corantes têxteis na produção de borrachas e como coagulantes e floculantes no tratamento de água em barragens (PANSERA et al., 2003).

Os flavonoides, sem dúvida, são um importante grupo dentre os produtos naturais, que vem ganhando interesse especial devido apresentarem inúmeras propriedades farmacológicas, incluindo atividade antiviral, antitumoral, anti-inflamatória, antioxidante, atividade reguladora sobre hormônios, entre outras. Quimicamente, são substâncias formadas por quinze átomos de carbono, constituído por dois anéis benzênicos (anel A e B), ligados a um anel pirano de três carbonos (anel C). Estudos recentes, evidenciaram ser os flavonoides, antioxidantes de alta e baixa reatividade, devido à habilidade da molécula em sequestrar radicais livres e quelar de íons, promovendo ação antioxidante, pois impedem a formação de radicais livres, com o processo de oxidação (SANTOS; RODRIGUES, 2017; ALMEIDA; SANTOS, 2018; HENRIQUE; LOPES, 2017).

As antocianinas são pigmentos solúveis em água pertencentes ao grupo dos flavonoides, sendo responsáveis por uma grande variedade de cores nas frutas, que vão do vermelho-alaranjado ao roxo. A principal função na planta é a proteção contra os raios ultravioletas (UV) e prevenção da formação de radicais livres, desempenhando importante papel na adaptação fisiológica e fazendo parte dos mecanismos de defesa contra elementos de estresse biótico e ambiental (VIDAL; ARAUJO; BARBOSA JUNIOR, 2022; BARRAGÁN-CONDORI et al., 2021).

Por suas propriedades antioxidantes, as antocianinas têm a função de preservar a saúde humana, auxiliando na profilaxia de doenças cardiovasculares. Apresentam atividade antidiabética, constituindo-se num alimento funcional dietético, além disso, possuem efeito neuroprotetor, reduzindo a neuroinflamação e promovendo a sobrevivência das células nervosas, produzem atividades preventivas e/ou terapêuticas em uma ampla gama de distúrbios nervosos e, diminuem os níveis de espécies reativas de oxigênio (BARRAGÁN-CONDORI et al., 2021)

Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis de coloração que pode variar do amarelo ao vermelho, e amplamente distribuídos no reino vegetal, animal e em microrganismos. São moléculas de tetraterpeno com 40 átomos de carbono, formado por oito unidades de isoprenoides, ligados de forma linear tendo a simetria da molécula invertida no centro da estrutura. Existem dois grupos de carotenoides: as xantofilas, que contém oxigênio com funções químicas oxigenadas (luteína e zeaxantina) e os carotenos, compostos apenas por carbono e hidrogênio (α -caroteno, β -caroteno e o licopeno) (COSTA, 2018; CAMARGO, 2018).

Os efeitos benéficos dos carotenoides à saúde têm despertado o interesse da ciência em todo o mundo, pois além da função corante, algumas propriedades e ações biológicas lhes são atribuídas, sendo a função fisiológica de atividade provitamina A, a mais conhecida. São importantes para o sistema imunológico, além de apresentar atividade antioxidante e auxiliar na diminuição de riscos de doenças degenerativas e serem importantes na comunicação intercelular. São compostos versáteis, de ampla distribuição na natureza e podem ser empregados na indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos (CAMARGO, 2018).

3.3.1 Extração de compostos bioativos

A palavra extrato deriva do latim *extractum* e significa “o que é extraído de”. Para a extração de compostos bioativos presentes em alimentos e plantas, várias técnicas têm sido aplicadas através de diferentes processos, como a infusão, a decocção, a digestão, a maceração e a percolação, as quais envolvem o uso de solventes orgânicos, temperatura e agitação, classificadas como convencionais. Há ainda os chamados métodos não convencionais, tais como: a utilização de solventes não convencionais, extração por pressão negativa, extração supercrítica com CO₂, extração líquida pressurizada, extração com água subcrítica, extração assistida por ultrassom e extração por membranas filtrantes. Assim, dispõe-se de uma variedade de métodos para a extração de compostos ativos, devendo a escolha ser baseada na viabilidade econômica e adequação a cada situação em particular (PONTES et al., 2018; CARVALHO; BERGAMASCO; GOMES, 2018).

Dentre as diversas técnicas, a extração por solvente tem sido bastante difundida. Técnica aplicada em diferentes matrizes vegetais, que consiste na combinação do próprio solvente com a junção de outros fatores, como tempo e temperatura, facilitando a transferência de massa. Porém, com o aumento da temperatura, pode ocorrer riscos de degradação de compostos termolábeis e possíveis reações com o material, prejudicando, assim, os rendimentos da extração (BARBA et al, 2016). É fundamental levar em consideração a composição química do material, o tempo e temperatura de extração, tipo de solvente, entre outros fatores.

Albuquerque (2017), utilizou diferentes concentrações do solvente etanol (30, 50 e 70%), nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C e tempos de 30, 75 e 120 min, para extração de compostos bioativos da casca de cebola roxa. De acordo com os resultados, os teores de compostos fenólicos variaram de 1.917,0124 mg EAG (100g)⁻¹ a 8.369,2946 mg EAG (100g)⁻¹. Para a determinação de flavonoides, os valores obtidos estiveram entre 50,9134 mg.(100g)⁻¹ e 412,5326 mg (100g)⁻¹, enquanto para quantificação de antocianinas, os resultados variaram de 11,2016 mg (100g)⁻¹ a 44,8065 mg (100g)⁻¹. O extrato hidroalcolólico obtido nas condições

de 70% de etanol, na temperatura de 30 °C por 30 min apresentou valores mais elevados dos bioativos extraídos.

Veber et al. (2015), realizaram a caracterização de compostos fenólicos e capacidade antioxidante em folhas e frutos de Jambolão (*Syzygium cumini* L.) a partir de extratos aquosos e etanólicos (em concentrações de 25, 50, 75 e 95% v/v), verificaram que a extração hidroetanólica a 50% de etanol promoveu os maiores conteúdos de fenóis totais (221,03 mg EAG 100 g⁻¹), independente do material vegetal. A maior atividade antirradical livre encontrada dentre os extratos mais ricos em fenóis foi obtida com frutos verdes, IC₅₀ = 2,27 mg.mL⁻¹, obtido a partir da infusão a quente por 30 min. Nos extratos de folhas, a maior atividade antirradical livre encontrada foi IC₅₀ = 23,07 mg.mL⁻¹, proveniente do extrato hidroetanólico a 50% (v/v).

Cascas de romã da variedade Ganesh foram submetidas a extrações usando diferentes solventes: água, metanol e etanol sozinhos ou em combinação com água. Foram avaliados o rendimento de extração, a atividade antioxidante (inibição de DPPH e ABTS) e o conteúdo fenólico total. O rendimento mais alto foi obtido a partir de 50% etanol: 50% água (16,3 ± 1,99%). A atividade de inibição de DPPH e ABTS foi considerada a maior para metanol e etanol 70%: 30% água (79,5 ± 6,5 e 94,6 ± 6,10, respectivamente). O conteúdo fenólico foi maior no extrato aquoso (438,3 ± 14,15). A atividade antibacteriana dos extratos da casca foi testada contra quatro cepas bacterianas, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter aerogenes*, *Salmonella typhi* e *Klebsiella pneumoniae* e os extratos demonstraram notável atividade antibacteriana contra todas as cepas bacterianas testadas. Os extratos de etanol 70%: 30% água e 100% água apresentaram maior atividade antioxidante e teor fenólico e potencial para aplicação nutracêutica (MALVIYA et al., 2014).

Fawole, Makunga e Opara (2012), em seu estudo com diferentes cultivares de romã, verificaram que os extratos metanólicos da casca da fruta apresentaram forte atividade antioxidante; além de atividade antimicrobiana contra bactérias gram-positivas e gram-negativas (com concentrações mínimas inibitórias (CIM) variando de 0,2 a 0,78 mg/ml) e boa inibição da tirosinase, com inibições (>50%) contra as atividades de monofenolase e difenolase. Segundo Morzelle (2016), em sua pesquisa, o extrato da casca apresentou maior teor de compostos ativos e atividade antioxidante *in vitro* e *on-line* do que o extrato da polpa, e constatou que o extrato formulado com 80% de etanol se destacou pelo seu poder de inibição de acetilcolinesterase.

3.4 Atividade antioxidante

Os radicais livres do oxigênio, com seus elétrons não pareados, podem atacar e danificar, praticamente, qualquer molécula encontrada no organismo. Os antioxidantes são substâncias que têm a função de evitar e/ou diminuir a ação desses agentes. São compostos que protegem o sistema biológico contra o efeito nocivo de processos ou reações que podem causar oxidação excessiva, atrasando ou inibindo essa oxidação de maneira eficaz. O sistema de defesa antioxidante é formado por compostos enzimáticos e não-enzimáticos, presentes tanto no organismo (localizados dentro das células ou na circulação sanguínea) quanto nos alimentos ingeridos (RUFINO et al., 2007a; RUFINO et al., 2007b; RUFINO et al., 2006).

Devido à natureza dos compostos presentes na composição do material em estudo, aos diferentes tipos de radicais livres e às diferentes formas de atuação nos organismos vivos, vários métodos são utilizados para avaliar a atividade antioxidante de substâncias biologicamente ativas, os quais envolvem desde ensaios químicos com substratos lipídicos a ensaios mais complexos utilizando as mais diversas técnicas instrumentais (CASTRO et al., 2020).

A determinação da capacidade antioxidante de substâncias bioativas pode ser baseada na captura do radical peroxila (ORAC, TRAP), poder de redução do metal (FRAP; CUPRAC), captura do radical hidroxila (método de desoxirribose), captura do radical orgânico (ABTS, DPPH), e na quantificação de produtos formados durante a peroxidação de lipídios (TBARS, oxidação do LDL, co-oxidação do β -caroteno), entre outros (RUFINO et al., 2007b).

O método DPPH é baseado na captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorvância a 515 nm. Nesse processo, ocorre uma reação de oxirredução, em que o radical DPPH é reduzido para DPPH-H (DPPH reduzido e estável). O método se baseia no mecanismo de SET (do inglês *Single Electron Transfer*) ou de transferência de um elétron, processo que permite detectar a capacidade de um potencial antioxidante em transferir um elétron e reduzir qualquer substância, incluindo metais, carbonilas e radicais. O agente antioxidante age como doador de um átomo de hidrogênio quando adicionado à solução de DPPH, reduzindo o radical DPPH e formando a hidrazina, levando à mudança de coloração na solução, de violeta para amarelo claro (RUFINO et al., 2007b; PIRES et al., 2017).

O método ABTS baseia-se na captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico - ABTS), que pode ser gerado através de uma reação química (dióxido de manganês, persulfato de potássio ou ABAP (2,2 -azobis-(2-amidinopropeno) HCL), eletroquímica ou enzimática (peroxidase, mioglobulina). Tem sido amplamente utilizado, tanto

para materiais biológicos quanto em compostos puros ou extratos vegetais de natureza hidrofílica ou lipofílica (KUSKOSKI et al., 2004).

Os métodos ABTS e DPPH são os mais utilizados, e ambos têm excelente estabilidade em certas condições, embora também apresentem diferenças. O DPPH é um radical livre que pode ser obtido diretamente sem preparação prévia, enquanto o ABTS deve ser gerado após uma reação (química, enzimática ou eletroquímica). Com o ABTS, a atividade de compostos de natureza hidrofílica e lipofílica pode ser medida, enquanto o DPPH só pode ser dissolvido em meio orgânico. O radical ABTS tem a vantagem de seu espectro apresentar absorvância máxima em 414, 654, 754 e 815 nm em meio alcoólico, enquanto o DPPH apresenta pico de absorvância em 515 nm (KUSKOSKI et al., 2005).

3.5 Inibição da enzima acetilcolinesterase

A inibição de enzimas metabólicas chave em um processo patológico tem sido objeto de estudo em várias áreas da medicina, destacando-se os inibidores da acetilcolinesterase, que estão entre os principais fármacos para o tratamento da Doença de Alzheimer (DA), uma vez que a inibição desta enzima aumenta a disponibilidade de acetilcolina no cérebro, o que melhora a função cognitiva de muitos pacientes (SILVA et al., 2021).

A acetilcolina é um neurotransmissor do tipo amina de baixo peso molecular que não é um aminoácido, sendo sintetizada no corpo celular dos neurônios através da ação catalítica da enzima colina acetiltransferase, que transfere o grupo acetil da molécula acetil-coenzima A à colina, recaptada nos terminais axonais. Nas sinapses colinérgicas, amplamente distribuídas no sistema nervoso central (SNC) e periférico (SNP) e importantes para a manutenção de inúmeras funções fisiológicas humanas, a ACh atua transmitindo a mensagem de um neurônio a outro. Logo, os neurônios colinérgicos estão relacionados com importantes funções, dentre elas: o alerta, o controle motor, o aprendizado e a memória, e todas essas ações exercidas pela ACh são prejudicadas quando há deficiências na secreção desse neurotransmissor (MORZELLE, 2016; MOTA et al., 2012; ARAÚJO; SANTOS; GONSALVES, 2016).

A acetilcolinesterase (AChE) é uma enzima encontrada no cérebro e nas junções neuromusculares e age em células pós-sinápticas, realizando a hidrólise da acetilcolina (ACh) e encerrando a transmissão do impulso nervoso, processo importante para que não ocorra acúmulo de acetilcolina na fenda sináptica e uma consequente dessensibilização dos receptores colinérgicos, causando colapso no sistema nervoso, com perda do controle muscular, convulsão e falência respiratória (CÂMARA, 2022).

A AChE é ligada por pontes dissulfeto com três ramificações, fixada na membrana celular por colágeno. Cada quatro subunidades proteicas possuem uma unidade enzimática, capaz de hidrolisar a ACh, resultando em um total de 12 sítios ativos para cada enzima AChE, que necessita de resíduos de histidina e serina, que são aminoácidos importantes na hidrólise da acetilcolina (LEMES, 2018).

Os inibidores da acetilcolinesterase (IACHÉ) são denominados anticolinesterásicos, sendo utilizados terapeuticamente nos seguintes casos: reversão do bloqueio neuromuscular promovido por miorelaxantes adespolarizantes, no tratamento da miastenia gravis, atonia do músculo liso, no estrabismo e no tratamento dos sintomas da Doença de Alzheimer. Esses inibidores retardam a degradação da acetilcolina que permanecerá mais tempo presente nas sinapses entre neurônios colinérgicos, intensificando a transmissão colinérgica (ARAÚJO; SANTOS; GONSALVES, 2016).

3.6 Secagem

A secagem, uma das primeiras formas de conservação de alimentos utilizada pelo homem, tem a finalidade de eliminar o líquido volátil presente no material, possibilitando ao produto seco praticidade e facilidade de uso, além de maior estabilidade. As vantagens associadas ao processo também se encontram na possibilidade de um alimento nutritivo, facilidade no transporte e comercialização por proporcionar um alimento leve e compacto, além de baixo custo de armazenagem. Entretanto, é importante salientar que nos processos de secagem realizados com altas temperaturas podem-se ocorrer perdas nutricionais de vitaminas e proteínas, sendo fundamental a escolha do método ideal de secagem para se alcançar produtos com as características desejadas (RODRIGUES, 2017).

A escolha pelo método de secagem mais adequado depende da escala de produção, das propriedades e da aplicação do produto que necessita ser seco. A secagem permite não somente a remoção de água, minimizando o crescimento microbiano e deterioração por meio de reações químicas, mas também a redução de peso e do volume, tornando assim as embalagens de acondicionamento mais baratas e convenientes para o transporte e armazenamento (LOCHNECKEL et al., 2018).

3.6.1 Secagem em estufa e cinética de secagem

A secagem é o principal método de conservação utilizado para produtos agrícolas em todo o mundo, pois reduzem o teor de umidade dos alimentos e limitam as reações de deterioração. No entanto, para obter o produto final desejado e com a menor demanda

energética possível, é necessário estudar as características do produto e as condições de secagem. Nesse contexto, a cinética de secagem e a modelagem matemática são fundamentais, pois possibilitam a simulação e otimização do processo de secagem, assim como o dimensionamento e determinação da aplicação industrial do sistema de secagem (CARVALHO et al., 2022; GUIMARÃES et al., 2018).

A cinética de secagem procura determinar o comportamento do material que é seco, sendo representada pelas curvas de secagem e de taxa de secagem. O comportamento da curva de secagem de um sólido úmido mediante um fluxo de ar a uma determinada temperatura é sempre o mesmo, enquanto a curva da taxa de secagem é obtida derivando-se os dados de umidade em função do tempo de secagem. (MENEZES et al., 2013).

Estimar o comportamento de um produto durante a redução do teor de água é importante no desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos de secagem, uma vez que esse processo depende de vários fatores, como velocidade do ar quente, teor de umidade inicial e final, umidade relativa, temperatura, dimensões, formas e composição do produto, superfície externa, entre outros. Para lidar com essa complexidade utilizam-se modelos matemáticos que possam representar satisfatoriamente todos os fatores que influenciam a perda de água durante o período de secagem (OLIVEIRA et al. 2015; MOREIRA et al., 2018).

A simulação matemática e o conhecimento da fisiologia, química e variações físicas dos produtos agrícolas são úteis para o desenvolvimento e melhorias de secadores, além disso, a utilização de modelos matemáticos tem auxiliado no desenvolvimento, avaliação e otimização de novos sistemas de secagem. A simulação requer o uso de modelos precisos e que possam representar satisfatoriamente a perda de água durante o processo de secagem, descrevendo o comportamento e desempenho do produto em condições comuns usadas em instalações comerciais (CARVALHO et al., 2022; SMANIOTTO et al., 2017; CAGNIN et al., 2017).

Vários modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a secagem dos produtos, sendo eles: teóricos, semiempíricos e empíricos.

Os modelos teóricos consideram as condições externas e os mecanismos internos de transferência de energia e massa entre o ar de secagem e o produto, sendo o modelo da difusão o mais estudado, e tem como vantagem, além da descrição da cinética do processo, prever a distribuição de umidade em qualquer instante (ARAÚJO et al., 2017; CARVALHO, 2021).

Modelos semiempíricos normalmente são derivações da simplificação de soluções gerais em série da segunda lei de Fick ou modificações de modelos simplificados, sendo válidos dentro da faixa de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e umidade para os quais foram desenvolvidos. Esses modelos requerem menos tempo em comparação com os modelos

teóricos e não necessitam de pressupostos de geometria de um alimento característico (ARAÚJO et al., 2017; PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002).

Os modelos empíricos empregam como apoio os dados experimentais e análise adimensional e derivam de uma relação direta entre o teor médio de umidade e o tempo de secagem. Eles negligenciam os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não tem significado físico, assim, não podem fornecer uma visão clara e precisa dos processos importantes que ocorrem durante a secagem nas condições experimentais. (SILVA et al., 2014; PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002).

Embora várias teorias tenham sido propostas para prever o comportamento da secagem dos produtos, os modelos semiempíricos (Lewis, Page, Henderson e Pabis, Logarítmico, Dois Termos, Aproximação da difusão, entre outros) e empíricos (Wang e Singh, Thompson) têm se mostrado como melhores opções para descrição do processo de secagem, tendo sua validade restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos e, geralmente, baseando-se em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem. Porém, não fornecem indicações sobre os fenômenos de transporte de energia e de água no interior do produto estudado e consideram que todo o processo de secagem ocorre somente no período de taxa decrescente (RESENDE; FERREIRA; ALMEIDA, 2010; DEMIRAY; TULEK, 2012).

Segundo Guimarães et al. (2018), além da importância da modelagem matemática na descrição do comportamento de secagem de um determinado produto, as propriedades termodinâmicas nas etapas de secagem também são fontes de informações significativas para projetar secadores, calcular a energia necessária na etapa, estudar as propriedades da água adsorvida, avaliar a microestrutura dos alimentos e estudar os fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos alimentos.

3.6.2 Liofilização

A liofilização é considerada uma das melhores técnicas de secagem para produtos de alto valor nutricional e/ou de valor agregado, pois possibilita a preservação das suas propriedades organolépticas e nutricionais. O processo consiste no congelamento dos alimentos, seguido da desidratação que ocorre por meio do processo de sublimação. Devido à ausência de água líquida e às baixas temperaturas necessárias para a liofilização, a maior parte das reações que levam à deterioração do produto são retardadas, resultando em um produto final de qualidade. Contudo, seu uso requer alto custo operacional e longos tempos de secagem,

limitando o uso a produtos que necessitam de alto valor agregado (MOSQUERA-VIVAS; AYALA-APONTE; SERNA-COCK, 2019).

Almeida et al. (2020), avaliaram a composição físico-química e compostos bioativos da farinha da casca de jabuticaba obtida por secagem convectiva e liofilização e, ao comparar os resultados, os autores verificaram que a liofilização proporcionou maior preservação dos parâmetros analisados, entre eles: cinzas ($2,78 \pm 0,18$ e $3,41 \pm 0,23\%$); proteínas ($5,78 \pm 1,23$ e $6,67 \pm 0,87\%$); fibra bruta ($4,50 \pm 1,72$ e $4,93 \pm 0,69\%$); carboidratos ($70,96 \pm 0,93$ e $72,48 \pm 0,66\%$); sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) ($19,00 \pm 0,10$ e $27,89 \pm 0,02$); compostos fenólicos totais ($887,33 \pm 10,96$ e $1054,63$ mg GAE/100 g); flavonoides ($101,20 \pm 5,38$ e $123,67 \pm 3,49$ mg/100 g) e atividade antioxidante ($230,41 \pm 18,54$ e $287,98 \pm 9,44$ $\mu\text{mol Trolox/g}$), obtidos pela secagem convectiva e liofilização, respectivamente.

Shuen et al. (2021), determinaram e compararam as propriedades físico-químicas e compostos bioativos de pó de kuini (*Mangifera odorata* Griff.) seco por convecção, seco em estufa, a vácuo, *spray dryer* e liofilização. A secagem em estufa de convecção resultou em maior rendimento (46,97%), teor de umidade (4,91%), atividade de água (0,55) e índice de solubilidade em água (74,33%); o produto seco em forno de convecção apresentou a menor higroscopicidade e molhabilidade (18,66% e 12,04s, respectivamente). A secagem por *spray* resultou em baixa higroscopicidade (22,41%), grau de aglomeração (22,16%), molhabilidade (275s), índice de solubilidade em água (45,67%) e grande mudança de cor (59,81). A menor mudança total de cor (19,05) e o maior amarelecimento (57,31) foram observados na liofilização. Além disso, o produto liofilizado apresentou o maior teor de fenólicos totais (24,76 mg/100 g) e de carotenoides totais (1,61 mg/100 g). As propriedades físico-químicas e o conteúdo de antioxidantes do kuini liofilizado o tornam preferível em relação aos pós secos pelos demais métodos.

3.6.2.1 Adjuvantes de secagem

O processo de secagem de matérias-primas que apresentam grandes quantidades de sólidos e açúcares resulta em produtos com alta capacidade de absorver umidade, ou seja, higroscópicos, tornando fundamental a utilização de agentes carreadores de secagem, antes do processo de secagem em si. Alguns dos mais utilizados na elaboração de pós alimentícios, objetivando facilitar a desidratação, evitar perdas nutricionais, reações com outros agentes e interação com a umidade, são o amido, maltodextrina, celuloses, goma arábica, alginato de sódio, dióxido de silício coloidal, lipídios e proteínas. Esses agentes proporcionam uma barreira física de proteção contra o oxigênio, luz e umidade, evitando reações químicas e destruição

enzimática, além de facilitar o manuseio, e a retenção de compostos voláteis responsáveis por caracterizar o sabor e aroma (RODRIGUES, 2017).

Os adjuvantes de secagem são essenciais para auxiliar na remoção da umidade, melhorando a higroscopicidade em produtos desidratados, fluidez, solubilidade, mantendo compostos importantes por mais tempo. É uma técnica que visa proteger o material encapsulado de fatores que possam causar deterioração, proteger compostos sensíveis, como vitamina C e antioxidantes, além de aumentar a estabilidade do produto e melhorar a conservação oxidativa (RIBEIRO; COSTA; AFONSO, 2020; COSTA et al., 2020).

Para a escolha do melhor adjuvante de secagem, é importante levar em consideração a sua composição, pois essas características constituem suas propriedades funcionais e de como ele pode ser utilizado para melhorar o desempenho durante os processos de secagem, permitindo um controle eficaz de certas propriedades do produto (ALBUQUERQUE et al., 2021).

Silveira (2020), realizando a secagem por liofilização de extratos de frutos verdes de acerola utilizando os adjuvantes de secagem maltodextrina, goma arábica e pectina em diferentes proporções, verificou que a maltodextrina combinada com a goma arábica proporcionou maior retenção de compostos fenólicos, embora todas as formulações estudadas apresentaram alta solubilidade e capacidade antioxidante, indicando que, possivelmente, possam ser utilizadas como matéria-prima rica em compostos bioativos.

Lima (2019), ao estudar a liofilização de extratos do coproduto do pedúnculo do caju empregando maltodextrina, goma arábica e sua mistura (1:1 m/m) como agentes carreadores de secagem, constatou que a utilização destes possibilitou a proteção dos compostos fenólicos, apesar de ter observado uma diminuição nos extratos liofilizados em comparação ao extrato não liofilizado. Os resultados de atividade antioxidante (AA), mostraram que os maiores valores pelo método de FRAP foram das amostras liofilizadas com maltodextrina na formulação ($178,03 \pm 2,5$ e $168,12 \pm 3,7 \mu\text{M Fe}_2\text{SO}_4/\text{g}$ para maltodextrina e maltodextrina/goma arábica, respectivamente). O extrato não liofilizado apresentou o maior valor de AA ($229,9 \pm 1,4 \mu\text{M Fe}_2\text{SO}_4/\text{g}$).

3.6.2.1.1 Maltodextrina

A maltodextrina é um carboidrato complexo obtido pela hidrólise controlada do amido, pela ação de ácidos, enzimas ou pela combinação de ambos, com valores de dextrose equivalente (DE) menor que 20. A dextrose equivalente (DE) é a medida que caracteriza o grau de hidrólise da molécula de amido, sendo definida pelo conteúdo de açúcares redutores (AR)

expressos em percentual de glicose, em base seca. Conforme o grau de hidrólise da molécula de amido, os produtos obtidos são classificados como maltodextrinas (valor de DE menor que 20) ou xaropes (com DE igual ou maior que 20) (SILVA; DEMCZUK JUNIOR; VISENTAINER, 2014; SOTO et al., 2012).

Variações nos valores de dextrose equivalente (DE) resultam em maltodextrinas com diferentes propriedades físico-químicas, sendo importante considerar sua composição molecular, linearidade e ramificação. Propriedades, como a higroscopicidade, solubilidade, osmolaridade e a capacidade de reduzir o ponto de congelamento aumentam conforme a elevação da DE, enquanto a viscosidade, coesividade e a prevenção de formação de cristais aumentam com a diminuição da DE (LIMA, 2019; MOORE et al., 2005).

As principais fontes comerciais de amido para produção industrial de maltodextrinas são o milho, a batata e o arroz, podendo ser obtidas, também, de uma variedade de produtos amiláceos, como a mandioca, o trigo e o sorgo, que dependem da disponibilidade e do preço da matéria-prima produzida em cada país (SOTO et al., 2012). Elas podem se apresentar como um pó branco ou soluções concentradas (SILVA; DEMCZUK JUNIOR; VISENTAINER, 2014).

Em geral, as maltodextrinas possuem baixa densidade, não apresentam sabor adocicado e não possuem sabor de amido e, em virtude das suas propriedades, tem sido um dos adjuvantes mais empregados na indústria alimentícia com inúmeras finalidades, especialmente em pesquisas de prospecção de novos produtos derivados de frutas (LIMA, 2019; DUARTE, 2018).

De acordo com Maciel et al. (2020), a liofilização da polpa de cupuaçu com adição de maltodextrina (concentrações de 5, 15 e 25% (m/m)) resultou em um produto com baixa umidade e higroscopicidade, as propriedades de escoamento dos pós foram favorecidas, resultando na diminuição da resistência ao escoamento e no aumento de sua densidade.

Estudos sobre a adição e avaliação da influência da maltodextrina nas características físico-químicas do pó de arará-boi liofilizado foram reportados por Andrade et al. (2021) e concluíram que o aumento da concentração de maltodextrina proporcionou a manutenção nas quantidades de sólidos totais e do pH, o aumento no brilho das amostras, ou seja, maior luminosidade (L^*) e principalmente a diminuição nos teores de umidade e atividade de água, proporcionando uma melhor estabilidade do pó.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Condução do experimento

O experimento foi realizado em parceria com o Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos (LAFIQ) da Faculdade de Tecnologia FATEC-CENTEC Cariri, em Juazeiro do Norte – CE; Laboratório de Fontes Renováveis (LABFREN) e Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) pertencentes a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Campina Grande; e no Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) da Universidade Estadual do Ceará (UECE), Campus Fortaleza.

4.2 Aquisição e seleção dos frutos

Romãs da variedade “Mollar” foram adquiridas em uma propriedade privada no município de Campos Sales, estado do Ceará, nas primeiras horas da manhã, considerando-se frutos com uniformidade de cor e ausência de injúrias. Os frutos foram acondicionados em caixa plástica revestida internamente com jornal para evitar danos, e transportados para o Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos (LAFIQ) da Faculdade de Tecnologia CENTEC Cariri, em Juazeiro do Norte - CE.

No laboratório, os frutos selecionados na coleta foram novamente avaliados quanto à uniformidade de cor e ausência de defeitos, descartando-se os não satisfatórios. Em seguida, foram lavados em solução contendo 1% de detergente neutro, enxaguados em água corrente, imersos em solução de hipoclorito de sódio 20% por 15 min, seguido de enxague em água destilada e remoção do excesso de água com auxílio de papel toalha.

Após secagem dos frutos ao ar livre, as cascas foram separadas manualmente da polpa com o auxílio de faca de aço inoxidável para remoção dos arilos e cortadas em fatias retangulares com aproximadamente 5,0 x 1,5 x 0,4 cm utilizando-se paquímetro digital (marca Metrotools, modelo MDP 200).

4.3 Cinética de secagem das cascas de romã

Para a secagem, aproximadamente 30 g de cascas de romã em fatias, pesadas em balança semi-analítica (marca Quimis, modelo Q510-3200C) com precisão de duas casas decimais, foram colocadas em bandejas teladas de aço inoxidável (13,0 x 9,5 x 4,0 cm), uniformemente espalhadas formando monocamadas, buscando-se ocupar todo o espaço das bandejas, Figura 4.1.

Figura 4.1 – Disposição das fatias das cascas de romã nas bandejas teladas



Fonte: Autor (2022).

Antes de iniciar o processo de secagem, amostras das cascas de romã, em triplicatas, foram retiradas para a determinação do teor de umidade inicial pelo método padrão de secagem em estufa a 105 ± 2 °C/24 h, (IAL, 2008) para obtenção da massa seca.

As amostras, em triplicatas, foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar (marca Heraues Instruments, modelo T-6) nas temperaturas de 50, 60 e 70 ± 2 °C e velocidade do ar de 1,0 m/s. As temperaturas de secagem foram selecionadas com base nas faixas comumente usadas para produtos agrícolas. As cinéticas de secagem foram realizadas pesando-se as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, respectivamente, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Em seguida, foi determinado o teor de água das amostras em estufa a 105 ± 2 °C/24 h (IAL, 2008), sendo calculadas as razões de umidade (Equação 1) e traçadas as curvas da razão do teor de água em função do tempo de secagem.

$$RU = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RU - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto (b.s.);

X_0 - teor de água inicial do produto (b.s.);

X_e - teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

4.3.1 Modelagem matemática do processo de secagem

Os dados experimentais para a razão de umidade ao longo do tempo e para cada temperatura do ar de secagem foram preditos por dez modelos semiempíricos/empíricos e por um modelo de difusão. O ajuste dos modelos aos dados experimentais das curvas de secagem foi realizado por meio de análise de regressão não linear, através software OriginPro versão 8.0.

4.3.1.1 Modelos Semiempíricos/Empíricos

Aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de romã foram ajustados 10 modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas, conforme descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das cascas de romã.

Modelo	Equação
Dois termos	$RU = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$ (2)
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$ (3)
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$ (4)
Exponencial de dois termos	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$ (5)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-kt)$ (6)
Logarítmico	$RU = a \cdot \exp(-kt) + c$ (7)
Peleg	$RU = 1 - t/(a + bt)$ (8)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$ (9)
Lewis	$RU = \exp(-kt)$ (10)
Weibull	$RU = \exp(-t/\beta)$ (11)

RU - Razão do teor de água (adimensional); t - Tempo de secagem (min); k, k_1 , k_2 - Constantes de secagem h^{-1} ; a, b, c, n, β - Coeficientes dos modelos

Para avaliar a qualidade do ajuste e a precisão da estimativa dos modelos aos dados experimentais, foram usados como critérios a análise do coeficiente de determinação (R^2) e do erro médio relativo - MRE em % (Equação 12), sendo selecionado e considerado como ajuste satisfatório os modelos que apresentaram os maiores valores de R^2 e os menores valores de MRE.

$$MRE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X^{exp} - X^{cal}|}{X^{exp}} \quad (12)$$

Em que:

MRE - erro médio estimado;

X^{exp} - valores observados experimentalmente;

X^{cal} - valores calculados pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

4.3.1.2 Modelo de Difusão

A equação de difusão unidimensional para uma parede infinita pode ser escrita da seguinte forma (CRANK, 1975), conforme Equação 13.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ef} \frac{\partial Y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \quad (13)$$

Foi considerada uma distribuição de teor de água inicial, uniforme e sem a presença de qualquer resistência térmica. A difusividade efetiva ou coeficiente de difusão efetivo (D_{ef}) foi determinado ajustando-se o modelo matemático da difusão líquida (Lei de Fick) aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de romã nas diferentes temperaturas, conforme Equação 14 (ARAUJO et al. 2021), com a aproximação de 10 termos ($n=10$). Após atingir esse ponto crítico, não foi mais observada variação do valor de D_{ef} . Essa equação é uma solução analítica da segunda lei de Fick, considerando-se a forma geométrica das cascas de romã como aproximada a uma placa plana.

$$RU = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp \left[-\frac{(2n+1)^2}{4} \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right] \quad (14)$$

Em que:

RU - razão do teor de água do produto (adimensional);

n - número de termos;

D_{ef} - difusividade efetiva ($m^2 s^{-1}$);

L - espessura da camada (m);

t - tempo (s).

Utilizando a equação de Arrhenius (Equação 15), foi avaliada a relação do aumento do coeficiente de difusividade com a elevação da temperatura do ar de secagem (ARAUJO et al., 2021). Por meio da linearização da equação de Arrhenius com aplicação do logaritmo natural para as temperaturas e os respectivos coeficientes de difusividade efetiva, os coeficientes da expressão de Arrhenius foram obtidos, conforme Equação 16.

$$D_{ef} = D_0 \exp \left(\frac{E_a}{RT} \right) \quad (15)$$

$$\ln(D_{ef}) = \ln(D_0) - \left(\frac{E_a}{RT} \right) \quad (16)$$

Em que:

D_{ef} - difusividade efetiva ($m^2 s^{-1}$);

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

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

R - constante universal dos gases, $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$;

T - temperatura (K).

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem (entalpia, entropia e energia livre de Gibbs) foram calculadas a partir das Equações 17, 18 e 19, respectivamente (ARAÚJO et al., 2021).

$$\Delta H = E_a - RT \quad (17)$$

$$\Delta S = R \left(\ln D_0 - \ln \frac{k_b}{h_p} - \ln T \right) \quad (18)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (19)$$

Em que:

ΔH - variação de entalpia ($J mol^{-1}$);

ΔS - variação de entropia ($J mol^{-1} K^{-1}$);

ΔG - variação de energia livre de Gibbs ($J mol^{-1}$);

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

R - constante universal dos gases, $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$;

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

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

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

T - temperatura (K).

4.4 Obtenção da farinha das cascas de romã

Após a secagem, as cascas de romãs, obtidas em cada temperatura, foram trituradas em moinho de facas (marca Fritsch) de aço inoxidável e peneiras de 0,75 mm de diâmetro. As farinhas obtidas, denominadas de FCR50 (farinha obtida a partir da secagem a 50 °C), FCR60 (farinha obtida a partir da secagem a 60 °C) e FCR70 (farinha obtida a partir da secagem a 70 °C), foram pesadas e acondicionadas em embalagens laminadas até o momento das análises de composição físico-química e física.

4.4.1 Rendimento das farinhas

O rendimento das farinhas obtidas foi calculado utilizando a Equação 20, conforme apresentado por Ramos et al. (2020).

$$R (\%) = PF \times 100 / PC \quad (20)$$

Em que:

PF - Peso da farinha obtida;

PC - Peso inicial das cascas de romã

4.5 Caracterização físico-química das farinhas

As análises de composição química das farinhas foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-químicas de Alimentos (LAFIQ) da Faculdade de Tecnologia CENTEC Cariri.

As farinhas obtidas das cascas de romã foram submetidas às análises de: sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez titulável, teor de umidade, carboidrato total, proteínas, lipídeos, cinzas, cálcio, ferro, fósforo e vitamina C. As análises foram realizadas em triplicata com obtenção da média e desvio padrão. Todas as amostras foram pesadas em balança analítica (marca Shimadzu, modelo ATY224) com precisão de quatro casas decimais.

4.5.1 Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado pelo método de refratometria, utilizando refratômetro (marca KÜSS Optronic, modelo HRN 32) com escala em grau Brix (0 a 32) (IAL, 2008).

4.5.2 pH

O pH foi selecionado pelo método do potenciômetro, com leitura direta da amostra em pHmetro digital (marca Kasvi, modelo K39-1420A) de bancada previamente calibrado (IAL, 2008).

4.5.3 Acidez titulável

A acidez titulável foi mensurada pelo método de volumetria potenciométrica. A amostra foi titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH de 8,2, com leitura direta em pHmetro digital de bancada previamente calibrado. O resultado foi expresso em g de ácido cítrico/100g de amostra (IAL, 2008).

4.5.4 Teor de umidade

O teor de umidade foi realizado pela técnica de secagem direta em estufa (marca Heraeus Instruments, modelo T-6) a 105 ± 2 °C, por 24 h. O resultado foi expresso em g/100 g de amostra (IAL, 2008).

4.5.5 Carboidrato total

O conteúdo de carboidratos foi obtido por diferença, a partir da somatória dos percentuais de umidade, proteínas, lipídeos e cinzas e subtraído do valor 100, que corresponde ao valor integral da amostra. O resultado foi expresso em g/100 g de amostra (IAL, 2008).

4.5.6 Proteínas

O teor proteico baseia-se na quantificação de nitrogênio total realizado pelo processo de digestão em digestor de Kjeldah (marca Quimis, modelo Q328-26B), sendo o teor proteico calculado pela multiplicação do teor de nitrogênio pelo fator 6,25. O resultado foi expresso em g/100 g de amostra (IAL, 2008).

4.5.7 Lipídeos

O teor de lipídeos foi realizado pela técnica de extração com solvente em aparelho do tipo Soxhlet (marca Gerhardt). O resultado foi expresso em g/100 g de amostra (IAL, 2008).

4.5.8 Cinzas

As cinzas foram quantificadas pelo método de incineração em forno mufla (marca EDG Equipamentos, modelo F-1800) à temperatura de 550 °C. O resultado foi expresso em g/100 g de amostra (IAL, 2008). As cinzas obtidas foram utilizadas para preparação da solução clorídrica para determinação de minerais (itens 4.4.9 a 4.4.11).

4.5.9 Cálcio

O cálcio foi determinado pelo método de volumetria utilizando solução padrão de EDTA para titulação. O resultado foi expresso em mg/100g de amostra (IAL, 2008).

4.5.10 Ferro

O ferro foi quantificado utilizando a técnica de espectrofotometria (marca Quimis, modelo Q 898DPT) com leitura da amostra em comprimento de onda de 510 nm. O resultado foi expresso em mg/100g de amostra (AOAC, 2005).

4.5.11 Fósforo

O fósforo foi quantificado por meio da técnica de espectrofotometria (marca Quimis, modelo Q 898DPT) com leitura da amostra em comprimento de onda de 470 nm. O resultado foi expresso em mg/100g de amostra (AOAC, 2005).

4.5.12 Vitamina C

A quantificação da vitamina C foi realizada pelo método de iodometria, baseado na oxidação do ácido ascórbico pelo iodato de potássio (IAL, 2008).

4.6 Caracterização física das farinhas

As análises físicas das farinhas, com exceção da densidade real e porosidade, foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Carvalho et al. (2021). A densidade real foi determinada conforme metodologia de Dias (2015) e a porosidade, conforme descrito por Martins (2019).

4.6.1 Solubilidade

Foram pesadas 0,5 g de amostra em um Becker e adicionadas 50 mL de água destilada, seguida de agitação magnética a 1000 rpm por 5 min (em agitador magnético, marca IKA Labortechnik, modelo RCT basic). Em seguida a amostra foi centrifugada (centrífuga de marca Evlab, modelo macro EV: 04) a 2600 rpm por 5 min. Posteriormente, uma alíquota de 12,5 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada e submetida à secagem em estufa a 105 ± 2 °C até peso constante. A solubilidade foi calculada a partir da Equação 21.

$$S = \frac{[(Ms)*4]}{Ma} * 100 \quad (21)$$

Em que:

S - solubilidade;

Ms - massa dos sólidos dissolvidos no sobrenadante, g;

Ma - massa da amostra, g.

4.6.2 Densidade real

A densidade real foi determinada a partir da relação entre a massa e o volume da amostra, pelo deslocamento de um líquido (óleo de cozinha) em uma proveta. Foi adicionado

óleo em uma proveta e verificou-se o volume ocupado (V_1). Em seguida, foram adicionadas aproximadamente 3,0 g da amostra, esperando-se que a mesma se depositasse totalmente no fundo da proveta. Por fim, fez-se a leitura do novo volume indicado pelo nível do óleo deslocado (V_2). A diferença ($V_2 - V_1$) corresponde ao volume real do pó, sendo a densidade real determinada pela Equação 22.

$$P_r = \frac{m_s}{V_2 - V_1} \quad (22)$$

Em que:

ρ_r – densidade real, g mL⁻¹;

m_s – massa do sólido, g;

V_1 – volume inicial do óleo, mL;

V_2 – volume do óleo deslocado, mL.

4.6.3 Densidade aparente

Foram pesadas aproximadamente 5 g das farinhas em proveta graduada de 10 mL, sem compactação, para determinação do volume total ocupado pelo sólido. A densidade aparente foi calculada a partir da Equação 23.

$$P_a = \frac{m_s}{V_t} \quad (23)$$

Em que:

ρ_a – densidade aparente, g mL⁻¹;

m_s – massa do sólido, g;

V_t – volume total, mL.

4.6.4 Densidade compactada

A densidade compactada foi determinada a partir da densidade aparente, pegando-se a proveta com a amostra e submetendo-a ao batimento 50 vezes sobre a superfície de bancada a uma altura de 10 cm, aproximadamente. A densidade compactada foi calculada a partir da Equação 24.

$$P_c = \frac{m_s}{V_c} \quad (24)$$

Em que:

ρ_c – densidade compactada, g mL⁻¹;

m_s – massa do sólido, g;

V_c – volume do sólido após compactação, mL.

4.6.5 Porosidade

A porosidade das farinhas foi calculada utilizando a relação densidade aparente e a densidade real, subtraindo de 1, conforme Equação 25.

$$E = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) \times 100 \quad (25)$$

Em que:

ε – porosidade, %;

ρ_a – densidade aparente, g mL⁻¹;

ρ_r – densidade real, g mL⁻¹.

4.6.6 Índice de compressibilidade

O índice de compressibilidade foi determinado através da comparação da densidade aparente (ρ_a) e da densidade compactada (ρ_c), sendo calculado a partir da Equação 26.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (26)$$

Em que:

IC – índice de compressibilidade (%);

ρ_c – densidade compactada, g mL⁻¹ ρ_a – densidade aparente, g mL⁻¹.

4.6.7 Fator de Hausner

O fator de Hausner foi determinado a partir da densidade aparente (ρ_a) e da densidade compactada (ρ_c), podendo ser calculado a partir da Equação 27.

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (27)$$

Em que:

FH – fator de Hausner;

ρ_c – densidade compactada, g mL⁻¹;

ρ_a – densidade aparente, g mL⁻¹.

4.7 Teor de extrativos

O teor de extrativos foi determinado conforme método descrito por Fernandes (2013).

Amostras de 1 g das farinhas adicionadas de 100 mL de água ou etanol 70%, como solventes de extração, foram aquecidas à fervura em agitador magnético com aquecimento (marca IKA Labortechnik, modelo RCT basic), durante 10 min. Após resfriamento, o peso inicial foi reconstituído com o solvente adequado (água ou etanol 70%). As soluções obtidas foram filtradas desprezando-se os 20 mL iniciais. Alíquotas de 20 g do filtrado foram pesadas e colocadas em placas de Petri previamente pesadas e mantidas em estufa a 105 ± 2 °C até peso constante. O teor de extrativos foi calculado em porcentagem, conforme Equação 28.

$$TE\% = \frac{MRE - MRS}{MA} \times 100 \quad (28)$$

Em que:

MRS – massa do recipiente seco, g;

MRE – massa do recipiente com extrativos, g;

MA – massa da amostra, g.

4.8 Obtenção do extrato hidroalcoólico

A temperatura de 50 °C foi selecionada para secagem das cascas de romã para obtenção da farinha a ser utilizada na produção do extrato. Assim, uma nova secagem foi realizada para obtenção de uma quantidade maior de farinha (FCR50).

O extrato hidroalcoólico foi preparado no Laboratório de Química da Faculdade de Tecnologia CENTEC Cariri. Para a obtenção dos extratos, foi adotada metodologia descrita por Morzelle (2012), com adaptações, como a concentração do solvente de extração. Amostras da farinha das cascas de romã (FCR50) foram homogeneizadas em Erlenmeyer com solução hidroalcoólica na concentração de 70% de etanol e proporção 1:50 (1 g de farinha e 50 mL do solvente). A extração foi realizada sob agitação (em agitador magnético, marca IKA Labortechnik, modelo RCT basic) à temperatura ambiente (26 ± 2 °C) durante 24 h, ao abrigo da luz. Após a extração, a solução foi centrifugada (centrífuga marca Evlab, modelo macro EV: 04) a 3000 rpm por 10 min e o sobrenadante foi filtrado utilizando papel de filtro. O extrato

líquido bruto obtido foi armazenado em frasco pet âmbar revestido com papel alumínio e encaminhado em caixa isotérmica para a Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus Campina Grande, para liofilização e análise de bioativos.

4.9 Obtenção do extrato concentrado

A concentração do extrato foi realizada no Laboratório de Fontes Renováveis – LABFREN, da Universidade Federal de Campina, Campus Campina Grande.

Considerando que não se deve utilizar material alcoólico no liofilizador para obtenção do extrato seco liofilizado (CHAICOUSKI et al., 2014), o extrato líquido hidroalcoólico obtido foi concentrado em evaporador rotativo (marca IKA, modelo RV 05 basic) a uma temperatura de ± 50 °C, permanecendo até a evaporação completa do etanol.

4.9.1 Determinação do teor de sólidos totais

Foi determinado o teor de sólidos totais do extrato concentrado, usando a técnica de secagem direta em estufa a 105 °C até peso constante, sendo o valor resultado da diferença de 100% do teor de água. O resultado foi expresso em g/100 g de amostra (IAL, 2008).

4.10 Obtenção do extrato seco por liofilização

A liofilização do extrato foi realizada no Laboratório de Engenharia de Alimentos – LEA, da Universidade Federal de Campina, Campus Campina Grande.

Ao extrato concentrado obtido, conforme item 4.9, foram adicionadas as concentrações 35, 40 e 45% do adjuvante de secagem maltodextrina, definidas a partir do teor de sólidos totais do extrato concentrado, uma vez que este apresenta elevado teor de água. Em seguida, as três amostras obtidas e devidamente misturadas foram distribuídas em bandejas e congeladas em freezer a -25 ± 2 °C durante 48 h. Posteriormente, e antecedendo a liofilização, as amostras congeladas foram imergidas em nitrogênio líquido para garantir o congelamento e, em seguida, desidratadas em liofilizador (marca Martin Christ, modelo Alpha 1-2 *LDplus*) a uma temperatura de -50 ± 3 °C e pressão ± 5 mbar durante 48 h. As amostras liofilizadas foram maceradas, peneiradas em peneiras de 60 mesh para obtenção dos pós e posteriormente armazenados em embalagens laminadas, ao abrigo da luz e sob refrigeração (± 5 °C) até as análises adicionais. Os extratos liofilizados foram identificados como: ELM35 (extrato liofilizado com 35% de maltodextrina); ELM40 (extrato liofilizado com 40% de maltodextrina) e ELM45 (extrato liofilizado com 45% de maltodextrina).

4.11 Caracterização físico-química e física dos extratos liofilizados

Foram realizadas análises de teor de umidade, pH e acidez, conforme descrito no item 4.5; solubilidade, densidade aparente, densidade compactada, fator de Hausner e índice de compressibilidade conforme item 4.6, e sólidos totais de acordo com o item 4.9.1.

4.12 Quantificação de compostos bioativos dos extratos liofilizados

As análises foram realizadas no Laboratório de Fontes Renováveis – LABFREN, da Universidade Federal de Campina, Campus Campina Grande.

4.12.1 Determinação de compostos fenólicos totais

O conteúdo de compostos fenólicos foi determinado de acordo com o método de Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Waterhouse (2006). Aproximadamente 1,0 g de cada extrato foi adicionada de 50 mL de água, seguida de repouso por 30 min e filtração. Após, foram adicionados o ácido gálico e o reagente Folin-Ciocalteu. A mistura foi submetida à agitação e permaneceu em repouso por 5 min. Após o tempo de repouso, foram adicionados 250 µL de carbonato de sódio 20%, seguido de nova agitação e incubação em banho-maria a 40 °C por 30 min. A amostra foi resfriada e a leitura realizada em espectrofotômetro UV/vis (marca Agilent Technologies, modelo Cary 60) a 765 nm. Os fenólicos totais foram quantificados utilizando a equação da reta da curva padrão de ácido gálico e expressos como mg de ácido gálico (EAG) presente em 100 g de amostra.

4.12.2 Determinação de taninos totais

Para a determinação de taninos totais, foi utilizada metodologia descrita por Waterhouse (2006). Aproximadamente 1,0 g de cada extrato foi diluída em 50 mL de água, seguida de repouso por 30 min antes da filtração. Adicionou-se ácido tânico e o reagente Folin-Ciocalteu e após 5 min em repouso acrescentou-se 250 µL de carbonato de sódio a 20% seguido de agitação e incubação em banho-maria a 40 °C por 30 min. Após esse tempo, as absorbâncias foram lidas em espectrofotômetro UV/vis (marca Agilent Technologies, modelo Cary 60) a 725 nm. Os taninos totais foram quantificados utilizando a equação da reta da curva padrão de ácido tânico e expressos em mg de equivalente de ácido tânico por g de amostra.

4.12.3 Determinação de flavonoides e antocianinas

A quantificação de flavonoides e antocianinas foi realizada pelo método de Francis (1982). Aproximadamente 1,0 g de cada extrato foi pesada, adicionada de 10 mL da mistura de

etanol-HCl (85:15 v/v) e macerada durante 1 min e, em seguida, foi recolhida em tubo e armazenada em geladeira por 24 h. Posteriormente, a solução foi filtrada em algodão e completado o volume para 10 mL. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV/vis (marca Agilent Technologies, modelo Cary 60) a 374 nm para flavonoides e a 535 nm para antocianinas. Foram utilizadas as Equações 29 e 30 para os cálculos.

$$\text{Flavonoides (mg/100 g)} = \frac{Fd \times 374}{76,6} \quad (29)$$

$$\text{Antocianinas (mg/100 g)} = \frac{Fd \times 535}{98,2} \quad (30)$$

Em que:

$$Fd = 100/\text{massa}_{(g)}/\text{volume da diluição}_{(mL)}$$

4.12.4 Determinação de carotenoides totais

Os carotenoides totais foram determinados conforme metodologia descrita por Lichtenthaler (1987), através do método de extração com acetona 80%. Aproximadamente 200 mg foram de extratos foram adicionadas de 0,2 g de carbonato de cálcio, maceradas com solução de acetona 80% e, em seguida, centrifugadas a 3000 rpm por 10 min e o sobrenadante transferido para proveta para registro dos volumes. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis (marca Agilent Technologies, modelo Cary 60) nos comprimentos de onda de 470, 646 e 663 nm. Foram utilizadas as Equações 31, 32 e 33 para os cálculos.

$$\text{Clorofila a (mg/100g)} = [(12,21 * A_{663} - 2,81 * A_{646}) * V]/1000 * \text{massa} \quad (31)$$

$$\text{Clorofila b (mg/100g)} = [(20,13 * A_{646} - 5,03 * A_{663}) * V]/1000 * \text{massa} \quad (32)$$

$$\text{Carotenoides totais (mg/100g)} = [(1000 * A_{470} - 1,82 * Cl a - 85,02 * Cl b)/198] * 100/1000 \quad (33)$$

Em que:

A – absorbância no comprimento de onda indicado;

V – volume final (mL) do extrato (pigmentos + solução extratora).

4.13 Atividade antioxidante dos extratos liofilizados

As análises de atividade antioxidante dos extratos foram realizadas no Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

4.13.1 Atividade antioxidante pelo método ABTS.

A atividade antioxidante pelo método de Captura do Radical Livre ABTS foi realizada em placas de 96 poços de fundo chato utilizando leitor Elisa (marca BIOTEK, modelo ELX 800), software “Gen5 V2.04.11”, segundo metodologia descrita por Re et al. (1999). A solução ABTS + • (7 mM, 5 mL) foi misturada com 88 µL de persulfato de potássio (140 mM). A mistura foi agitada e mantida no escuro à temperatura ambiente durante 16 h. Em seguida, 1 ml desta solução foi adicionado a 99 mL de etanol. Em placas de 96 poços, foram utilizadas as seguintes soluções por poço: 300 µL de solução de ABTS e 3 µL da amostra de extrato dissolvida em metanol.

As diluições das amostras e dos padrões positivos utilizadas nas avaliações quantitativas em microplaca, partiram de solução mãe com concentração de 20 mg/mL foram: 200, 100, 50, 25, 12,5, 6,25, 3,12, 1,56, e 0,78 µg mL⁻¹.

A absorbância foi aferida a 630 nm até o total de 10 min de incubação. Como padrão negativo foram utilizadas todas as soluções, excetuando-se a amostra. Foram excluídos da análise os valores referentes às colorações naturais dos extratos. O padrão utilizado como controle positivo foi a quercetina.

Os resultados expressos como percentagem de inibição, foram calculados conforme a Equação 34:

$$PI\% = \frac{AC-AS}{AC} \times 100 \quad (34)$$

Em que:

AC – absorbância do controle ABTS no tempo 0;

AS – absorbância da amostra contendo ABTS no tempo 6 e 10 min.

Todas as amostras foram analisadas em triplicata. As amostras apresentaram coloração própria absorvida pelo espectro de onda de leitura, sendo assim, foram deduzidos os valores referentes à coloração. Após normalização dos dados foi realizado teste de curva de regressão não linear pelo programa estatístico GraphPad Prism versão 7.0.

4.13.2 Atividade antioxidante pelo método DPPH.

A atividade antioxidante pelo método de Captura do Radical Livre DPPH, foi realizada em placas de 96 poços de fundo chato utilizando leitor Elisa (marca BIOTEK, modelo ELX 800), software “Gen5 V2.04.11”, conforme metodologia de Becker et al. (2019). Em placas de 96 poços, foram utilizadas as seguintes soluções por poço: 180 µL de solução metanólica de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), 20 µL da amostra de extrato dissolvida no solvente de extração da amostra e diluída 10 vezes para obter concentração final de 0,2 mg mL⁻¹.

As diluições das amostras e dos padrões positivos utilizadas nas avaliações quantitativas em microplaca, partiram de solução mãe com concentração de 20 mg/mL, resultando nas seguintes concentrações: 200, 100, 50, 25, 12,5, 6,25, 3,12, 1,56, e 0,78 µg mL⁻¹.

A absorbância foi aferida a 490 nm até o total de 60 min de incubação. Como padrão negativo foram utilizadas todas as soluções, excetuando-se a amostra. Foram excluídos da análise os valores referentes às colorações naturais dos extratos. A porcentagem de inibição (PI%) foi calculada através da comparação das velocidades de reação das amostras em relação aos controles. O padrão utilizado como controle positivo foi a quercetina.

Os resultados expressos como porcentagem de inibição, foram calculados conforme a Equação 35.

$$PI\% = \frac{AC - AS}{AC} \times 100 \quad (35)$$

Em que:

AC – absorbância do controle DPPH no tempo 0;

AS – absorbância da amostra contendo DPPH no tempo 60 min

Todas as amostras foram analisadas em triplicata. As amostras apresentaram coloração própria absorvida pelo espectro de onda de leitura. Como resultado, foram deduzidos os valores referentes à coloração. Após a normalização dos dados, foi realizado teste de curva de regressão não linear pelo programa estatístico GraphPad Prism versão 7.0.

4.14 Atividade inibitória da enzima acetilcolinesterase (AChE).

A análise do potencial anticolinesterásico dos extratos foi realizada no Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

A atividade inibitória da enzima acetilcolinesterase (AChE), foi realizada em placas de 96 poços de fundo chato utilizando leitor Elisa (marca BIOTEK, modelo ELX 800), software “Gen5 V2.04.11”, seguindo metodologia descrita por Ellman et al. (1961). Em placas de 96 poços, foram utilizadas as seguintes soluções por poço: 25 μL de iodeto de acetiltiocolina (15 mM), 125 μL de 5,5'-ditiobis-[2-nitrobenzóico] na solução Tris/HCL (50nM, pH=8, com 0,1 M de NaCl e 0,02 M de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. (3 mM, DTNB ou reagente de Ellman), 50 μL da solução Tris/HCL (50 nM, pH=8, com 0,1% de albumina sérica bovina (BSA)), 25 μL da amostra de extrato dissolvida no solvente de extração da amostra e diluída 10 vezes na solução Tris/HCL (50 mM, pH=8) para obter uma concentração final de 0,2 mg mL^{-1} .

A absorbância foi aferida a 405 nm durante 30 s. Em seguida, foram adicionados 25 μL da enzima acetilcolinesterase (0,25 $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$) e a absorbância foi aferida por minuto até o total de 25 min de incubação da enzima. Como padrão negativo foram utilizadas todas as soluções, excetuando-se a amostra.

As diluições das amostras e dos padrões positivos utilizadas nas avaliações quantitativas em microplaca, partiram de solução mãe com concentração de 20 mg mL^{-1} foram: 200, 100, 50, 25, 12,5, 6,25, 3,12, 1,56 e 0,78 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

Foram excluídos da análise os valores referentes às colorações naturais dos extratos. A porcentagem de inibição da acetilcolinesterase foi calculada através da comparação das velocidades de reação (hidrólise do substrato) das amostras em relação ao branco (considerada atividade total da AChE, 100%). O padrão utilizado como controle positivo foi a fisostigmina (eserina).

Todas as amostras foram analisadas em triplicata. As amostras apresentaram coloração própria absorvida pelo espectro de onda de leitura, sendo assim, foram deduzidos os valores referentes à coloração. Após normalização dos dados foi realizado teste de curva de regressão não linear pelo programa estatístico GraphPad Prism versão 7.0.

4.15 Análise estatística dos dados

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, teste de comparação de média e desvio padrão de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$), utilizando o programa Statistica® 7.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Cinética de secagem das cascas de romã

O teor de umidade inicial das cascas de romã foi de $65,06\% \pm 0,01$. Marchi (2014) obteve $65,35\%$ de umidade na casca de romã in natura.

O teor de umidade final foi obtido após a secagem realizada para a descrição da cinética, obtendo-se médias de $5,69\% \pm 0,04$; $4,95\% \pm 0,09$ e $3,28\% \pm 0,28$ para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente (Figura 5.1).

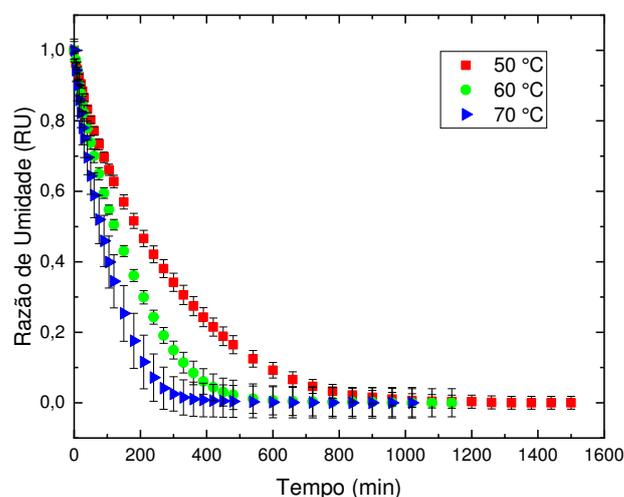
Figura 5.1 – Romã in natura (A); Cascas de romã em fatias antes (B) e depois da secagem (C).



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 5.2 são apresentados os dados experimentais referentes às curvas de secagem para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, na forma de razão de umidade (RU) em função do tempo (min) para as cascas de romã.

Figura 5.2 – Curvas de secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C



A secagem das cascas de romã foi procedida durante 1320 min na temperatura de 50 °C, 1020 min na temperatura de 60 °C e 840 min na temperatura de 70 °C. Observa-se uma redução do tempo do processo de secagem com o aumento temperatura, evidenciando uma dependência do tempo de secagem em relação à temperatura. Para Riguetto et al. (2020), trata-se de um comportamento esperado, uma vez que quando aplicadas temperaturas mais elevadas o tempo de secagem é menor, pois ocorre um aumento da taxa de secagem tendo em vista o maior gradiente de temperatura entre o ar e o produto, resultando em curvas mais acentuadas devido à maior transferência de calor do ar para o material.

As curvas de secagem apresentaram comportamento semelhante para as diferentes temperaturas, sendo um processo uniforme e contínuo. As curvas evidenciam que a maior perda de água acontece no início do processo de secagem, em decorrência da maior quantidade de água livre na superfície do produto para ser removida.

Santos et al. (2020), ao estudarem os parâmetros cinéticos de secagem da casca de abacaxi, verificaram que, quando houve aumento na temperatura de secagem, menores foram os tempos para que as cascas atingissem o equilíbrio, correspondendo a 570, 510 e 390 min para as respectivas temperaturas de 45, 55 e 65 °C, respectivamente. Marsiglia et al. (2021), também obtiveram menores tempos quando do aumento da temperatura de secagem para cascas de jaboticaba, correspondendo a 1310, 1190 e 1010 min para as temperaturas de 45, 50 e 55 °C, respectivamente.

5.1.1 Modelos Semiempíricos/Empíricos

Na tabela 5.1 são apresentados os valores obtidos para cada parâmetro a partir do ajuste dos dez modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de romã para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 5.1 – Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos aos dados de secagem das cascas de romã.

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros			
		a	b	k ₁	k ₂
Dois Termos	50	3,317E-01	6,625E-01	3,972E-03	0,004
	60	1,947E-01	8,335E-01	7,133E-03	0,007
	70	1,918E-01	8,820E-01	1,189E-02	0,011
Midilli	50	9,035E-01	-0,006	-1,255E-02	7,428E-01
	60	8,097E-01	-0,010	-4,283E-02	6,109E-01
	70	8,263E-01	-0,019	-5,180E-02	6,867E-01

Aproximação da Difusão		a	b	k
	50	1,469E+00	-0,71	0,0031
	60	2,028E+00	-0,83	0,0053
	70	-1,372E+00	-0,73	0,0194
Exponencial de Dois Termos		a	k	
	50	9,80E-01	0,0040	
	60	1,06E+00	0,0070	
	70	1,14E+00	0,0112	
Henderson e Pabis		a	k	
	50	0,994	0,004	
	60	1,031	0,007	
	70	1,072	0,009	
Logarítmico		a	c	k
	50	9,152E-01	0,067	0,0037
	60	9,714E-01	0,054	0,0069
	70	1,048E+00	0,024	0,0111
Peleg		a	b	
	50	90,131	0,443	
	60	35,159	0,480	
	70	8,448	0,479	
Page		k	n	
	50	9,873E-04	1,22	
	60	1,223E-03	1,30	
	70	3,558E-03	1,21	
Lewis		k		
	50	3,972E-03		
	60	6,759E-03		
	70	1,104E-02		
Weibull		β		
	50	251,795		
	60	145,787		
	70	87,789		

a, b, c, n, β C - coeficientes dos modelos; k, k_1 , k_2 - constantes de secagem h^{-1}

Os valores encontrados para o parâmetro “a” mostram uma tendência definida em resposta à elevação da temperatura de secagem para os modelos de Dois Termos e Peleg, em que houve diminuição do valor quando a temperatura foi aumentada. Por outro lado, para os modelos de Henderson e Pabis, Logarítmico e Exponencial de Dois Termos, observou-se um aumento desse parâmetro com a elevação da temperatura. Para os modelos de Midilli e Aproximação da difusão, esse parâmetro não apresentou comportamento definido com o aumento da temperatura. Na cinética de secagem das cascas de abacaxi, realizada por Leite et al. (2017), o parâmetro “a” dos modelos estudados aumentou com a elevação da temperatura. Esse parâmetro não apresentou comportamento definido com o incremento da temperatura para

o modelo de Midilli e Kucuk na secagem de jambo vermelho nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente (RIGUETO et al., 2020).

Em relação ao parâmetro “b”, é possível observar que, para o modelo de Dois Termos ocorreu aumento de seus valores com a elevação da temperatura de secagem. No entanto, para o modelo de Midilli, foi verificado comportamento inverso, havendo diminuição de “b”, enquanto que, para o modelo de Aproximação da Difusão e Peleg, esse parâmetro não exibiu comportamento definido em relação ao aumento da temperatura. Na secagem das cascas de toranja a 60, 70, 80 e 90 °C realizada por Santos et al. (2020), o parâmetro “b” não exibiu comportamento definido em resposta à elevação da temperatura para os modelos em estudo.

Os parâmetros “a” e “b” são constantes de proporcionalidade entre a taxa de secagem e a taxa de umidade (LEITE et al., 2022), e segundo Goneli et al. (2014), as variações de valores desses parâmetros se devem mais a ajustes matemáticos do que ao fato de estarem relacionados a algum fenômeno de secagem.

No que se refere aos valores da constante “k”, que representa a constante da taxa de secagem, com exceção do modelo de Midilli em que houve diminuição de seus valores, para os demais modelos em estudo, esse parâmetro aumentou com a elevação da temperatura de secagem. Comportamento semelhante foi observado por Cavalcante et al. (2020) que, ao ajustar os modelos matemáticos aos dados de secagem dos grãos de algaroba nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, verificou aumento do parâmetro “k” à medida em que a temperatura foi elevada. No entanto, para a secagem das cascas de toranja nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C, a constante de secagem “k” não apresentou comportamento definido com aumento da temperatura (SANTOS et al., 2020).

De acordo com Leite et al. (2017), o parâmetro “k” tende a aumentar com o aquecimento, visto que, de maneira geral, maiores temperaturas levam a maiores taxas de secagem, chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de exposição do produto ao ar de secagem. No processo de secagem, ocorrem dois mecanismos de transporte simultaneamente, envolvendo a transferência de calor do meio de secagem para o produto e transporte de água do interior do sólido para sua superfície de difusão, na forma de líquido ou vapor, e, eventualmente, para o ar através da evaporação. Assim o aumento da constante “k”, é diretamente proporcional ao aumento da temperatura de secagem (ARAUJO, 2019).

O parâmetro “n” dos modelos de Midilli e Page não apresentou tendência definida com o aumento da temperatura, sendo observado comportamentos específicos para cada temperatura de secagem, como também foi verificado por Santos et al. (2017), em que “n” não apresentou comportamento definido em relação ao aumento da temperatura. Porém, na secagem das cascas

de abacaxi nas temperaturas de 75 e 85 °C houve aumento de seus valores com o aumento da temperatura de secagem (LEITE et al., 2017). Esse parâmetro está relacionado com a resistência interna do produto ao processo de secagem e possui um efeito de moderação do tempo, corrigindo os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água (PEREZ et al. 2013; SANTOS et al., 2017).

O parâmetro “c” do modelo de Logarítmico apresentou tendência definida, sendo observado redução em seus valores à medida em que a temperatura foi aumentada. Na secagem de grãos de quinoa em temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, esse parâmetro teve seus valores aumentados com a elevação da temperatura (MOSCON et al., 2017).

Os valores para o parâmetro “ β ” do modelo de Weibull demonstraram comportamento definido com o aumento da temperatura, em que houve uma diminuição significativa com a elevação da temperatura de secagem. Durante a secagem de fatias de maçã nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, esse parâmetro não apresentou relação direta com o acréscimo da temperatura. Por outro lado, na secagem de fatias de abobrinha, “ β ” aumentou à medida em que a temperatura foi elevada (ZAPATA et al., 2019). Segundo os autores, esse parâmetro está relacionado com a velocidade de transferência de massa durante as fases iniciais do processo de secagem.

Na tabela 5.2 são apresentados os valores de coeficiente de determinação (R^2) e erros médios relativos (MRE %) dos dez modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de romã para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 5.2 – Coeficientes de determinação (R^2) e erros médios relativos (MRE %) dos dez modelos matemáticos ajustados aos dados da secagem das cascas de romã.

Modelo	Temp. (°C)	R^2	MRE (%)
Dois Termos	50	0,997	5,640
	60	0,994	6,789
	70	0,992	8,637
Midilli	50	0,996	3,943
	60	0,991	4,847
	70	0,991	4,919
Aproximação da Difusão	50	0,999	3,226
	60	0,997	5,386
	70	0,997	4,902
Exponencial de Dois Termos	50	0,997	5,640
	60	0,994	7,093
	70	0,993	8,678

Henderson e Pabis	50	0,997	5,609
	60	0,994	6,762
	70	0,991	8,184
Logarítmico	50	0,999	3,888
	60	0,995	6,476
	70	0,992	7,958
Peleg	50	0,993	11,963
	60	0,965	21,407
	70	0,834	34,432
Page	50	0,997	4,483
	60	0,997	4,440
	70	0,998	4,881
Lewis	50	0,997	5,625
	60	0,995	7,105
	70	0,993	8,771
Weibull	50	0,997	5,625
	60	0,995	7,030
	70	0,991	8,639

A seleção do melhor modelo que prediz a cinética de secagem das cascas de romã foi realizada considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do erro médio relativo (MRE %). Para que um modelo seja considerado adequado para a descrição do fenômeno de secagem, quanto menor o valor de MRE melhor é o ajuste do modelo às condições de secagem do produto, enquanto um valor maior de R^2 melhor é a representação do modelo para o fenômeno estudado. Um modelo com um MRE abaixo de 10% é considerado de boa precisão para a descrição do processo e um modelo com um MRE entre 10 e 15% é considerado aceitável, enquanto que, quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , mais elucidativo é o modelo e melhor ele se ajustará aos dados experimentais. (VILLA-VÉLEZ et al., 2015; SOUSA et al., 2021).

Analisando os resultados da Tabela 5.2, à exceção do modelo de Peleg, todos os modelos matemáticos apresentaram ótimos ajustes aos dados experimentais e descrevem perfeitamente o comportamento de secagem para a faixa de temperatura em estudo, uma vez que apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,99 ($R^2 > 0,99$) e erro médio relativo menor que 10%, podendo ser utilizados na predição da cinética de secagem das cascas de romã.

Observa-se que todos os modelos apresentam R^2 variando de 0,996 a 0,999 e MRE de 3,226 a 5,640 para a menor temperatura de secagem, 50 °C. Os menores valores de MRE, para

as três temperaturas em estudo são observados nos modelos de Midilli (variando de 3,943 a 4,919) e Page (4,440 a 4,881). Os valores desse parâmetro (MRE) indicam desvio dos valores observados, em relação à curva estimada pelo modelo (GONELI et al., 2014). Os maiores valores de R^2 para as três temperaturas de secagem são observados nos modelos de Dois termos, Aproximação da Difusão, Exponencial de Dois Termos, Page, Logarítmico e Lewis. No entanto, é importante observar que, para modelos não lineares, esse parâmetro individualmente não pode ser tomado como critério principal para tomada de decisão, sendo necessária a análise conjunta de outros parâmetros estatísticos (SOUSA et al., 2021), como o MRE realizado neste estudo.

O ajuste do modelo de Peleg aos dados experimentais, foi considerado aceitável somente na menor temperatura de estudo (50 °C), com R^2 de 0,993 e MRE de 11,963. Na temperatura de 60 °C, o modelo apresentou um R^2 considerado satisfatório (0,965); porém, o MRE foi elevado (21,407), não sendo considerado adequado para a descrição do fenômeno de secagem nessa temperatura. Já na temperatura de 70 °C, os parâmetros estatísticos do modelo são insatisfatórios para representar a secagem.

A partir da análise dos parâmetros R^2 e MRE, utilizados como requisito de escolha do melhor modelo representativo da cinética de secagem das cascas de romã, obteve-se os modelos de Page e Aproximação da Difusão, com maiores valores de R^2 e menores valores de MRE para as três temperaturas de secagem.

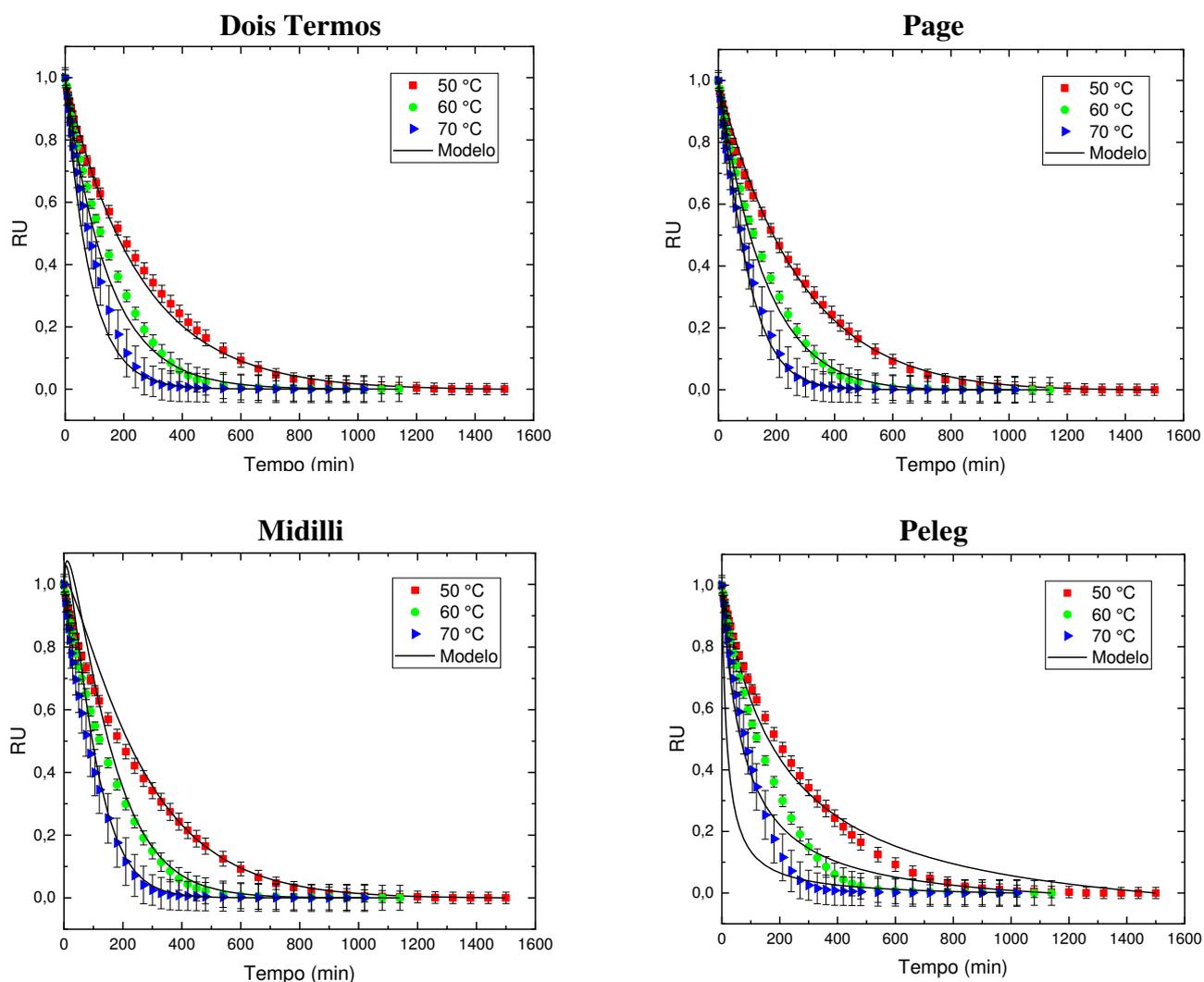
Na modelagem matemática da cinética de secagem das cascas de kimo (*Cucumis metuliferus*), Barros et al. (2020), também identificaram que dentre os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais, os modelos de Page e Aproximação da Difusão apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais ($R^2 > 0,999$ e DQM $< 0,091$). Leite et al. (2017) ao desidratarem casca de abacaxi a 75 e 85 °C, observaram que, entre os modelos estudados, Page, Aproximação da Difusão e Midilli mostraram os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,998$) e os menores desvios quadráticos médios (DQM $< 0,02$) em todas as temperaturas, podendo ser utilizados para a descrição dos dados experimentais. O modelo de Page foi selecionado para representar as curvas de cinética de secagem, considerando-se além dos parâmetros estatísticos, a distribuição aleatória dos resíduos nas temperaturas estudadas.

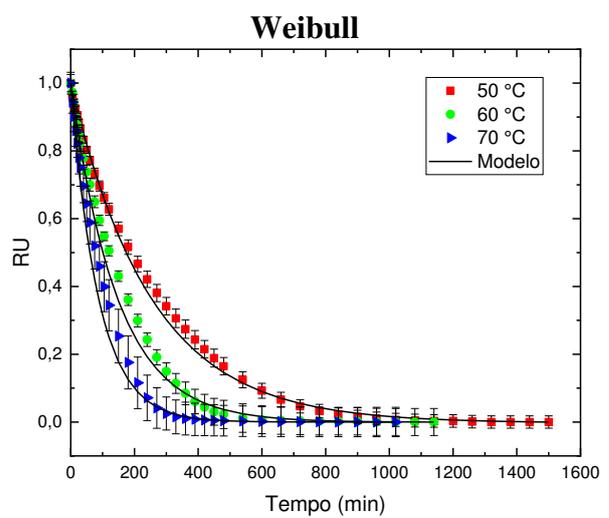
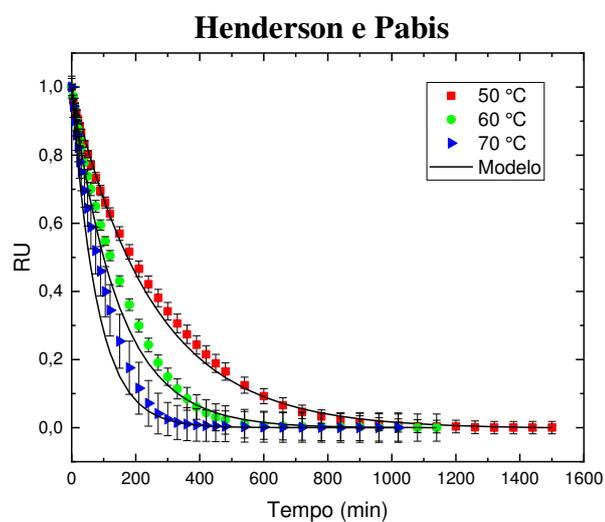
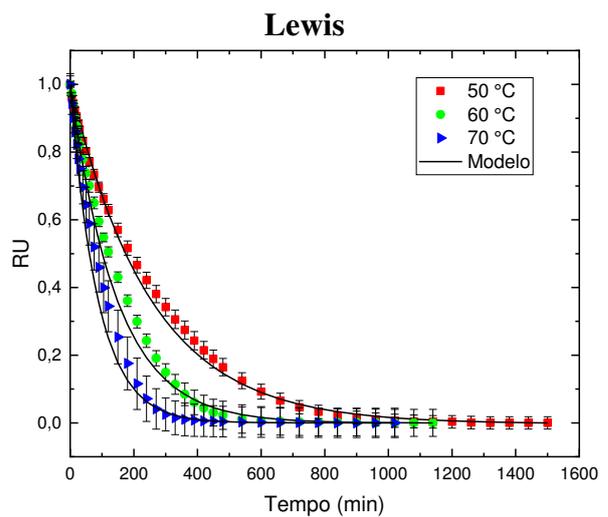
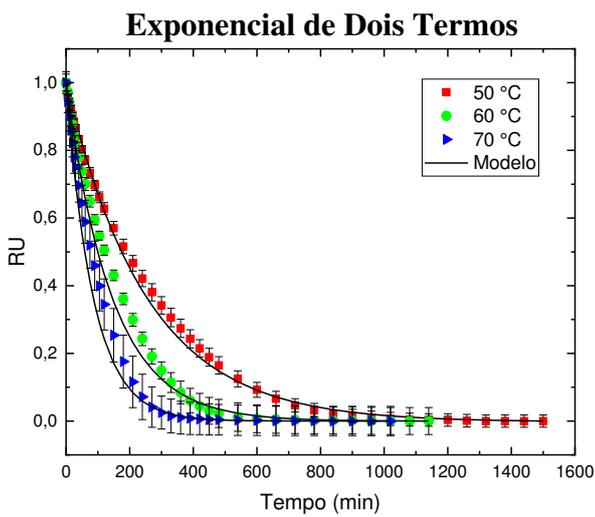
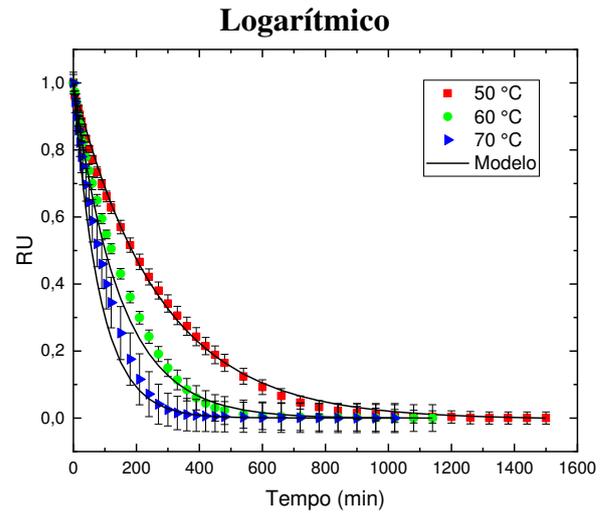
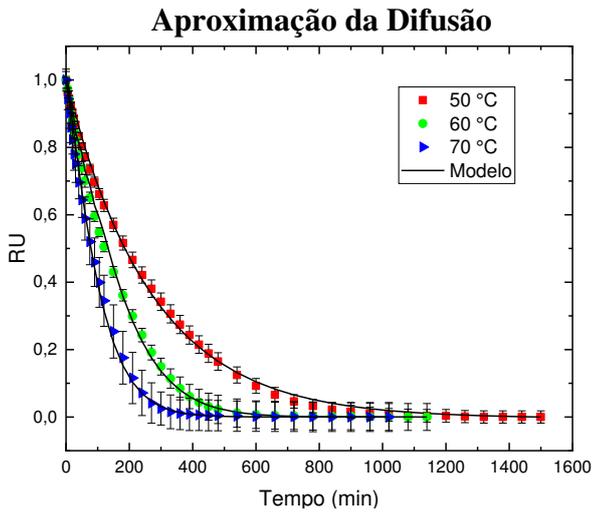
Moreira et al. (2018), ao estudarem a cinética de secagem de kiwi em fatias com diferentes espessuras, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, encontraram o modelo de Page (R^2 variando de 0,9981 a 0,9999), como representativo para a descrição do processo de secagem. Por outro lado, Moscon et al. (2017), ao estudarem a modelagem matemática do processo de secagem de grãos de quinoa, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, verificaram

que todos os modelos ajustados aos dados experimentais apresentaram valores de coeficientes de determinação (R^2) igual ou superior a 0,98 e, para o MRE (identificado como P no trabalho dos autores) os modelos de Page, Midilli e Logarítmico apresentaram valores inferiores a 0,1 (10%). O modelo selecionado pelos autores foi o de Page, tendo por base, além dos coeficientes estatísticos favoráveis, a facilidade de uso e simplicidade do mesmo.

Na Figura 5.3 são apresentadas as curvas de secagem para cada modelo matemático ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Figura 5.3 – Valores experimentais e estimados da razão de teor de água em função do tempo para a secagem das cascas de romã, de acordo com os modelos propostos



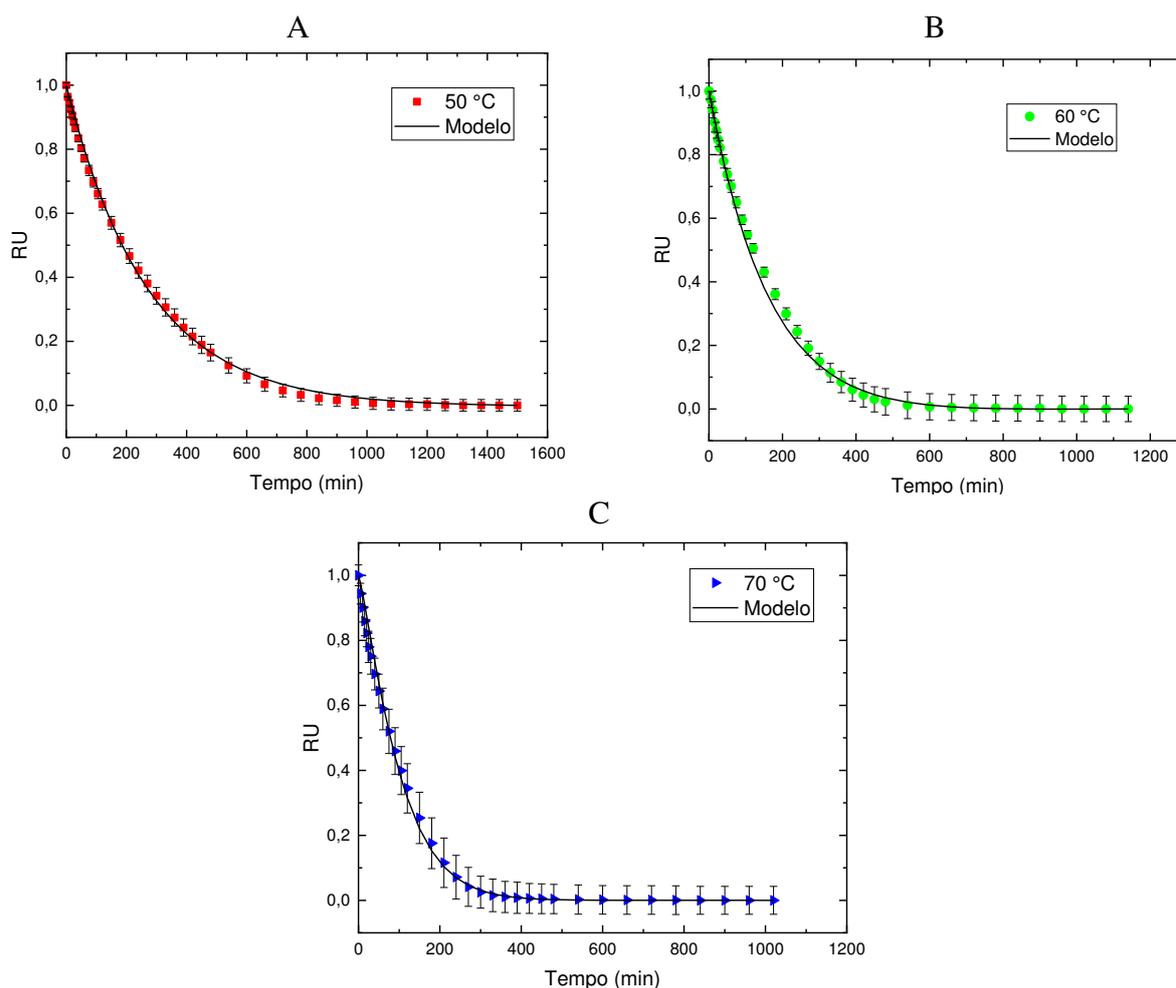


Em cada figura (Figura 5.3), a curva contínua representa o comportamento esperado com base nos valores estimados pelos modelos estudados. A curva vermelha representa os dados experimentais na temperatura de 50 °C, a curva verde exibe os dados experimentais na secagem a 60 °C, a curva azul representa os dados experimentais da secagem a 70°C e a barra

preta indica o desvio padrão obtido para os dados experimentais em cada temperatura. Observa-se um aumento da inclinação das curvas de secagem com a elevação da temperatura.

Neste estudo, vários modelos representam de forma eficiente as curvas de secagem das cascas de romã, porém, o modelo de Page, Figura 5.4, foi selecionado para descrever o comportamento de secagem para as três temperaturas estudadas por apresentar, além de excelentes valores de R^2 e MRE, o menor número de termos e simplicidade de ajuste.

Figura 5.4 – Valores experimentais e estimados pelo modelo de Page nas temperaturas de 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C).



Para o estudo de Sousa et al. (2021), o modelo de Page apresentou o melhor ajuste às curvas de secagem dos dados experimentais, sendo indicado para representar o fenômeno de secagem dos resíduos de jaca a 40, 50 e 60 °C. Leite et al. (2022), estudando a cinética de secagem de sementes de melancia africana a temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, obtiveram os melhores ajustes às curvas de secagem para os modelos de Dois Termos e Aproximação da Difusão, afirmando que, os modelos apresentaram excelente descrição da cinética de secagem.

No estudo da secagem de sementes de romã (sementes com polpa) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, Santos et al. (2017), afirmaram que o de Page foi selecionado como o mais adequado para prever o fenômeno estudado.

5.1.2 Modelo de Difusão

Para um modelo de difusão, a maioria dos fatores que influenciam o processo de secagem são englobados pelo coeficiente de transferência convectiva de massa (superfície externa), h , e pela difusividade efetiva de massa (meio interno), D (MOREIRA et al., 2018)

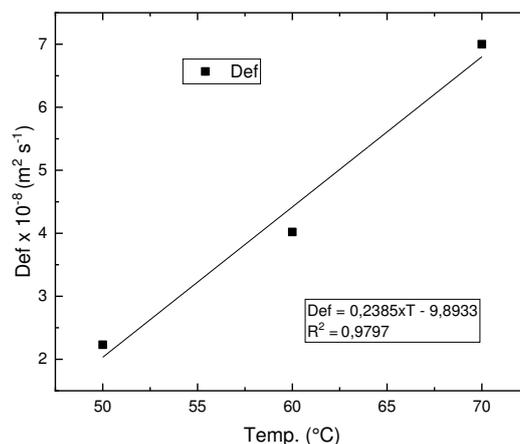
Na Tabela 5.3 são apresentados os valores de coeficiente de difusividade efetiva (Def), coeficiente de determinação (R^2) e erro médio relativo (MRE %) ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de romã para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C a partir do modelo de Difusão.

Tabela 5.3 – Coeficiente de difusividade efetiva (Def), coeficiente de determinação (R^2) e erro médio relativo (MRE %) obtidos na descrição da secagem das cascas de romã usando o modelo de Difusão.

Temp. (°C)	Def ($m^2 s^{-1}$)	R^2	MRE (%)	Ln (D)	1/T (K^{-1})
50	$2,23 \times 10^{-8}$	0,995	11,541	-17,6167	$3,0945 \times 10^3$
60	$4,02 \times 10^{-8}$	0,989	13,248	-17,0283	$3,0016 \times 10^3$
70	$7,00 \times 10^{-8}$	0,981	14,091	-16,4748	$2,9141 \times 10^3$

A partir da Tabela 5.3, observa-se o aumento da difusividade efetiva com a elevação da temperatura de secagem, apresentando magnitudes de $2,23 \times 10^{-8}$, $4,02 \times 10^{-8}$ e $7,00 \times 10^{-8}$ para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Com o aumento da temperatura ocorre redução da viscosidade da água, que é uma medida de resistência, facilitando sua remoção, além de acarretar em maior taxa de remoção de água do produto. Segundo Alves et al. (2019), a difusividade indica a velocidade com que a água é transferida do interior para a superfície do produto. A representação gráfica dos coeficientes de difusão efetivo para as três temperaturas de secagem das cascas de romã, é apresentada na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Valores de coeficientes de difusão efetivo – Def ($m^2 s^{-1}$) obtidos a partir da cinética de secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C



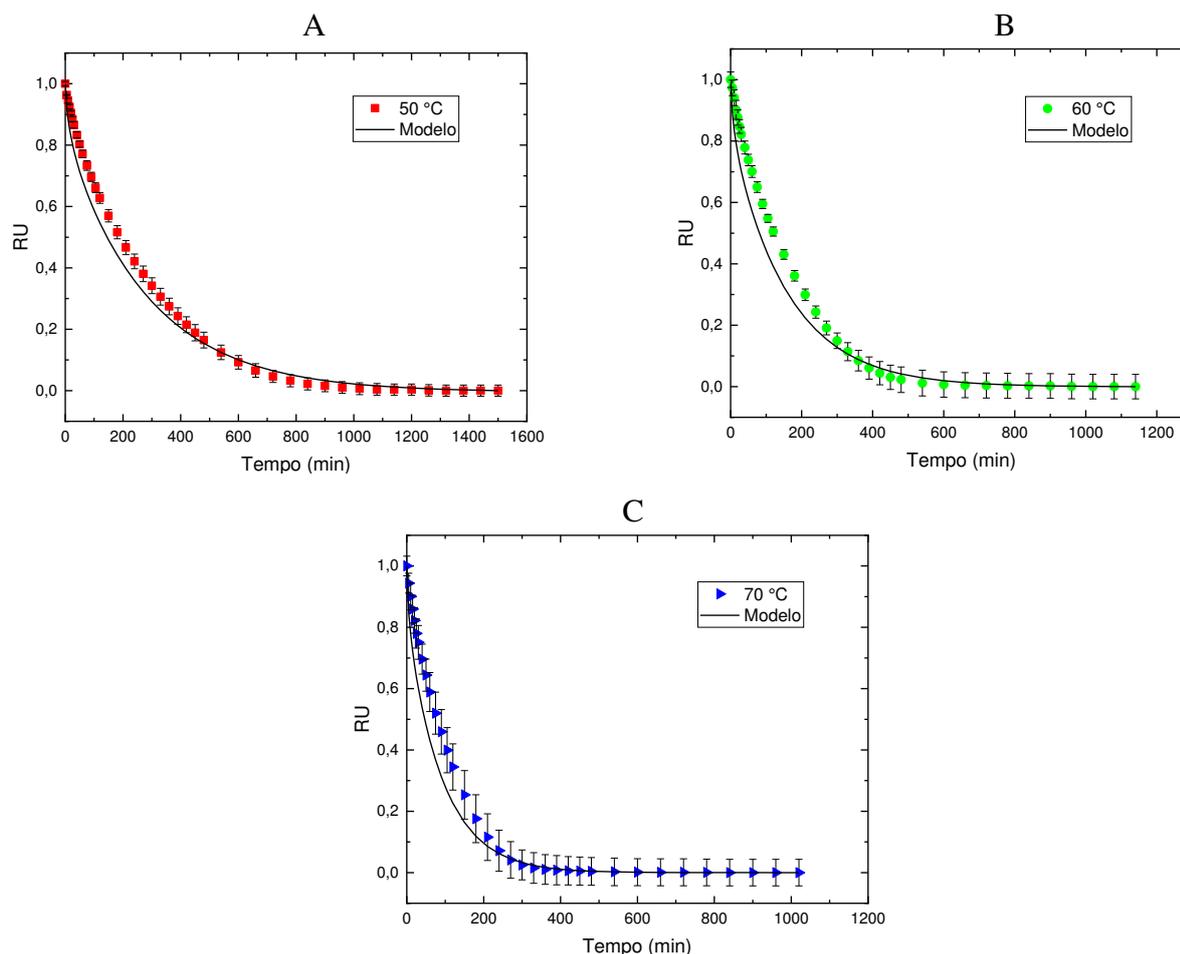
Observa-se um comportamento linear crescente em que os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram com a elevação da temperatura de secagem, e que o modelo linear representa satisfatoriamente os dados experimentais com um coeficiente de determinação R^2 de 0,9797.

Durante a secagem de polpa de noni com umbu nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, os valores do coeficiente de difusão efetiva (Def) aumentaram em resposta à elevação da temperatura do ar de secagem, apresentando valores entre $2,98 \times 10^{-9}$ e $8,91 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, fato esperado por Araújo et al. (2021), pois, segundo os autores, com o incremento da temperatura, a viscosidade da água diminui e esta propriedade influi diretamente na resistência do fluido ao escoamento. Santos et al. (2020) estudando a cinética de secagem das cascas de abacaxi, encontraram valores de difusividade variando de $2,17$ a $5,46 \times 10^{-8} \text{ (m}^2 \text{ min}^{-1}\text{)}$ quando a temperatura de secagem variou de 45 a 65 °C.

Foram obtidos valores de R^2 variando de 0,981, 0,989 e 0,995 e MRE de 11,541, 13,248 e 14,091, de acordo com a Tabela 5.3. Pode-se afirmar um ajuste satisfatório do modelo de Difusão aos dados experimentais da secagem, levando-se em consideração que um modelo com MRE entre 10 e 15% é considerado aceitável (VILLA-VÉLEZ et al., 2015). Verifica-se ainda que o melhor ajuste ocorreu para a temperatura de 50 °C, conforme parâmetros da Tabela 5.3 e Figura 5.5.

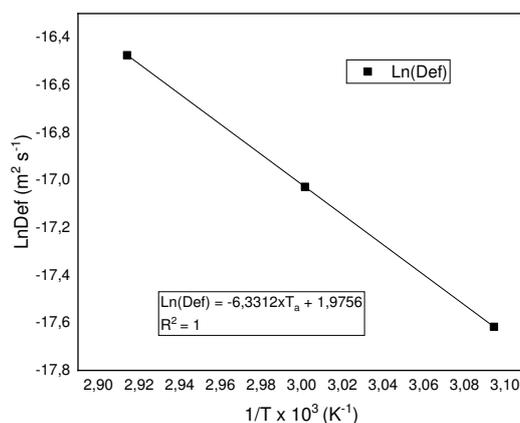
As curvas de secagem para o modelo de Difusão ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C estão apresentadas na Figura 5.6.

Figura 5.6 – Valores experimentais e estimados pelo modelo de Difusão para a secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50 °C (A), 60 °C (B) e 70 °C (C).



A Figura 5.7 representa a equação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo representado na forma de $\ln \text{Def}$ em função do inverso da temperatura absoluta ($1/T \text{ K}^{-1}$) para a secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Figura 5.7 – Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura de secagem das cascas de romã.



Observando a Tabela 5.3 e a Figura 5.7, verifica-se que os coeficientes de difusão efetivos aumentaram linearmente, concordando com os resultados relatados por Araujo et al.

(2017) e Zapata et al. (2019), e sua dependência com a temperatura de secagem pode ser perfeitamente descrita pela equação de Arrhenius, com valores apresentando comportamento linear e um R^2 igual a 1. A linearidade decrescente evidencia a uniformidade de variação da taxa de secagem dentro da faixa de temperatura estudada (SANTOS et al., 2019).

A inclinação da curva da representação de Arrhenius gerada a partir dos valores de $\ln(D_{ef})$ em função do inverso da temperatura absoluta ($1/K-1$) fornece a relação E_a/R , enquanto a sua interseção com o eixo das ordenadas indica o valor de D_0 (ARAUJO et al., 2017). Na Equação 36 estão apresentados os coeficientes da expressão de Arrhenius ajustada para o coeficiente de difusão efetivo das cascas de romã, representando a difusividade em função da temperatura.

$$D_{ef} = 7,21 \exp\left(\frac{52.637,60}{RT}\right) \quad (36)$$

Conforme a Equação 36, a energia de ativação (E_a) encontrada para a secagem das cascas de romã foi de 52,637 kJ mol⁻¹. De acordo com Zogzas et al. (1996), a energia de ativação para os produtos agrícolas deve estar entre 12,7 a 110 kJ mol⁻¹, logo, o valor encontrado encontra-se dentro dessa faixa. O valor da energia de ativação obtido nesse estudo foi ligeiramente superior ao reportado por Albuquerque Júnior (2022) na secagem do resíduo de acerola (47,7382 kJ.mol⁻¹). Para o autor, a diferença entre os valores de energia de ativação para a mesma faixa de temperatura estudada pode ser devida à estrutura do produto, composição química e especificações do equipamento de secagem.

A energia de ativação é a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração no interior do produto, estando relacionada com a quantidade de energia necessária para desencadear o processo de difusão da água, sendo que quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto no processo de secagem, ou seja, menor será a energia necessária para transformar água livre de líquidos em vapor (MARTINS et al., 2015; LEITE et al., 2022).

A energia de ativação de secagem (E_a) está intimamente associada aos componentes dos produtos, estruturas de tecidos e área de superfície, a variedade, estado de maturação dos mesmos e os pré-tratamentos das amostras, e indica a sensibilidade do coeficiente de difusão efetivo à temperatura de secagem, sendo um apontador útil na avaliação do consumo total de energia no processo de secagem (DENG et al., 2017; SANTOS et al., 2019).

A partir da aplicação do modelo de difusão foi possível determinar as principais propriedades termodinâmicas envolvidas no processo de secagem, como a entalpia, entropia e energia livre de Gibbs.

A Tabela 5.4 apresenta as propriedades termodinâmicas, variação de entalpia (ΔH), variação de entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) do processo de secagem das cascas de romã nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 5.4 – Propriedades termodinâmicas obtidas na secagem das cascas de romã

Temp. (°C)	ΔH (J mol ⁻¹)	ΔS (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG (J mol ⁻¹)
50	49950,93	-27,56	58857,64
60	49867,79	-27,59	59060,28
70	49784,65	-27,62	59263,21
R ²	1	0,99	1

Os valores de entalpia (ΔH), apresentados na Tabela 5.4, sofreram redução com o aumento da temperatura de secagem, ficando entre 49.950,93 e 49.784,65 J mol⁻¹, indicando que uma menor quantidade de energia é necessária para que secagem ocorra em temperaturas mais elevadas. Os valores positivos indicam a ocorrência de reação endotérmica, isto é, houve necessidade de fornecer energia na forma de calor para que o processo de secagem ocorresse (COSTA et al., 2016).

Comportamento semelhante foi relatado por Albuquerque Júnior (2022) que verificou a diminuição dos valores de entalpia com o aumento da temperatura de secagem de resíduos de acerola, estando entre 45050 e 44850 J mol⁻¹ para temperaturas de 50 a 70 °C. Na secagem de frutos de amendoim, Araujo et al. (2017) encontraram valores variando de 32,6411, a 32,3917 kJ mol⁻¹ de entalpia para temperaturas de 40 a 70 °C.

Analisando a variação da entropia (ΔS), observa-se comportamento semelhante à entalpia, em que houve diminuição de seus valores com o aumento da temperatura, ficando compreendida entre -27,56, e -27,62 J mol⁻¹ para as temperaturas de estudo. Santos et al. (2019) encontraram valores de ΔS variando de -374,01 e -374,72 para a secagem de fatias de acuri nas temperaturas de 60 a 90 °C. Valores negativos de entropia, como obtidos neste estudo, podem ser atribuídos a modificações estruturais do produto e/ou existência de alterações química durante o processo de secagem (LEITE et al., 2022).

A entropia é uma grandeza termodinâmica associada ao grau de desordem de um sistema, na qual os valores aumentam no processo natural em um sistema isolado. Com a elevação da temperatura aumenta o grau de excitação das moléculas, resultando num aumento da desordem do sistema (SILVA et al., 2017). Para Corrêa et al. (2011), a diminuição nos valores de entropia pode ser explicada pelo fato de que, no processo de desidratação de um produto o teor de água diminui e, assim, o movimento das moléculas de água no produto fica mais restrito, pois há menos sítios disponíveis. De acordo com Silva et al. (2016), menores valores de entropia para as temperaturas mais altas indicam que, nesta condição, há menor excitação das moléculas de água, ou seja, há um maior grau de ordem entre moléculas de água e as do produto em estudo.

Os valores da energia livre de Gibbs (ΔG), aumentaram em resposta à elevação da temperatura de secagem, com valores entre 58.857,64 e 59.263,21 J mol⁻¹ para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, indicando um processo não espontâneo, em que é necessário fornecer energia para que possa ocorrer a redução do teor de água. Aumentos de ΔG foram relatados para outros produtos, como: quiabo (SANTOS et al., 2021), grãos de lentilha (MANGUEIRA et al., 2021) e resíduos de acerola (ALBUQUERQUE JUNIOR, 2022).

A energia livre de Gibbs é uma função termodinâmica responsável por quantificar a máxima energia liberada em um processo sendo que, em condições de temperatura e pressão constantes, essa energia pode servir de indicativo quanto ao trabalho útil realizado e o seu valor positivo pode ser atribuído a adição de energia que envolve o produto para a ocorrência da mudança de fase (SANTOS et al., 2021). É um parâmetro que está relacionado à atividade do sistema no processo de adsorção ou dessorção, fornecendo uma melhor visão sobre quais forças termodinâmicas de acionamento influenciam as reações (ALBUQUERQUE JUNIOR, 2022).

5.2 Rendimento das farinhas

Os rendimentos obtidos para as farinhas das cascas de romã após a secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C encontram-se na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Rendimentos das farinhas das cascas de romã (FCR)

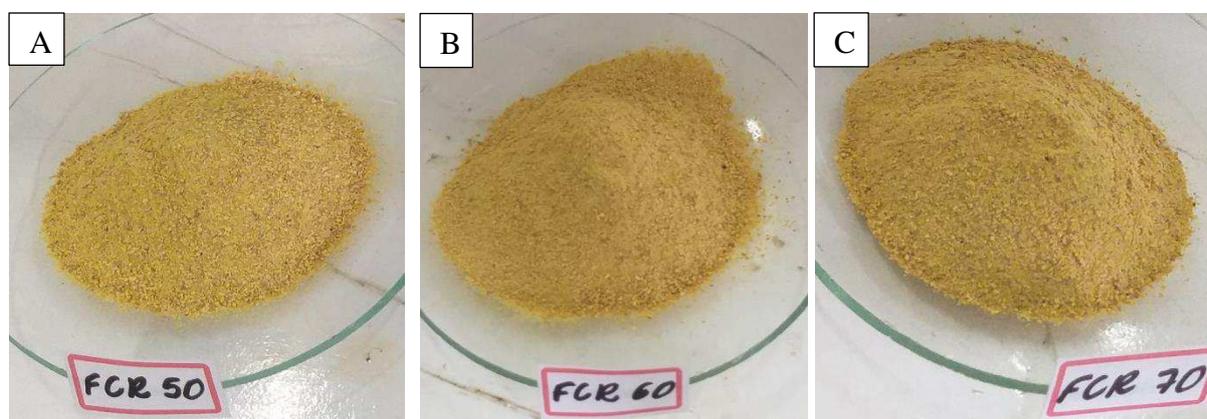
Farinhas	Rendimentos (%)
FCR50	16,52
FCR60	16,68
FCR70	16,98

FCR50, FCR60, FCR70 – Farinhas das cascas de romã secas a 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Os rendimentos das farinhas foram semelhantes, 16,52, 16,68 e 16,98% para as temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Embora com diferença mínima, observa-se que o maior rendimento foi obtido para a farinha a partir da secagem das cascas na temperatura de 70 °C, sendo possível afirmar que, quanto mais seca e quebradiça, melhor será o processo de trituração e peneiramento, resultando em aumento do volume final.

O rendimento obtido por Reinoso et al. (2017) para farinhas das cascas de manga secas a 60 e 70 °C, foi de 16,68 e 17,09%, respectivamente. Ramos et al. (2020) obtiveram farinhas com rendimentos de 4,7 e 18,3% para entrecasca de melancia e casca de abacaxi na secagem a 65 °C/26 h, e rendimentos de 9,8, 20,8, 25 e 52,2% para farinhas obtidas das cascas de banana, laranja, manga e amêndoa de manga na temperatura de 65 °C/12 h.

Figura 5.8 – Amostras das farinhas obtidas após secagem a 50 °C (A - FCR50), 60 °C (B - FCR60) e 70 °C (C - FCR70).



Fonte: Autor (2022).

5.3 Caracterização físico-química das farinhas

A Tabela 5.6 mostra os resultados da caracterização físico-química das farinhas das cascas de romã a partir da secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 5.6 – Composição físico-química das farinhas das cascas de romã, FCR50, FCR60 e FCR70.

Variáveis	Amostras		
	FCR50	FCR60	FCR70
Sólidos solúveis totais (SST)	5,73 ± 0,12 b	5,93 ± 0,12 ab	6,13 ± 0,12 a
pH	4,13 ± 0,01 a	3,96 ± 0,00 b	3,95 ± 0,01 b
Acidez (g de ác. cítrico/100 g)	6,15 ± 0,01 c	6,78 ± 0,03 b	7,09 ± 0,02 a

Teor de umidade (g/100 g)	9,37 ± 0,14 a	7,94 ± 0,12 b	6,25 ± 0,13 c
Carboidrato total (g/100 g)	82,12 ± 0,25 b	82,32 ± 0,10 b	82,93 ± 0,11 a
Proteínas (g/100 g)	2,70 ± 0,13 c	3,23 ± 0,06 b	3,54 ± 0,06 a
Lipídeos (g/100 g)	1,88 ± 0,02 c	2,49 ± 0,07 b	3,09 ± 0,09 a
Cinzas (g/100 g)	3,93 ± 0,02 c	4,02 ± 0,02 b	4,19 ± 0,02 a
Ferro (mg/100g)	6,45 ± 0,30 b	6,67 ± 0,33 ab	7,06 ± 0,09 a
Cálcio (mg/100g)	3,52 ± 0,02 a	3,55 ± 0,01 a	3,58 ± 0,04 a
Fósforo (mg/100g)	8,35 ± 0,20 b	8,80 ± 0,46 ab	9,34 ± 0,04 a
Vitamina C (mg/100g)	127,97 ± 2,44 b	133,52 ± 1,33 a	122,95 ± 0,90 c

FCR50, FCR60, FCR70 – Farinhas das cascas de romã secas a 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Médias seguidas do desvio padrão. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey em $p < 0,05$.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 5.6, observa-se que, à exceção da vitamina C, que apresentou variação em seus percentuais, houve redução nos valores de pH e aumento nos percentuais de sólidos solúveis totais, acidez, carboidrato total, proteínas, lipídeos, cinzas e minerais à medida em que o teor de umidade foi reduzido com o aumento da temperatura de secagem. Este incremento está associado à diminuição do teor de água, levando a uma maior concentração dos parâmetros analisados. No caso do pH, a redução também é devida ao aumento na concentração dos ácidos. Riguetto et al. (2020) observaram aumentos nos parâmetros de cinzas (0,46, 2,88, 2,95 e 3,01%) e acidez (6,2, 10,09, 11,20 e 12,10%) e redução nos valores de pH (3,52, 3,50, 3,49 e 3,47%) na análise de jambo vermelho in natura e seco a temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

O percentual de sólidos solúveis é uma medida indireta do teor de açúcares, uma vez que aumenta à medida em que estes se acumulam na fruta. Esse aumento está associado ao processo de amadurecimento dos frutos devido a degradação dos polissacarídeos, sendo um bom indicador do estágio de maturação e sabor das frutas (OLIVEIRA et al., 2021). É possível observar que o teor de sólidos solúveis apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as farinhas obtidas nas diferentes temperaturas de secagem. O maior valor foi igual a 6,13 °Brix para a temperatura de 70 °C, diferindo estatisticamente da temperatura de 50 °C (5,73 °Brix). Na caracterização de sementes de romã secas a 37 °C/10 h. Nogueira et al. (2020) obtiveram valores de sólidos solúveis totais de 3,43. Por outro lado, Ataíde et al. (2018), encontraram valores de sólidos solúveis variando de 8,86 a 11,06 para cascas de romã in natura e de 2,82 a 3,80 para sementes da fruta.

Os valores de pH obtidos variaram de 4,13 a 3,95, o que permite classificar as farinhas das cascas de romã como um produto ácido, sendo observado que a farinha obtida na temperatura de 50 °C diferiu estatisticamente das demais.

Observa-se que a acidez titulável foi influenciada pela temperatura de secagem, sendo observado diferença significativa entre as amostras. A farinha obtida na temperatura de secagem de 70 °C apresentou o maior teor de acidez titulável (7,09 g/100g), comportamento aceitável, pois ao reduzir o teor de água há concentração dos ácidos orgânicos. Os valores elevados de acidez e pH ácido das amostras constituem importantes fatores na conservação do produto, uma vez que, a acidificação possui ação inibidora do crescimento microbiano. Para os resíduos de acerola, após secagem a 60 °C, os valores de pH e acidez (g ácido cítrico/100g) foram de 3,23 e 3,30, respectivamente, sendo inferiores aos obtidos neste estudo. (MAGALHÃES et al., 2021).

Conforme demonstrado na Tabela 5.6, constata-se que o teor de umidade foi reduzido significativamente ($p < 0,05$) com o aumento da temperatura de secagem, fato esperado, já que o aumento da temperatura de secagem promove uma maior quantidade de água eliminada do produto. Os percentuais de umidade obtidos, 9,37, 7,94 e 6,25 g/100 g para FCR50, FCR60 e FCR70, encontram-se de acordo com a legislação brasileira que trata do regulamento técnico para farinhas, amido de cereais e farelos que estabelece o valor máximo de 15% para umidade (BRASIL, 2005). Ranjitha et al. (2018) e Rowayshed et al. (2013) obtiveram 7,27 e 13,70% de umidade em pós da casca de romã secas a 65 °C/10 h e 60 ± 5 °C/6 h, respectivamente. Os teores de umidade obtidos para farinhas dos resíduos de jaca após secagem a 40, 50 e 60 °C foram de 12,49, 8,11 e 5,65% (SOUSA et al., 2021).

De acordo com Araújo (2019), a redução no conteúdo de água das farinhas é vantajosa, pois contribui para prolongar a vida útil, prevenindo o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela deterioração, além de reduzir muitas reações químicas prejudiciais ao alimento que estão relacionadas com a umidade.

Em relação ao percentual de carboidratos totais, observa-se diferença significativa para a farinha desidratada a 70 °C em relação as demais amostras. No entanto, as farinhas obtidas nas temperaturas de 50 e 60 °C não apresentaram diferença significativa entre si. Os valores obtidos são elevados, com valores de 82,12, 82,32 e 82,93 g/100 g para FRC50, FRC60 e FRC70, respectivamente. Rowayshed et al (2013) em seu estudo sobre avaliação nutricional e química da casca de romã em pó, relataram teor de carboidratos igual a 80,50%, valor próximo ao encontrado neste trabalho. Martins et al. (2021) encontraram 65,97% de carboidrato total para a farinha da casca de maracujá.

Para os teores de proteínas, verifica-se diferença significativa entre as farinhas obtidas nas diferentes temperaturas de secagem. Os valores obtidos variaram entre 2,70 e 3,54 g/100 g para as farinhas nas três temperaturas em estudo. Valores semelhantes foram relatados por Ranjitha et al. (2018) e Rowayshed et al. (2013), em farinha da casca de romã, os quais verificaram 3,75 e 3,10%, respectivamente. Nesta pesquisa, verifica-se que os percentuais de proteínas tiveram um pequeno aumento em sua concentração à medida em que a temperatura de secagem foi elevada, fato não comum, uma vez que as proteínas são sensíveis a temperaturas mais elevadas, assim, supõe-se que, além da redução do teor de água que proporciona a concentração dos nutrientes do alimento, a redução considerável no tempo de secagem de uma faixa de temperatura para outra foi importante para preservar o teor proteico das amostras.

Os valores de lipídeos variaram entre 1,88 e 3,09 g/100 g, sendo observado diferença significativa entre as amostras analisadas. Foi verificado que o aumento da temperatura de secagem proporcionou aumento do teor lipídico das amostras. Urganci e Isik (2021) relataram teor de lipídeos igual a 3,48% na farinha da casca de romã desidratada a 50 °C, enquanto Ranjitha et al. (2018) encontraram 0,85% de lipídeos em pós da casca de romã secas a 65 °C. Silva et al. (2019) encontraram teores de 1,06, 1,38 e 2,07 g/100 g de lipídeos nas farinhas de beterraba nas diferentes temperaturas de secagem.

As cinzas em alimentos referem-se ao resíduo inorgânico excedente da queima da matéria orgânica (NOGUEIRA et al., 2020). Verificou-se que o teor de cinzas foi influenciado pelas temperaturas de secagem, diferindo estatisticamente entre si. Os valores encontrados neste estudo foram de 3,93, 4,02 e 4,19 g/100g, resultado semelhante ao relatado por Moradi et al (2020) em casca de romã desidratada (3,43%), sendo inferiores aos 6,87% e 7,01% relatados por Silva et al. (2019) na caracterização de farinhas da casca de maracujá amarelo secas a 70 e 80 °C, e superiores aos percentuais obtidos Santos et al. (2020) para as farinhas da casca de pitomba nas quais os valores foram de 1,74%, 1,79% e 1,81% em temperaturas de 50, 60 e 70 °C. O teor de cinzas permite avaliar e determinar a quantidade de minerais do alimento estudado (SANTOS et al., 2020), sendo que um alto teor de cinzas fornecerá um maior teor de sais minerais.

Na Tabela 5.6 observa-se que a quantidade de ferro das farinhas foi influenciada consideravelmente ($p < 0,05$) pela temperatura de secagem, sendo observada diferença significativa entre as farinhas obtidas a 50 e 70 °C, com valores de 6,45 e 7,06 mg/100g, respectivamente. Para o mineral cálcio, não houve diferença significativa entre as amostras analisadas, com valores entre 3,52 e 3,58 mg/100g. Em relação ao teor de fósforo, verifica-se diferença significativa entre as farinhas obtidas nas temperaturas de 50 e 70 °C, apresentando

valores iguais a 8,35 e 9,34 mg/100g, respectivamente. Santos et al. (2022) obtiveram valores de 30 g/kg para ferro (Fe), 2,0 g/kg para cálcio (Ca) e 0,7 g/kg para fósforo (P) em cascas de romã in natura (no dia zero de armazenamento), enquanto Ranjitha et al. (2018) encontram 6,35 mg/100g de ferro (Fe), 342 mg/100g de cálcio (Ca) e 118,30 mg/100g de fósforo (P) em pó da casca de romã. Por sua vez, Barros (2011) obteve valores de 13,77 g/kg⁻¹, 1,72 g/kg⁻¹ e 0,94 g/kg⁻¹ para os minerais ferro, cálcio e fósforo em cascas de romã liofilizadas. Essa variação nos teores pode ser explicada pela variedade de romã, bem como das condições edafoclimáticas de cada região.

A vitamina C é considerada uma das mais sensíveis ao processamento e condições de armazenamento, podendo sofrer significativa degradação por diversos fatores, como temperatura, luz, oxigênio, umidade e/ou atividade de água e pH (HOEHNE; MARMITT, 2019). Os valores médios de vitamina C das farinhas da casca de romã desidratadas a 50, 60, 70 °C diferiram estatisticamente entre si e variaram de 127,97, 133,52 e 122,95 mg/100g para as farinhas FRC50, FRC60 e FRC70 e, devido à sensibilidade ao calor, observa-se a degradação desse nutriente na secagem a 70 °C (FCR70). Ataíde et al. (2018) determinaram valores entre 27,26 mg/100 g e 40,16 mg/100 g de vitamina C em cascas de romã trituradas.

5.4 Caracterização física das farinhas

A Tabela 5.7 apresenta os resultados da caracterização física das farinhas das cascas de romã a partir da secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 5.7 - Características físicas das farinhas das cascas de romã, FCR50, FCR60 e FCR70

Variáveis	Amostras		
	FCR50	FCR60	FCR70
Solubilidade (%)	55,64 ± 1,20 a	50,96 ± 1,40 ab	46,80 ± 0,43 b
Densidade real (g mL ⁻¹)	1,51 ± 0,02 a	1,51 ± 0,01 a	1,51 ± 0,01 a
Densidade aparente (g mL ⁻¹)	0,47 ± 0,01 c	0,54 ± 0,00 b	0,57 ± 0,00 a
Densidade compactada (g mL ⁻¹)	0,60 ± 0,01 c	0,69 ± 0,01 b	0,72 ± 0,01 a
Porosidade (%)	68,14 ± 0,40 a	64,11 ± 0,21 b	62,21 ± 0,26 c
Índice de compressibilidade (%)	21,86 ± 0,94 a	21,35 ± 0,66 a	21,06 ± 0,76 a
Fator de Hausner	1,28 ± 0,01 a	1,27 ± 0,01 a	1,26 ± 0,01 a

FCR50, FCR60, FCR70 – Farinhas das cascas de romã secas a 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Médias seguidas do desvio padrão. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey em $p < 0,05$.

As propriedades físicas das farinhas influenciam a aparência física e o comportamento das biomoléculas. O conhecimento dessas características torna-se fundamental para avaliar seu desempenho em produtos destinado à alimentação e posterior inserção destas farinhas na indústria de alimentos e, por decorrência, na dieta humana (BORGES et al. 2021; BARROS et al. 2021).

As propriedades físicas/funcionais explicam como os ingredientes alimentares se comportam durante a preparação e o cozimento, impactando características como aparência, textura, estrutura e sabor dos produtos alimentícios acabados. Tais propriedades são influenciadas pelos componentes do material alimentar, especialmente os carboidratos, proteínas, gorduras e óleos, umidade, fibra, cinzas e outros ingredientes ou aditivos alimentares adicionados à farinha, bem como as estruturas desses componentes. Essas propriedades estão entre os principais atributos de qualidade de alimentos e farinhas para formulações infantis, pré-adolescentes, adolescentes e alimentos para adultos (AWUCHI; IGWE; ECHETA, 2019).

Conforme dados presentes na Tabela 5.7, os valores de solubilidade em água foram de 55,64, 50,96 e 46,80% para FCR50, FCR60 e FCR70, podendo considerar uma boa solubilidade para as farinhas obtidas. É possível observar que este parâmetro foi influenciado significativamente ($p < 0,05$) pela temperatura de secagem, sendo reduzida com o aumento da temperatura. A solubilidade é o critério mais confiável para avaliar o comportamento do pó em solução aquosa. Este parâmetro é alcançado após o pó passar por etapas de dissolução de afundabilidade, dispersibilidade e molhabilidade (CHEN; PATEL, 2008; CAPARINO et al., 2012) e quanto maior a solubilidade melhor é a indicação do potencial de seu uso em sistemas alimentares (MOURA et al., 2011). As substâncias alimentícias são classificadas como insolúveis quando sua solubilidade é inferior a 0,1 g por 100 mL do solvente (AWUCHI; IGWE; ECHETA, 2019). Segundo Moraes et al. (2019), a solubilidade é dependente da constituição química, da quantidade de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, dos compostos a serem solubilizados e das interações entre as biomoléculas, a água e entre si. É uma propriedade útil e vantajosa na separação de misturas.

Em termos de densidade real, observou-se um valor médio de $1,51 \text{ g/mL}^{-1}$ para as três farinhas, não diferindo significativamente com o aumento da temperatura de secagem. Durante a análise, foi observado visualmente que, o tempo necessário para que toda a amostra da farinha FCR50 se depositasse no fundo da proveta foi maior que aquele para o mesmo processo nas amostras de FCR60 e FCR70, obedecendo a seguinte ordem: $\text{FCR50} > \text{FCR60} > \text{FCR70}$, podendo ser justificado pelo percentual de umidade (Tabela 5.6) presente nas farinhas acarretando em maior tempo de absorção do óleo. Dias (2015) encontrou $1,10 \text{ g/cm}^3$ em casca

de romã seca triturada, enquanto Carvalho (2021) obteve densidade real de $1,50 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ para o pó da casca de manga ‘Palmer’ liofilizada.

A densidade aparente e compactada das amostras foram significativamente afetadas pelas temperaturas de secagem, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) entre as farinhas avaliadas. A densidade aparente variou de $0,47$ a $0,57 \text{ g mL}^{-1}$, enquanto a densidade compactada obtida foi de $0,60$ a $0,72 \text{ g mL}^{-1}$ para FCR50, FCR60 e FCR70. Observa-se que houve aumento nos valores de ambas com o aumento da temperatura. Os valores de densidade aparente foram inferiores aos da densidade compactada, uma vez que, a densidade aparente leva em consideração os espaços vazios ao longo do volume ocupado pelas partículas da amostra. Naji-Tabasi et al. (2021) obtiveram valores de densidade aparente variando de $0,32$ a $0,29 \text{ g mL}^{-1}$ e densidade compactada de $0,39$ a $0,35 \text{ g mL}^{-1}$ para pós de suco de bérberis encapsulados em diferentes percentuais de maltodextrina (10, 13 e 16%, respectivamente).

Valores de densidade aparente mais altos permitem acomodação de mais material em recipientes menores, em virtude desse parâmetro ser inversamente proporcional ao volume. Além disso, a alta densidade aparente das farinhas sugere sua adequação para aplicação em preparações alimentícias. Assim como na densidade aparente, ao retratar um produto seco com alta densidade compactada, o armazenamento em embalagens menores torna-se possível devido também ocorrer a redução nos espaços, com conseqüente redução da presença de oxigênio no interior do produto (ALBUQUERQUE, 2021; AWUCHI; IGWE; ECHETA, 2019).

Com relação a porosidade, verifica-se diferença estatística entre as amostras analisadas, em que a maior temperatura apresentou o menor valor (62,21%), enquanto a farinha obtida a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ apresentou o maior valor (68,14%). Carvalho (2021) obteve 68,23% para o pó da casca de manga ‘Palmer’ liofilizada, enquanto Martins (2019) constatou 37,95% para farinha do arará. Segundo o autor, a porosidade é importante em diversos aspectos, em que um maior número de espaços vazios, ou seja, uma porosidade elevada, pode implicar na presença de oxigênio, provocando uma degradação mais rápida dos compostos oxidantes. Por outro lado, essa porosidade melhora a absorção de água do material.

O índice de compressibilidade (IC) é um método simples para avaliar indiretamente as propriedades de fluxo e compatibilidade do pó, permitindo indicar a capacidade de empacotamento/compactação de partículas. Neste estudo, o índice de compressibilidade (IC) não apresentou diferença significativa entre as amostras, com valores entre 21,86 e 21,06%, para as temperaturas de 50 e $70 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. De acordo com Aziz et al. (2018), valores de IC (%) < 10 indicam excelente fluidez, entre 11 – 15 denotam boa fluidez; entre 16 – 20 indicam adequada fluidez; entre 21 – 25 mostram fluidez aceitável; entre 26 – 31 revelam

fluidez ruim; entre 32 – 37 evidenciam fluidez muito ruim e > 38 indicam fluidez muito ruim. Portanto, as farinhas obtidas são classificadas como de fluidez aceitável, assim como o pó da manga ‘Palmer’ liofilizada com IC de 22% (CARVALHO, 2021).

Em relação ao Fator de Hausner (FH), verifica-se que não houve diferença significativa entre as farinhas analisadas, em que o aumento da temperatura de secagem não influenciou estatisticamente este parâmetro. Os resultados variaram de 1,28 a 1,26. Santhalakshmy et al. (2015) relataram que o fator de Hausner avalia a coesividade do material e quanto menor a coesão maior a fluidez do produto. Valores de FH abaixo de 1,2 são classificados como de baixa coesividade, FH entre 1,2 a 1,4 é de coesividade intermediária e FH > 1,4 é considerado de alta coesividade.

De acordo com esta classificação, todas as amostras da farinha da casca de romã apresentam coesividade intermediária e fluidez aceitável, conforme classificação atribuída por Aziz et al. (2018).

O fator de Hausner e o índice de compressibilidade fornecem um resultado indireto da facilidade do pó em escoar, uma vez que quanto mais arredondada é uma partícula, menores serão os espaços de ar dentro das misturas de pós, facilitando assim o seu rolamento e conseqüentemente seu escoamento (SILVA et al., 2018). Uma fluidez adequada pode garantir a distribuição eficiente de uma farinha na elaboração dos produtos. Assim, as farinhas obtidas apresentam fluidez e, conseqüentemente, capacidade de escamento moderadas.

5.5 Teor de extrativos

A Tabela 5.8 apresenta os teores de extrativos das farinhas obtidas das cascas de romã após secagem a 50, 60 e 70 °C

Tabela 5.8 - Teor de extrativos (TE) das farinhas das cascas de romã, FCR50, FCR60 e FCR70

Farinhas	TE (%)	
	H ₂ O	EtOH (70 % v/v)
FCR50	10,66 ± 0,19	13,86 ± 0,44
FCR60	10,42 ± 0,21	12,92 ± 0,17
FCR70	9,64 ± 0,13	12,85 ± 0,20

FCR50, FCR60, FCR70 – Farinhas das cascas de romã secas a 50, 60 e 70 °C, respectivamente

Os extrativos são definidos como compostos que podem ser extraídos de materiais vegetais, tanto por solventes polares quanto por apolares, podendo variar quantitativamente ou

qualitativamente e como representam uma classe muito ampla de moléculas, nenhum solvente orgânico sozinho é capaz de extrair todas essas substâncias, e diferentes solventes removem diferentes combinações (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010).

Neste estudo, os resultados (Tabela 5.8) mostram que a solução hidroalcolica 70% foi mais eficiente no processo de extração. Na análise usando água como solvente, os valores variaram de 10,66 a 9,64%, enquanto na análise com solução hidroalcolica 70% variaram de 13,86 a 12,85%, para FCR50, FCR60 e FCR70, sendo verificada redução nos percentuais para ambos os solventes à medida em que a temperatura foi aumentada. A análise de extrativos, neste estudo, foi fundamental para a seleção da melhor temperatura de secagem das cascas para obtenção da farinha a ser utilizada na preparação do extrato, sendo selecionada a farinha FRC50 e etanol 70% como solvente de extração para o melhor rendimento de extrativos.

Segundo Fernandes (2013), o teor de extrativos da matéria-prima vegetal é um parâmetro empregado na avaliação da eficiência do processo de extração. Na análise de extrativos de quatro variedades de *Psidium guajava* (goiabeira) utilizando água e etanol 70% (v/v) como solventes, o autor obteve valores variando de 21,48 a 27,45% para o primeiro solvente (água) e de 33,63 a 40,75% para o segundo (etanol 70%) afirmando que a solução hidroalcolica (70% v/v) foi mais eficiente no processo extrativo. Por outro lado, Massardi, Massini e Silva (2020) determinando o teor de extrativos em bagaço de malte em aparato soxhlet e usando solução de etanol 80% (v/v) como solvente, obtiveram 8,33%.

5.6 Caracterização dos extratos liofilizados

5.6.1 Caracterização físico-química e física dos extratos liofilizados

Na Tabela 5.9 estão os valores referente à caracterização físico-química e física dos extratos liofilizados com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 5.9 – Caracterização físico-química e física dos extratos liofilizados das cascas de romã, ELM35, ELM40 e ELM45.

Variáveis	Amostras		
	ELM35	ELM40	ELM45
pH	3,57 ± 0,02 c	3,66 ± 0,02 b	3,70 ± 0,01 a
Acidez (g de ác. cítrico/100 g)	2,18 ± 0,10 a	2,00 ± 0,07 b	1,78 ± 0,04 c
Teor de umidade (g/100 g)	5,27 ± 0,45 a	5,18 ± 0,13 a	4,95 ± 0,03 a

Sólidos totais (g/100 g)	94,73 ± 0,45 a	94,82 ± 0,13 a	95,05 ± 0,03 a
Solubilidade (%)	84,13 ± 0,19 b	85,08 ± 0,14 a	86,04 ± 0,24 a
Densidade aparente (g mL ⁻¹)	0,72 ± 0,02 a	0,74 ± 0,02 a	0,75 ± 0,01 a
Densidade compactada (g mL ⁻¹)	0,76 ± 0,01 a	0,77 ± 0,02 a	0,78 ± 0,02 a
Índice de compressibilidade (%)	5,26 ± 0,26 a	4,80 ± 0,75 a	4,31 ± 0,82 a
Fator de Hausner	1,06 ± 0,01 a	1,05 ± 0,02 a	1,04 ± 0,02 a

ELM35, ELM40, ELM45 – Extratos liofilizados com 35, 40 e 45% de maltodextrina, respectivamente. Médias seguidas do desvio padrão. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey em $p < 0,05$

Conforme a Tabela 5.9, o pH foi influenciado pelo aumento da concentração de maltodextrina nas amostras, havendo diferença estatística significativa entre ELM35, ELM40 e ELM45. Os valores variaram entre 3,57 e 3,70, sendo a amostra ELM35 com o menor valor (3,57). Por sua vez, a acidez foi reduzida com o aumento do referido adjuvante e todas as amostras diferiram estatisticamente. A amostra ELM35 apresentou o maior valor (2,18 g de ácido cítrico/100g), enquanto ELM45 teve o menor valor (1,78 g de ácido cítrico/100g). A adição de maltodextrina reduz o teor de acidez devido à diminuição da concentração dos ácidos orgânicos nas amostras. Comportamento semelhante foi relatado por Andrade et al. (2021) na caracterização de polpa de araçá-boi liofilizada com diferentes porcentagens de maltodextrina, pois conforme aumento do adjuvante (14, 21 e 28%) houve aumento do pH (2,82, 2,86 e 2,87) e redução da acidez (1,59, 1,22 e 1,01% de ácido cítrico), respectivamente.

Para o parâmetro umidade, observa-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as três amostras, ELM35, ELM40 e ELM45, embora tenha sido observado redução nos percentuais com o aumento da concentração de maltodextrina. Os valores obtidos variaram entre 5,27 e 4,95 g/100 g, apresentando-se em conformidade com a RDC n° 272, de 22 de setembro de 2005, que estabelece o máximo de 25% (g/100 g) de umidade para produtos de frutas secos ou desidratados (BRASIL, 2005), sendo a amostra ELM45 com o menor valor (4,95 g/100g). Duarte (2018) também obteve reduções nos percentuais de umidade (8,24, 7,20 e 5,64%) em pós de lichia liofilizados com diferentes proporções de maltodextrina (15, 20 e 25%). Na pesquisa realizada por Seerangurayaret et al. (2017) os teores de umidade dos pós de tâmaras foram significativamente reduzidos com o aumento da concentração de maltodextrina de 40 para 50%, isso porque o aumento da quantidade de adjuvantes, neste caso a maltodextrina, tende a reduzir a higroscopicidade do pó.

O teor de sólidos totais é obtido a partir da diferença entre o teor de umidade e o total percentual (100%). Os valores encontrados para esse parâmetro foram 94,73, 94,82 e 95,05

g/100 g para ELME35, ELM40 e ELM 45, não havendo diferença significativa ($p < 0,05$) entre as três amostras, e como consequência da redução do teor de umidade, o percentual de sólidos totais sofreu acréscimo com a adição da maltodextrina. O mesmo comportamento foi observado por Duarte (2018) ao obter aumento no percentual de sólidos totais (91,75 a 94,35%) em amostras de lichia em pó liofilizadas com diferentes porcentagens de maltodextrina.

Considerando a Tabela 5.9, pode-se afirmar que os pós da casca de romã liofilizados apresentaram alta solubilidade, com valores de 84,13, 85,08 e 86,04% para ELM35, ELM40 e ELM45, respectivamente. É possível verificar que houve acréscimo nos valores de solubilidade com o aumento da porcentagem do adjuvante, podendo ser justificado pela presença açúcares e outras substâncias solúveis, bem como a adição de adjuvante de alta solubilidade em água (SOGI; SIDDIQ; SOLAN, 2015; SANTOS et al., 2018). Contudo as amostras não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$). Os valores obtidos são superiores àqueles encontrados na caracterização de polpas de araçá-boi em pó (ANDRADE et al., 2021), pó do extrato do hibisco (SANTOS et al., 2018) e próximo ao obtido na caracterização de pós de lichia (DUARTE, 2018). De acordo com Sharma, Jana e Chavan (2012), a solubilidade depende principalmente da composição química do produto e de seu estado físico, sendo uma característica importante para os produtos em pó, uma vez que, pós pouco solúveis podem causar dificuldades no processamento e resultar em perdas econômicas para indústria.

Para a densidade aparente (0,72, 0,74 e 0,75%) e compactada (0,76, 0,77 e 0,78%), evidencia-se que as três amostras, ELM35, ELM40 e ELM45 exibiram um discreto aumento em função da concentração do adjuvante maltodextrina. No entanto, não houve diferença estatística significativa entre os pós. Comportamento similar foi reportado por Ribeiro, Costa e Afonso (2020) em pós de cacau liofilizados e por Araújo et al. (2020) em pós da polpa de coco verde, em que o aumento da concentração de maltodextrina adicionada elevou as densidades das amostras. De acordo com Araújo et al. (2020), quanto maior o teor de umidade do pó, maiores serão as forças de coesão, resultando na formação de aglomerados que podem conter ar em seu interior, reduzindo a densidade. Portanto, quanto maior a concentração da maltodextrina, menor o teor de umidade e maior a densidade. A adição da maltodextrina aumenta o peso molecular das partículas do pó e quanto mais pesado, mais facilmente ele se acomoda nos espaços entre as partículas, ocupando menor volume e resultando em maior densidade.

O estudo da densidade aparente é fundamental para o dimensionamento de embalagens, enquanto a densidade compactada serve como parâmetro para determinação da aglomeração do material (DUARTE, 2018).

A fluidez e coesão são duas propriedades importantes das partículas secas e podem ser avaliadas pelo índice de compressibilidade (IC) e pelo fator de Hausner (FH), respectivamente. O índice de compressibilidade também é usado para representar a compressibilidade do pó, em que valores mais altos de IC representam baixa fluidez e alta compressibilidade. O fator de Hausner serve para classificar a coesividade do pó, que é uma medida de consistência e fluidez. Portanto, quanto menor a coesão maior a fluidez do pó (AZIZ et al., 2018).

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5.9, pode-se afirmar que a maltodextrina influenciou diretamente na fluidez e coesão das três amostras, embora não tenha sido identificado diferença significativa ($p < 0,05$). Os valores de índice de compressibilidade (IC) foram 5,26, 4,80 e 4,31% para os pós com 30, 40 e 45% de maltodextrina. O fator de Hausner (FH) obtido foi de 1,06, 1,05 e 1,04 para as respectivas amostras, ELM35, ELM40 e ELM45. Os menores valores de IC e FH foram obtidos na amostra com maior percentual de maltodextrina (ELM45). No estudo realizado por Seerangurayar et al. (2017), o índice de compressibilidade variou de 22 a 26% e de 20 a 24%, enquanto o fator de Hausner variou de 1,28 a 1,35 e 1,25 a 1,32 em pós de tâmaras adicionados de maltodextrina e goma arábica. Os menores valores para IC e FH foram obtidos nas maiores concentrações de adjuvantes. Comportamento semelhante foi observado por Alves, Afonso e Costa (2020) na caracterização de pós da polpa de pitaiá vermelha liofilizadas com diferentes adjuvantes de secagem.

Conforme Aziz et al. (2018), valores de IC (%) < 10 indicam excelente fluidez, entre 11 – 15 mostram boa fluidez; entre 16 – 20 exibem adequada fluidez; entre 21 – 25 denotam fluidez aceitável; entre 26 – 31 apresentam fluidez ruim; entre 32 – 37 evidenciam fluidez muito ruim e > 38 indicam fluidez excessivamente ruim. Para o fator de Hausner, os autores atribuem a mesma classificação conforme os seguintes parâmetros, FH entre 1 – 1,11 indicam excelente fluidez, entre 1,12 – 1,18 mostram boa fluidez; entre 1,19 – 1,25 revelam adequada fluidez; entre 1,26 – 1,34 mostram fluidez aceitável; entre 1,35 – 1,45 indicam fluidez ruim; entre 1,46 – 1,59 denotam fluidez muito ruim e $> 1,60$ mostram fluidez excessivamente ruim. Para Santhalakshmy et al. (2015) valores de FH abaixo de 1,2 são classificados como de baixa coesividade, FH entre 1,2 a 1,4 é de coesividade intermediária e FH $> 1,4$ é considerado de alta coesividade.

De acordo com a classificação mencionada anteriormente, os pós das cascas de romã obtidos apresentam excelente fluidez e baixa coesividade. Para Aziz et al. (2018), o método de secagem, a composição dos pós e a presença de adjuvantes de secagem podem influenciar na fluidez dos pós.

Figura 5.9 – Extratos das cascas de romã liofilizados com maltodextrina em concentrações de 35% (A - ELM35), 40% (B - ELM40) e 45% (C - ELM45).



Fonte: Autor (2022).

5.6.2 Quantificação de compostos bioativos dos extratos liofilizados.

Na Tabela 5.10 são apresentados os resultados obtidos para compostos fenólicos totais, taninos totais, flavonoides e antocianinas dos extratos liofilizados das cascas de romã.

Tabela 5.10 – Compostos fenólicos totais (CFT), taninos totais, flavonoides, antocianinas e carotenoides totais dos extratos liofilizados das cascas de romã, ELM35, ELM40 e ELM45

Compostos	Amostra		
	ELM35	ELM40	ELM45
CFT (mg EAG/100 g)	33898,66 ± 1455,67 a	29188,40 ± 1404,42 b	26025,00 ± 984,30 b
Taninos (mg/100 g)	33521,82 ± 819,66 a	27465,25 ± 1689,26 b	24706,63 ± 1194,21 b
Flavonoides (mg/100 g)	7,34 ± 0,86 a	5,23 ± 0,42 b	4,51 ± 0,98 b
Antocianinas (mg/100 g)	0,14 ± 0,03 a	0,11 ± 0,04 a	0,08 ± 0,01 a
Carotenoides (mg/100 g)	1,25 ± 0,06 a	0,86 ± 0,06 b	0,79 ± 0,13 b

ELM35, ELM40, ELM45 – Extratos liofilizados com 35, 40 e 45% de maltodextrina, respectivamente. Médias seguidas do desvio padrão. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey em $p < 0,05$.

A romã apresenta alta concentração de compostos bioativos com atividade antioxidante, destacando-se os compostos fenólicos, dentre estes os principais presentes na casca da romã incluem, os ácidos fenólicos, taninos e flavonoides (SINGH et al., 2018).

Na Tabela 5.10, observa-se que o extrato liofilizado da casca de romã se destaca pela riqueza em compostos bioativos, especialmente compostos fenólicos e taninos. Conforme esperado, a adição da maltodextrina interferiu no teor bioativos dos pós liofilizados da casca de romã, de modo que o aumento na concentração (35 até 45%) refletiu no decréscimo dos

compostos analisados. Segundo Xiao et al. (2022) a maltodextrina é uma substância que interage com compostos presentes nos extratos. Essa interação pode causar uma redução aparente nos valores dos compostos bioativos, uma vez que parte deles pode estar associada à maltodextrina, tornando-se menos disponíveis para as análises.

A maltodextrina tem se mostrado um produto com ampla aplicabilidade na indústria alimentícia. Uma das mais utilizadas atualmente é como agente carreador/material de parede de partículas, como os compostos bioativos, por sua capacidade de proteger esse material de ambientes oxidantes, conferindo características desejáveis às partículas, após o processo de secagem, contribuindo para o aumento da vida útil do produto (LIMA, 2019).

Em relação ao adjuvante empregado, pode-se afirmar que a concentração de 35% de maltodextrina (ELM35) foi mais eficiente para compostos fenólicos, taninos, flavonoides, antocianinas e carotenoides, apresentando os maiores percentuais. As concentrações de maltodextrina foram definidas a partir do teor de sólidos totais do extrato concentrado, $10,80 \pm 0,07$ g/100 g, item 4.8.1.

Os valores de compostos fenólicos totais variaram de 33898,66; 29188,40 e 26025,00 mg EAG/100 g para ELM35, ELM40 e ELM 45, respectivamente. A amostra ELM35 apresentou o maior valor (33898,66 mg/100 g), diferindo significativamente das demais. Morzelle (2012), obteve valores de 618,04 mg EAG/100 g para compostos fenólicos em extrato aquoso das cascas de romã e valores variando entre 1099,43; 600,10 e 563,21 mg EAG/100 g nos extratos hidroalcoólicos nas concentrações de etanol de 60, 80 e 100%. Santos et al. (2022), encontraram valores bastante inferiores de compostos fenólicos em casca (67,13 mg EAG/g) e polpa (2,08 mg EAG/g) de romã in natura, em comparação aos obtidos neste estudo, assim como Zago et al. (2020) que obtiveram apenas 89,52 mg EAG/g no extrato liofilizado da casca.

A romã é conhecida por ser uma das frutas mais ricas em compostos fenólicos, considerados essenciais por suas propriedades antioxidantes. O extrato da casca é um dos subprodutos mais valiosos da indústria alimentícia devido à alta concentração desses compostos sendo relatado em diversos estudos percentuais até 10 vezes maior do que o encontrado na polpa (LAMPAKIS; SKENDERIDIS; LEONTOPOULOS, 2021). De maneira geral, o conteúdo de compostos fenólicos nos vegetais pode variar de acordo com as condições climáticas e geográficas. Além disso, eles podem apresentar uma composição química variada, o que é evidente no caso da romã, sendo altamente dependente da variedade e da parte da fruta analisada. Essa variabilidade é atribuída a presença de compostos encontrados em cada variedade e parte da planta (DIAS, 2015; SANTOS et al., 2022).

Os percentuais de taninos totais foram elevados, com valores de 33521,82; 27465,25 e 24706,63 mg/100 g em ELM35, ELM40 e ELM45, respectivamente, sendo observada diferença significativa a 5% de probabilidade da amostra ELM35 em relação às demais que não diferiram. Os valores obtidos são superiores aos reportados por Morzelle (2012), que registrou 18,58 $\mu\text{g/g}^{-1}$ de taninos em extrato aquoso das cascas de romã, e 83,23; 73,51 e 28,99 $\mu\text{g/g}^{-1}$ nos extratos hidroalcoólicos em concentrações de etanol de 60, 80 e 100%, respectivamente. Os taninos, em pequenas quantidades em frutos, conferem-lhes características sensoriais desejáveis, no entanto, em quantidades maiores conferem aos frutos e outros alimentos características adstringentes (ALVES et al., 2019).

Neste estudo, observa-se que o processo de extração foi mais eficiente utilizando a farinha da casca de romã e o etanol a 70% como solvente, pois permitiu um maior percentual de fenólicos totais e taninos totais, quando comparado com a metodologia de Morzelle (2012).

Os valores obtidos para flavonoides foram de 7,34; 5,23 e 4,51 mg/100 g nas amostras ELM35, ELM40 e ELM45. Percebe-se que o extrato ELM35 diferiu significativamente ($p < 0,05$) dos demais. Shimizu et al. (2020) obtiveram valores de 92,60, 117,70, 120,10 e 128,20 mg/100 mg⁻¹ de flavonoides em extratos aquosos de cascas de romã submetidas aos seguintes processos de secagem: sol pleno, câmara de secagem a 60 °C, câmara fria a 10 °C e 60% de umidade relativa e secador solar, respectivamente.

Os flavonoides estão presentes em quantidades elevadas no vinho tinto, também em alimentos de origem vegetal, como as verduras, frutas, chás, e também em produtos de origem animal, como o mel. Eles possuem ação antioxidante, minimizando a peroxidação lipídica e o efeito dos radicais livres. Estudos têm sido demonstrado que indivíduos que ingerem maiores quantidades de flavonoides apresentam uma diminuição considerável do risco de morte por acidentes cardiovasculares (MARCUCCI et al., 2021).

Para o teor de antocianinas, verifica-se que as amostras não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$). Os valores obtidos variaram de 0,14; 0,11 e 0,08 mg/100 g para ELM35, ELM40 e ELM45, respectivamente. Souza et al. (2020) quantificaram antocianinas em suco de romã, obtendo 51,77, 43,42, 36,92 e 48,43 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para as amostras com os quatro tipos de solventes usados na extração: água ultrapura, etanol, etanol 70% e metanol.

As antocianinas são compostas de cores vivas responsáveis por grande parte da coloração vermelha, azul e púrpura dos frutos, sendo abundantes principalmente em frutas vermelhas. Alimentos ricos em antocianinas são mais consumidos devido ao seu potencial antioxidante (ALMEIDA et al., 2020; SOUZA et al., 2020).

Para os carotenoides totais, observa-se valores decrescentes à medida que se elevou a quantidade de maltodextrina. A amostra ELM35 diferiu estatisticamente das demais ($p < 0,05$), apresentando o maior valor (1,25 mg/100 g). As amostras ELM40 (0,86 mg/100 g) e ELM45 (0,79 mg/100 g) não apresentaram diferença significativa entre si. Valores semelhantes foram encontrados por Oliveira, Veronezi e Jorge (2020) em extrato etanólico de cascas (1,9 mg β caroteno/ 100g) e de sementes (0,5 mg β caroteno/ 100g) de romã. Na caracterização de polpa de cajá probiótica foram obtidos 0,0366 mg/100 g de carotenoides, e para a polpa probiótica em pó, foram obtidos valores entre 0,116 e 0,194 mg/100 g, sendo observado que, com o aumento da temperatura de secagem em leito de jorro e a adição das concentrações máximas de maltodextrina e inulina, houve redução nos teores de carotenoides (RODRIGUES, 2020).

Os carotenoides constituem um grupo de corantes naturais que desempenham papel fundamental na saúde humana e atuam como alimentos funcionais e nutracêuticos. São capazes de retardar o estresse oxidativo celular e, conseqüentemente, auxiliar na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis e enfermidades cardiovasculares. Carotenoides como o β -caroteno precursores da vitamina A, que como todos os nutrientes essenciais, precisa ser fornecida ao organismo (TREVISAN et al., 2018).

As variações entre os resultados de compostos bioativos obtidos neste estudo e aqueles encontrados na literatura podem estar relacionados às diferentes variedades de romãs analisadas, e suas características químicas, bem como, das condições edafoclimáticas de cada região, métodos e solventes utilizados no processo de extração.

5.6.3 – Atividade antioxidante dos extratos liofilizados das cascas de romã.

A Tabela 5.11 apresenta os resultados obtidos para a determinação da atividade antioxidante dos extratos da casca de romã a partir dos métodos ABTS e DPPH.

Tabela 5.11 – Atividade antioxidante dos extratos liofilizados da casca de romã.

Amostras	IC ₅₀ ($\mu\text{g mL}$)			
	ABTS	R ²	DPPH	R ²
Quercetina (Controle +)	0,95 \pm 0,03	0,99	1,63 \pm 0,03	0,98
ELM35	4,88 \pm 0,07 c	0,920	6,87 \pm 0,27 c	0,997
ELM40	9,15 \pm 0,08 b	0,999	11,99 \pm 0,02 b	0,997
ELM45	14,95 \pm 0,11 a	0,998	16,44 \pm 0,02 a	0,997

ELM35, ELM40, ELM45 – Extratos liofilizados com 35, 40 e 45% de maltodextrina, respectivamente. Médias seguidas do desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey em $p < 0,05$.

A partir dos resultados obtidos é possível verificar o potencial dos extratos da casca de romã diante da expressiva atividade antioxidante determinada neste estudo, demonstrando possibilidades de sua utilização como aditivos naturais, suplementos ou incorporados em formulações de alimentos e de medicamentos.

A partir da Tabela 5.11, observa-se que a atividade antioxidante dos extratos diminuiu com o aumento da concentração de maltodextrina. O extrato com menor percentual de maltodextrina (ELM35) apresentou maior atividade antioxidante em IC_{50} pelos métodos ABTS (IC_{50} de $4,88 \pm 0,07 \mu\text{g mL}^{-1}$) e DPPH (IC_{50} de $6,87 \pm 0,27 \mu\text{g mL}^{-1}$) quando comparado com o extrato ELM45 contendo maior concentração do referido adjuvante, com valores de IC_{50} de $14,95 \pm 0,11$ e $16,44 \pm 0,02 \mu\text{g mL}^{-1}$, medidos pelos respectivos métodos, indicando que o extrato ELM35 tem maior capacidade de atuar como sequestrador de radicais quando comparado aos demais. As três amostras apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$) em cada um dos métodos analisados.

A concentração inibitória (IC_{50}) refere-se à mínima concentração necessária de antioxidante para inibir 50% de uma determinada concentração de radical livre (MAGALHÃES; MATOS; LOURENÇON, 2018), assim, quanto menor o valor de IC_{50} , maior a atividade antioxidante, maior o potencial antioxidante desse extrato ou material estudado.

Observa-se ainda que os resultados para a atividade antioxidante, determinados a partir do método ABTS, foram ligeiramente maiores do que aqueles obtidos pelo método DPPH para as três amostras de extratos. Segundo Silva et al. (2018), em geral, o método ABTS apresenta correlações mais fortes com compostos fenólicos e taninos do que o método DPPH. Essa diferença se deve ao tipo de compostos antioxidantes determinados. Enquanto o espectro do DPPH apresenta um pico máximo de absorção a 515 nm, sendo capaz de medir a capacidade antioxidante de compostos lipofílicos, o espectro ABTS exibe absorção máxima em uma faixa de comprimentos de onda (414, 654, 754 e 815 nm), com capacidade de detectar a atividade antioxidante de uma maior quantidade de antioxidantes na amostra (tanto lipofílicos e hidrofílicos), que refletem nos diferentes níveis de atividade antioxidante determinados por estes dois métodos.

Becker et al. (2019) também destacaram, em seu estudo, as vantagens e limitações dos dois métodos, afirmando que as melhores taxas de atividade antioxidante foram obtidas pelo método ABTS para a mistura dos solventes etanol:PBS (IC_{50} de 0,063 mg/mL), enquanto pelo método DPPH, no ensaio etanólico (com IC_{50} de 1,452 mg/mL), mostrou-se mais estável.

Os resultados obtidos para a atividade antioxidante dos extratos estão diretamente relacionados com os resultados para compostos bioativos, conforme apresentado na Tabela

5.10, em que o extrato ELM35 apresentou o maior percentual. Segundo Lira et al. (2021), os compostos fenólicos, formados por um ou mais anéis aromáticos e com pelo menos um grupo hidroxila, em geral, podem reagir com radicais livres, devido à facilidade com que o átomo de hidrogênio do grupo hidroxila pode ser separado por um radical livre.

Em extratos etanólicos e aquoso da casca de romã foram obtidos significativos valores de atividade antioxidante, sendo observado maior poder antioxidante no extrato etanólico 60% pelos métodos DPPH e ABTS (MORZELLE, 2012). Faria e Pereira (2019) encontraram diferença significativa na atividade antioxidante de extratos da polpa de romã e verificaram que todas as amostras apresentaram menor poder de inibição conforme decréscimo da concentração utilizada. Segundo os autores, o tipo de solvente e sua polaridade podem afetar a transferência de elétrons e de átomos de hidrogênio, que são aspectos-chave na medida da capacidade antioxidante. Além disso, a presença de compostos não antioxidantes nas soluções testadas também pode afetar os resultados, dependendo do teste utilizado.

5.6.4 Atividade inibitória da enzima acetilcolinesterase (AChE).

Os resultados obtidos para a atividade anticolinesterase dos extratos liofilizados da casca de romã podem ser observados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Atividade anticolinesterásica dos extratos da casca de romã

Amostras	IC ₅₀ (µg/mL)	R ²
Fisostigmina – Eserina (Controle +)	1,15 ± 0,05	0,996
ELM35	13,38 ± 0,06 c	0,998
ELM40	21,43 ± 0,03 b	0,993
ELM45	40,63 ± 0,03 a	0,991

ELM35, ELM40, ELM45 – Extratos liofilizados com 35, 40 e 45 de maltodextrina, respectivamente. Médias seguidas do desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey em $p < 0,05$.

A partir da Tabela 5.12, pode-se concluir que os extratos liofilizados provenientes da casca de romã apresentaram significativa atividade inibitória sobre a acetilcolinesterase (AChE) e a mais alta taxa de inibição de AChE foi obtida no extrato ELM35 com a IC₅₀ de 13,38 µg mL⁻¹. Esse resultado pode ser atribuído às classes de metabólitos encontradas, principalmente pelos fenóis que são antioxidantes reconhecidos (DANTAS et al., 2020).

Neste contexto, a IC₅₀ refere-se à quantidade de extrato necessária para reduzir em 50% a quantidade da enzima AChE no ensaio realizado (MORZELLE, 2012). Santos et al., (2018)

classificaram a atividade anticolinesterásica dos extratos em três categorias, de acordo com os valores de IC_{50} determinadas para seus respectivos extratos/frações: alta potência ($IC_{50} < 20 \mu\text{g mL}^{-1}$); potência moderada ($20 < IC_{50} < 200 \mu\text{g mL}^{-1}$); e baixa potência ($200 < IC_{50} < 1000 \mu\text{g.mL}^{-1}$). Logo, o extrato ELM35 é considerado alta potência, enquanto os extratos ELM40 e ELM45 são classificados de potência moderada.

As três amostras diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), sendo os valores de IC_{50} reduzidos com o aumento da concentração de maltodextrina e, assim como a atividade antioxidante, tal como observado na Tabela 5.11, a maior atividade inibitória da acetilcolinesterase foi obtida no extrato ELM35 com maior percentual de bioativos. Os resultados obtidos indicam que os extratos estudados apresentam potencialidade para a atividade anticolinesterásica e são promissores quando comparados com o padrão fisostigmina (IC_{50} de $1,15 \mu\text{g mL}^{-1}$), o primeiro inibidor descoberto (NEVES et al., 2022).

No estudo realizado por Morzelle (2012), os resultados revelaram expressiva atividade de inibição da enzima acetilcolinesterase a partir de extratos da casca de romã, dentre eles o extrato etanólico 80% apresentou o menor valor de IC_{50} (2,48 mg), sendo considerado o melhor extrato na inibição de AChE. Morais et al. (2020) obtiveram IC_{50} de $15,87 \mu\text{g mL}^{-1}$ ao estudarem a atividade anticolinesterásica em extratos etanólicos de folhas de *Vitex gardneriana* Schauer.

Os inibidores da enzima acetilcolinesterase (AChEI) preservam os níveis de acetilcolina no cérebro, melhorando a eficiência da transmissão colinérgica e levando ao acréscimo de comunicação entre as células nervosas que usam a acetilcolina como mensageiro químico, uma ação que tem sido usada para melhorar temporariamente ou estabilizar os sintomas da doença de Alzheimer. Desta forma, uma alimentação rica ou enriquecida com antioxidantes pode prevenir, ou pelo menos amenizar, a deterioração orgânica por um excessivo estresse oxidativo (NEVES et al., 2022; MORZELLE, 2012).

6 CONCLUSÕES

Na cinética de secagem das cascas de romã, verificou-se que a temperatura e o tempo de secagem são parâmetros inversamente proporcionais, ou seja, à medida em que a temperatura de secagem foi elevada o tempo de secagem foi reduzido. O tempo de secagem para que as cascas de romã atingissem o teor de água de equilíbrio foi de 1320, 1020 e 840 min para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. O modelo de Page foi selecionado para representar a cinética de secagem das cascas de romã. O aumento da temperatura de secagem promoveu o aumento da difusividade efetiva e a relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, com uma energia de ativação de 52,637 kJ mol⁻¹.

Verificou-se uma redução nos teores de umidade e pH das farinhas obtidas (FCR50, FCR60 e FCR 70), e um aumento na concentração dos percentuais dos parâmetros físico-químicos à medida em que houve aumento da temperatura de secagem e consequente redução do tempo de exposição das cascas à secagem, com exceção da vitamina C, sendo a farinha obtida na secagem a 70 °C (FCR70) com os melhores percentuais. As farinhas apresentaram boa solubilidade, fluidez e capacidade de escoamento aceitáveis, altas densidades e menores volumes, o que as torna mais compactas e de melhor facilidade para transporte e armazenamento.

As farinhas apresentaram propriedades físicas e físico-químicas adequadas, o que permite sua incorporação em novos produtos alimentícios.

A farinha FCR50 exibiu o maior percentual de extrativos utilizando água ou etanol 70%, sendo considerada a mais adequada do que as demais quando a finalidade é a produção de extratos.

Os extratos liofilizados apresentaram pH ácido, baixa umidade, alta solubilidade, altas densidade aparente e compactada, excelente fluidez e baixa coesividade.

A casca de romã apresenta potencial funcional, e os extratos em pó obtidos a partir da casca são excelente fonte de compostos bioativos, especialmente fenólicos totais e taninos, e expressiva atividade antioxidante. No entanto, esses parâmetros sofreram redução com o aumento da concentração do adjuvante maltodextrina nas amostras. O extrato liofilizado ELM35 se destacou com os maiores valores de compostos bioativos e maior capacidade antioxidante.

Os resultados obtidos indicam que os extratos da casca de romã, ELM35, ELM40 e ELM45, inibem a enzima acetilcolinesterase. Em destaque, o extrato ELM35 com os menores valores de IC_{50} e conseqüentemente maior poder de inibição enzimática.

Diante de todas as características e propriedades citadas, pode-se afirmar que a casca de romã representa uma fonte potencial e de baixo custo de antioxidantes naturais, com possibilidades de aplicação em produtos funcionais, como aditivos naturais em alimentos, e outras áreas afins. Além disso, seu potencial para a indústria farmacêutica é notável. Novas pesquisas relacionadas à bioacessibilidade e biodisponibilidade são importantes como uma forma de confirmar tais atividades de caráter antioxidante, e, para um melhor entendimento da absorção, digestibilidade e metabolismo desses extratos em pó no organismo humano.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFRUTAS - Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. **Estatística de exportações de frutas em 2021**. 2022. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2022/02/dados-de-exportacao-em-2021/>. Acesso em: 08 de outubro de 2022.

ALBUQUERQUE, A. P. **Caracterização de compostos bioativos obtidos por extração hidroalcolica da casca de cebola roxa**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Recursos Naturais, 2017.

ALBUQUERQUE, A. P. **Secagem da polpa de umbu-cajá com adição de cultura probiótica em leite de jorro e liofilizador**. 2021. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2021.

ALBUQUERQUE, A. P.; RODRIGUES, T. J. A.; CAVALCANTE NETO, J. L.; ROCHA, A. P. T. Utilização de polpa de frutas em pó carregadoras de probióticos como alimento funcional: aspectos gerais e perspectivas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.31019>.

ALBUQUERQUE JUNIOR, N. M. **Influência da secagem convectiva do resíduo agroindustrial de acerola verde na extração e encapsulamento de compostos bioativos**. 2022. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

ALMEIDA, A. S.; SANTOS, A. F. Flavonoides do Gênero Annona. **Diversitas Journal**, v. 3, n. 2, p.475-485, 2018. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v3i2.583>.

ALMEIDA, F. V. **Uso de resíduos agroindustriais na produção de superalimentos**. 2021. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, 2021.

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. A.; CABRAL, M. B, BARROS, E. R. Determinação de compostos bioativos e composição físico-química da farinha da casca de jabuticaba obtida por secagem convectiva e liofilização. **Research, Society and Development**, v. 9, n.1, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1876>.

ALVES, R. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P. Solar drying of cowpea bean combined with drying in a heat accumulator dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p.709-715, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p709-715>.

ALVES, V. M.; AMORIM, K. A.; ABREU, D. J. M.; SILVA, J. S.; ASQUIERI, E. R.; DAMIANI, C. Extração de taninos de farinha de semente de graviola por ultrassom. **Revista Desafios**, v. 6, 2019. <http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359365220196Especialp54>.

ALVES, T. B.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Efeitos da adição de agentes carreadores sobre o pó da polpa de pitaia vermelha (*H. polyrhizus*) liofilizada. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6105>.

ANDRADE, R. O.; FERREIRA, N. L. B.; LIMA, G. S.; LIMA, A. R. C.; FIGUEIREDO, C. F. V.; LIMA, E. H. S.; OLIVEIRA, S. R.; SANTOS, E. N.; GOMES, J. P.; ROCHA, A. P. T.; COSTA, G. A.; VILELA, A. F. Comportamento higroscópico da polpa de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) em pó obtida pelo método de liofilização com diferentes concentrações de maltodextrina. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.16515>.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

ANSILIERO, R.; CANDIAGO, N. T.; COMUNELLO, H. H.; MORAES, J. D.; SIMON, G.; SOUZA, E. L. Alternativas para aproveitamento de resíduos de frutas – uma revisão. **Anuário Pesquisa e Extensão**, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuv/article/view/24976/14879>. Acesso em: 07 de outubro de 2022.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of analysis of AOAC International. 18. ed. Washington: AOAC, 2005.

ARAÚJO, C. R. M.; SANTOS, V. L. A.; GONSALVES A. A. Acetilcolinesterase AChE: Uma enzima de Interesse farmacológico. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 6, p. 1818-1834, 2016.

ARAÚJO, K. T. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, R. C.; AMADEU, L. T. S.; PAIVA, Y. F. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo das polpas de noni e umbu. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13985>.

ARAÚJO, P. A. C. **Estudo da cinética de secagem do resíduo industrial de camu-camu (*Myrciaria dubia*), caracterização e extração por líquido pressurizado de seus compostos ativos**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2019.

ARAÚJO, T. M. R.; FARIAS, M. D. L.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; EÇA, K. S. Maltodextrin on the flow properties of green coconut (*Cocos nucifera* L.) pulp poder. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202044003220>.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170052>.

ATAÍDE, E. M. A.; SILVA, M. S.; BASTOS, D. C.; SOUZA, J. M. A. Qualidade pós-colheita de romã comercializada no semiárido pernambucano. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 5, n. 9, p. 429-436, 2018.

AWUCHI, C. G.; IGWE, V. S.; ECHETA, C. K. The functional properties of foods and flours. **International Journal of Advanced Academic Research**, v. 5, n. 11, p. 139-160, 2019.

AZIZ, M.; YUSOF, Y. A.; BLANCHARD, C. L.; SAIFULLAH, M.; FARAHNAKY, A.; SCHEILING, G. Material properties and tableting of fruit powders. **Food Engineering Reviews**, v. 10, n. 2, p. 66-80, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s12393-018-9175-0>.

BARBA, F. J.; ZHU, Z.; KOUBAA, M.; SANT'ANA, A. S.; ORLIEN, V. Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 49, p. 96-109, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.006>.

BARRAGÁN-CONDORI, M.; DELGADO-LAIME, M. C.; CARRASCO-SAUÑE, E.; QUISPE-GUTIÉRREZ, U. S. Antocianinas y capacidad antioxidante en extractos de frutos secos y congelados de *Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer. **Informacion Tecnológica**, v. 32 n. 5, 2021. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500003>.

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, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13724>.

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, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1608>.

BARROS, T. T.; TOSI, M. M.; ASSIS, O. B. G. Aproveitamento de rejeitos da cadeia hortofrutícola no processamento de plásticos biodegradáveis. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 215-229, 2017.

BARROS, Z. M. P. **Cascas de frutas tropicais como fonte de antioxidante para enriquecimento de suco pronto**. 2011. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

BECKER, M. M.; NUNES, G. S.; RIBEIRO, D. B.; SILVA, F. E. P. S.; CATANANTE, G.; MARTY, J. Determination of the antioxidant capacity of red fruits by miniaturized spectrophotometry assays. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 5, p. 1108-1114, 2019. <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20190003>.

BORGES, M. V.; SOUSA, E. B.; SILVEIRA, M. F. A.; SOUZA, A. R. M.; ALVES, M. V.; NUNES, L. B. M.; BARROS, S. K. A. Propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha do resíduo de açaí e sua utilização. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14517>.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 63, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o Regulamento

Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. **Diário Oficial da União**, n° 184, 23 de setembro de 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005.

CAGNIN, C.; LIMA, M. S.; SILVA, R. M.; PLÁCIDO, G. R.; SILVA, M. A. P.; FREITAS, B. S. M.; OLIVEIRA, D. E. C. Garlic: Kinetic drying and thermodynamic properties. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 4, p. 905-913, 2017. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v33n4a2017-36886>.

CÂMARA, V. S. **Dímeros análogos da Bis(n)-lofina, híbridos tianeptina-monoesquaramida e híbridos lofina-benzazol: síntese, atividade anticolinesterase e propriedades fotofísicas**. 2022. 196 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Química, Porto Alegre, 2022.

CAMARGO, V. C. S. **Avaliação in vivo de retinol em produtos (farinha e bolo sem glúten) oriundos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivar Beauregard biofortificada com carotenoides**. 2018. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências da Vida, Campinas, 2018.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>.

CARVALHO, A. J. B. A. **Aproveitamento da casca da manga ‘palmer’ submetida a diferentes técnicas de secagem para elaboração de pão de forma**. 2021. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2021.

CARVALHO, A. J. B. A.; SILVA, W. P.; MOREIRA, I. S.; SANTOS, N. C. Effect of drying temperature on the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of “Palmer” mango peels. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13860>.

CARVALHO, M. T.; BERGAMASCO, R.; GOMES, R. G. Métodos de extração de compostos bioativos: Aproveitamento de subprodutos na agroindústria. **Revista UNINGÁ Review**, v. 33, n. 1, p. 66-84, 2018.

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, n. 1, p. 199–205, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n120rc>.

CASTRO, R. B. N.; MONTENEGRO, J.; SOUZA, R. G. G.; CARRERO, I. P.; SILVA, O. F.; TEODORO A. J. Influência do processo de torrefação na capacidade antioxidante e nos teores de compostos fenólicos totais de café arábica (*Coffea arabica* L.). In: BARBOSA F. C.

Nutrição em foco: uma abordagem holística. 3 ed. Piracanjuba-GO: Conhecimento Livre, 2020. cap. 40, p. 543-553. <https://doi.org/10.37423/2020.edcl34>.

CAVALCANTE, A. M. M.; ALMEIDA, R. D.; MELO, A. M.; MORAIS, B. A.; SILVA, I. R.; RIBEIRO, N. L. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 11192-11209, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-113>.

CHAICOUSKI, A.; SILVA, J. E.; TRINDADE, J. L. F.; CANTERI, M. H. G. Determinação da quantidade de compostos fenólicos totais presentes em extratos líquido e seco de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p.33-41, 2014.

CHEN, X.D.; PATEL, K.C. Manufacturing better quality food powders from spray drying and subsequent treatments. **Drying Technology**, v. 26, p. 1313–1318, 2008. <https://doi.org/10.1080/07373930802330904>.

CONIDI, C.; CASSANO, A.; CAIAZZO, F.; DRIOLI, E. Separation and purification of phenolic compounds from pomegranate juice by ultrafiltration and nanofiltration membranes. **Journal of Food Engineering**, v. 195, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.017>.

CORONADO-REYES, J. A.; CORTÉS-PENAGOS, C. J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, J. C. Chemical composition and great applications to the fruit of the pomegranate (*Punica granatum*): a review. **Food Science and Technology**, Campinas, 2021. <https://doi.org/10.1590/fst.29420>.

CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; CAMPOS, S. C. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 575-581, 2011. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.7079>.

COSTA, C. F.; CORRÊA, P. C.; VANEGAS, J. D. B.; BAPTESTINI, F. M.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, L. S. Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of jabuticaba peel during the drying process. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 576-580, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p576-580>.

COSTA, G. A. **Carotenoides e compostos fenólicos de spondias do nordeste brasileiro: Composição e bioacessibilidade**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2018.

COSTA, J. P.; MOURA NETO, L. G.; RODRIGUES, S.; COSTA, J. M. C. Assessing the use of arabic gum as a drying adjuvant for powdered shrimp obtained using a spray dryer. **Ciência Animal Brasileira**, v. 21, 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v21e-56666>.

CRANK, J. **The Mathematics of diffusion**. 2ª ed. Oxford: Oxford University Press, 1975.

DANTAS, L. V. B.; LOPES, F. F. S.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; CARDOSO, A. L. H.; DE MORAIS, S. M. Avaliação fitoquímica, quantificação de fenóis e flavonoides totais,

atividade antioxidante e antiacetilcolinesterase do extrato etanólico da *Talisia esculenta* (Pitomba). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60597–60602, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-467>.

DEMIRAY, E.; TULEK, Y. Thin-layer drying of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer. **Heat Mass Transfer**, v. 48, p. 841–847, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s00231-011-0942-1>.

DENG, L.; YANG, X. H.; MUJUMDAR, A. S.; ZHAO, J. H.; WANG, D.; ZHANG, Q.; WANG, J.; GAO, Z. J.; XIAO, H. W. Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. **Drying Technology**, 2017. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1361439>.

DIAS, R. A. L. **Efeito da secagem em leito de jorro sobre a extração de fenóis e taninos totais da casca da romã (*Punica granatum*, L.)**. 2015. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2015.

DUARTE, M. T. L. **Qualidade da polpa de lichia em pó, obtida pelo processo de liofilização**. 2018. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2018.

ELLMAN, G. L.; COURTNEY, K. D.; ANDRES, V.; FEATHERSTONE, R. M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. **Biochemical Pharmacology**, v. 7, n. 2, p. 88–95, 1961. [http://dx.doi.org/10.1016/0006-2952\(61\)90145-9](http://dx.doi.org/10.1016/0006-2952(61)90145-9).

FARIAS, M. M. **Estudo da adição de polpa e farinha da casca de romã (*Punica granatum* L.) na qualidade de pães tipo forma**. 2018. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2018.

FARIA, M. T.; PEREIRA, S. M. F. Avaliação da Atividade Antioxidante e Características Físico-Químicas de Polpa de Romã (*Punica granatum*, L.). **Revista Científica da Faculdade de Medicina de Campos**, v. 14, n. 2, p. 20–27, 2019. <https://doi.org/10.29184/1980-7813.rcfmc.223.vol.14.n2.2019>.

FAWOLE, O. A.; MAKUNGA, N. P.; OPARA, U. L. Antibacterial, antioxidant and tyrosinase-inhibition activities of pomegranate fruit peel methanolic extract. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 12, n. 200, 2012. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-200>.

FEITOSA, B. F.; OLIVEIRA, E. N. A.; OLIVEIRA NETO, J. O.; FARIAS, A. M. T.; FEITOSA, R. M. Processamento de licores tipo creme como alternativa para o aproveitamento de resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, vol. 7, n. 16, p. 995-1010, 2020. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071633](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071633).

FERNANDES, M. R. V. **Padronização e avaliação biológica de extratos secos de *Psidium guajava* L. obtidos por spray drying**. 2013. 237 p. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2013.

FRANCIS, F. J.; Analysis of anthocyanins. *In*: Markakis P. (Ed). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, p. 181-207, 1982.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C. V.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SILVA, J. S.; REZENDE, T. A. M.; EGEA, M. B. Thermodynamic properties and drying kinetics of ‘okara’. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 418-423, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p418-423>.

GULLÓN, P.; ASTRAY, G.; GULLÓN, B.; TOMASEVIC, I.; LORENZO, J. M. Pomegranate peel as suitable source of high-added value bioactives: tailored functionalized meat products. Review. **Molecules**, v. 25, n. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25122859>.

HENRIQUE, A. S.; LOPES, G. C. A biodiversidade e a indústria de cosméticos: O uso dos flavonoides contra o envelhecimento cutâneo. **Revista UNINGÁ Review**, v. 29, n. 2, p. 58-63, 2017.

HOEHNE, L.; MARMITT, L. G. Métodos para a determinação de vitamina C em diferentes amostras. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v. 11, n. 4, 2019. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v11i4a2019.2280>.

IAL – Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª edição, 1ª edição digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

ISMAIL, T.; SESTILI, P.; AKHTAR, S. Pomegranate peel and fruit extracts: a review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 143, n. 2, p. 397–405, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2012.07.004>.

JARDINI F. A.; MARCINI FILHO J. Avaliação da atividade antioxidante em diferentes extratos da polpa e sementes da romã (*Punica granatum*, L.). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. v. 43, n. 1, p. 137-147, 2007.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; GARCÍA-PARILLA, M. C.; TRONCOSO, A. M.; FETT, R. Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 691-693, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400036>.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

LAMPAKIS, D.; SKENDERIDIS, P.; LEONTOPOULOS, S. Technologies and extraction methods of polyphenolic compounds derived from pomegranate (*Punica granatum*) peels. A Mini Review. **Processes**, v. 9, n. 236, p. 1-14, 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9020236>.

LEITE, D. D. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; SANTOS, F. S.; SILVA, S. N.; SANTOS, D. C. Mathematical modeling and thermodynamic properties in the drying of

citron watermelon seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.26, n.1, p.67-74, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p67-74>

LEITE, D. D. F.; SANTOS, F. S.; SANTOS, D. C.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da casca do abacaxi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v.12, n.4, p. 769-774, 2017.

LEMES, E. O. **Síntese de derivados β -cetoindois e avaliação da inibição da acetilcolinesterase**. 2018. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas a Produtos para Saúde) - Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, Anápolis, 2018.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, L. **Methods in Enzymology**. London, v. 148, p. 350–382, 1987.

LIMA, A. B. M. **Obtenção de farinha de abacaxi a partir da secagem dos resíduos agroindustriais da fruta para aplicação em formulações de cookies**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Natal, 2019.

LIMA, A. C. S. **Liofilização de extrato fenólico do coproduto do processamento do pedúnculo do caju**. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2019.

LIMA, A. R. N.; SANTOS, E. M. A.; PEREIRA, M. T. L.; SILVA JUNIOR, A. F.; OLIVEIRA, T. M. Q.; FARIAS, V. S. O.; FRANCO, C. M. R.; ATAÍDE, J. S. P. Otimização e simulação do processo de secagem de cascas de maracujá através de ferramentas empíricas e analíticas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 74271-74285, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n10-015>.

LIRA, A. L.; VESOLOSKI, J. F.; PERUZZOLO, M.; FLÔRES, D. Z.; CANSIAN, R. L.; PAROUL, N. Atividades antioxidante, antimicrobiana e compostos fenólicos de extratos comercial e *in natura* de *Curcuma longa*. **Revista Perspectiva**, v. 45, n. 169, p. 107-114, 2021. <https://doi.org/10.31512/persp.v.45.n.169.2021.146.p.107-114>.

LOCH-NECKEL, G.; SCHÜTZ, F. E.; DERNER, R. B.; LEMOS-SENNA, E. Obtenção de extratos secos de carotenoides a partir da biomassa da microalga *Haematococcus pluvialis* por secagem em torre de aspersão (spray-drying). **Revista Matéria**, v. 23, n. 4, 2018.

MACIEL, R. M. G.; LIMA, S. B.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n2-039>.

MAGALHÃES, M. P. D.; GANDRA, K. M. B.; CUNHA, L. R.; LIMA, E. M. F. Obtenção da farinha do resíduo do processamento de acerola e avaliação de compostos bioativos e nutritivos.

Research, Society and Development, v. 10, n. 14, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.20714>.

MAGALHÃES, W. L. E.; MATOS, M.; LOURENÇON, T. V. Metodologia científica: determinação da capacidade antioxidante de lignina pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico**. Embrapa, v. 417, Colombo, 2018.

MALVIYA, S.; ARVIND; JHA, A.; HETTIARACHCHY, N. Antioxidant and antibacterial potential of pomegranate peel extracts. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 12, p. 4132–4137, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0956-4>.

MANGUEIRA, E. R.; LEITE FILHA, M. S.; SILVA JUNIOR, J. J.; SILVA, C. F.; SOUSA, W. B.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; LIMA, A. G. B.; GRILO, M. B.; NASCIMENTO, J. J. S.; FARIAS NETO, S. R.; ROCHA, A. P. T. Análise da cinética de secagem em camada fina de grãos de lentilha - *Lens Culinaris*. **Research, Society and Development**, v. 10, n.10, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.192581>.

MARCHI, L. B. **Avaliação da atividade antioxidante e atividade antimicrobiana extratos de cascas de romãs (*Punica granatum L.*) submetidas a dois diferentes métodos de secagem**. 2014. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Maringá, 2014.

MARCUCCI, M. C.; SALATINO, A.; OLIVEIRA, L. F. A. M.; GONÇALVES, C. P. Metodologias acessíveis para a quantificação de flavonoides e fenóis totais em própolis. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 1, 2021. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20200131>.

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.3, p.238–244, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p238-244>.

MARTINS, I. R.; AMORIM, I. S.; SILVA, E. S. S.; AMORIM, D. S.; MONTEIRO, J. S.; SENA, K. R. C.; ARAÚJO, F. M. M.; JOELE, M. R. S. P. Farinha da casca de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*): Obtenção e caracterização da composição físico-química. *In: Ciência e Tecnologia dos Alimentos*. 1 ed. Belo Horizonte: Poisson, 2021. cap. 6, v. 11, p. 30-38. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-097-2>.

MARTINS, Q. S. A.; BARROS, H. E. A.; SILVA, S. L. C.; GUALBERTO, S. A.; SILVA, M. V. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 591-608, 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p591-608>.

MARTINS, T. S. **Produção de coproduto de araçá (*Psidium cattleianum*): Características da farinha e sua aplicação como novo ingrediente na indústria de panificação**. 2019. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, João Pessoa, 2019.

MARSIGLIA, W. I. M. L.; SANTIAGO, A. M.; ALVES, A. G.; ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; MUNIZ, C. E. S.; GALDINO, P. O.; MOTA, M. M. A.; ALMEIDA, M. M. Modelagem e simulação do processo de secagem das cascas de jaboticaba (*Myrciaria*

cauliflora). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13214>.

MASSARDI, M. M.; MASSINI, R. M. M.; SILVA, J. D. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 06, n. 01, 2020. <http://dx.doi.org/10.18540/jcecvl6iss1pp0083-0091>.

MENEZES FILHO, A. C. P.; CASTRO, C. F. S. Avaliação físico-química e tecnológica de farinhas obtidas a partir dos resíduos de frutos. **Revista Eixo**, v. 9, n. 3, 2020.

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

MENEZES, S. M. S. **Avaliação da eficácia antimicrobiana do extrato hidroalcoólico dos frutos de *Punica granatum L.* (romã) na placa bacteriana**. 2004. Dissertação (Mestrado em Farmacologia Clínica) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Farmacologia, Fortaleza, 2004.

MOORE, G. R. P.; CANTO, L. R.; AMANTE, E. R.; VALDIR SOLDI, A. Cassava and corn starch in maltodextrin production. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 596-600, 2005.

MORADI, A. G.; RAHMANI, F.; AZIZ, A. S.; QIAMI, M. F. Effects of feeding pomegranate peel silage on feed intake and growth performance of Turkey bred sheep. **International Journal of Agricultural Research Innovation & Technology**, v. 10, n. 2, p. 146-154, 2020.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. Procedimentos para Análise Lignocelulósica. **Documentos**. Embrapa. v. 236, Campina Grande, 2010.

MORAIS, R. A.; MELO, K. K. S.; OLIVEIRA, T. T. B.; TELES, J. S.; PELUZIO, J. M.; MARTINS, G. A. S. Caracterização química, física e tecnologia da farinha obtida a partir da casca de Buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*). **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23307-23322, 2019. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n11-050>.

MORAIS, S. M.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; PINHEIRO, S. O.; SILVA, A. C. S.; SILVA, W. M. B. Atividades antioxidantes e anticolinesterásicas do extrato das folhas de Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 28802-288, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-358>.

MOREIRA, I. S.; ROCHA, R. H. C.; PAIVA, E. P.; SILVA, H. S.; SOUSA, F. A. Biometria e componentes físico-químicos de romã armazenada sob refrigeração. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 209-215, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4532501>.

MOREIRA, I. S.; SILVA, W. P.; CASTRO, D. S.; SILVA, L. M. M.; GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S. Production of kiwi snack slice with different thickness: Drying kinetics, sensory and physicochemical analysis. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 05, p.778-787, 2018. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.05.PNE925>.

MORZELLE, M. C. **Resíduos de romã (*Punica granatum*) na prevenção da doença de Alzheimer**. 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

MORZELLE, M. C. **Efeito neuroprotetor da casca de romã (*Punica granatum*)**. 2016. 124 p. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.

MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R.; DEVILLA, I. A.; RODOLFO JUNIOR, F. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 04, p. 318-328, 2017.

MOSQUERA-VIVAS, E. S.; AYALA-APONTE, A. A.; SERNA-COCK, L. Ultrasonido y deshidratación osmótica como pretratamientos a la liofilización de melón (*Cucumis melo* L.). **Información Tecnológica**, v. 30, n. 3, p. 179-188, 2019. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300179>.

MOTA, W. M.; BARROS, M. L.; CUNHA, P. E. L.; SANTANA, M. V. A.; STEVAM, C. S.; LEOPOLDO, P. T. G.; FERNANDES, R. P. M. Avaliação da inibição da acetilcolinesterase por extratos de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 4, p.624-628, 2012.

MOURA, L. S. M.; ASCHERI, J. L. R.; SILVA, C. C. O.; MORO, T. M. A.; CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R. Propriedades de absorção e solubilização de extrudados de farinha mista de feijão, milho e arroz biofortificados. **IV Reunião de Biofortificação**. Teresina-PI, 2011. Disponível em: Propriedades de absorção e solubilização de extrudados de farinha mista de feijão, milho e arroz biofortificados. - Portal Embrapa. Acesso em: 23 de abril de 2022.

NEVES, A. M.; MORAIS, S. M.; SANTOS, H. S.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, R. C. V.; SOUZA, E. B.; ANDRADE, L. B. S.; FONTENELLE, R. O. S. Prospecção química, atividade antioxidante, anticolinesterásica e antifúngica de extratos etanólicos de *Senna Mill.* (Fabaceae). **Hoehnea**, v. 49, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-111/2020>.

NOGUEIRA, L. P. S.; CALVACANTI, M. T.; SOUZA, P. A.; FONSECA, J. V. S.; MYCHELLE DE LIRA ANDRADE, M. L. Beneficiamento e caracterização de resíduos da romã orgânica para aproveitamento agroindustrial. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 60-63, 2020.

OLIVEIRA, B. A. S.; ASSIS, A. M.; SCHUCH, M. W.; FISCHER, D. L. O.; MATOS, M. G.; FISCHER, L. O.; BERGMANN, A. R. Caracterização físico-química de polpa e casca de pitaya ‘Golden’. **Research, Society and Development**, v. 10, n.14, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.225401>.

OLIVEIRA, F. B.; SANTIAGO, A. M.; MARSIGLIA, W. I. M. L.; BARBOSA, A. G. A.; SILVA, M. C. S.; GOUVEIA, A. G. M.; NASCIMENTO, M. G. S.; SILVESTRE, M. L.; GALDINO, P. O.; MOTA, M. M. A. Produção e caracterização da farinha da casca da banana. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17017>.

OLIVEIRA, V. A.; VERONEZI, C.M.; JORGE, N. Avaliação do óleo de soja adicionado de extratos de cascas e sementes de romã (*Punica granatum* L.). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Francisco Beltrão, v. 14, n.02, p. 3284-3297, 2020.

ONIAS, E. A.; ARAÚJO, R. H. C. R.; SOUSA, T. C. F.; OLIVEIRA, A. M. F.; QUEIROGA, T. B. Composição mineral da casca, semente e arilo da romã durante o desenvolvimento do fruto. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 12, p. 102392-102403, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-657>.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PANSERA, M. R.; SANTOS, A. A.; PAESE, K.; WASUM, R.; ROSSATO, M.; ROTA, L. D.; PAULETTI, G. F.; SERAFINI, L. A. Análise de taninos totais em plantas aromáticas e medicinais cultivadas no Nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 13, n. 1, p. 17-22, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2003000100002>.

PEREIRA, L. F. A.; FIRMO, W. C. A.; COUTINHO, D. F. A importância do reaproveitamento de resíduos da indústria alimentícia: o caso do processamento de frutas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34089>.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

PIRES, J.; TORRES, P. B.; SANTOS, D. Y. A. C.; CHOW, F. Ensaio em microplaca do potencial antioxidante através do método de sequestro do radical livre DPPH para extratos de algas. **Instituto de Biociências**, Universidade de São Paulo, 2017. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27450.08640>.

PONTES, E. D. S.; ARAÚJO, M. G. G.; OLIVEIRA, N. D. O.; PIOVESAN, N.; BOEIRA, C. P.; FLORES, D. C. B.; ELIAS, D. P.; VIERA, V. B. Diferentes métodos de extração de compostos bioativos de vegetais. **International Journal of Nutrology**, v. 11, n. 1, 2018. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1674609>.

RAMOS, S. A.; PEREIRA, R. D.; ANDRESSA, I.; SCHIMIELE, M.; AMARAL, T. N. Desenvolvimento de cookies com coprodutos de frutas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8918>.

RANJITHA, J.; BHUVANESHWARI, G.; DEEPA TERDAL, D.; KAVYA, K. Nutritional composition of fresh pomegranate peel powder. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 4, p. 692-696, 2018.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

REINOSO, A. C. L.; SOUZA, R. R.; CARNELOSSI, M. A. G.; CONCEIÇÃO, A. M.; BERY, C. C. S.; OLIVEIRA, J. K. Efeitos das temperaturas na conservação dos minerais em farinhas de cascas de mangas. **Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente**, v. 5, n. 2, p. 25 – 32, 2017. <http://dx.doi.org/10.17564/2316-3798.2017v5n2p25-32>.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Flow behavior of cocoa pulp powder containing maltodextrin. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 23, 2020. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.03420>.

RIGUETO, C. V. T.; NAZARI, M. T. ROSSETTO, M.; DETTMER, A.; GERALDI, C. A. Q.; PICCIN, J. F. Influence of foam-mat drying temperature of red jambo (*Syzygium malaccense*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2382>.

RODRIGUES, B. K. M. **Liofilização de polpa de manga (*Mangifera indica* L.) c.v tommy atkins: condições de secagem e estabilidade**. 2017. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2017.

RODRIGUES, D. D.; SEIBEL, N. F. Aproveitamento de resíduos agroindustriais de origem vegetal para alimentação humana. In: CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, E. M.; SILVA, B. A. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: Pesquisa e Práticas Contemporâneas**. 1 ed. Editora Científica Digital, 2021. cap. 6, p. 90-105. <https://doi.org/10.37885/210504550>.

RODRIGUES, L. A. N.; BELISÁRIO, C. M.; CASTRO, C. F. S.; RODRIGUES, T. G. C.; FERREIRA, A. A. R. Fenólicos totais e capacidade antioxidante de extratos de casca, folha e fruto do muricizeiro. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 12, n. 5, p.47-52, 2018.

RODRIGUES, T. J. A. **Secagem em leito de jorro de polpa de cajá com adição de culturas probióticas**. 2020. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2020.

ROWAYSHED, G.; SALAMA, A.; ABUL-FADL, M.; AKILA-HAMZA, S.; EMAD, A. Mohamed Nutritional and chemical evaluation for pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peel and seeds powders by products. **Middle East Journal of Applied Sciences**, v. 3, n. 4, p. 169-179, 2013.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PEREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Comunicado Técnico On line**. Embrapa, v. 125, Fortaleza, 2006.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PEREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: determinação da atividade

antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS. **Comunicado Técnico On line**. Embrapa, v. 128, Fortaleza, 2007a.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PEREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico On line**. Embrapa, v. 127, Fortaleza, 2007b.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S.J.D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, n. 1, p. 37-43, 2015.

SANTOS, A. M.; SANTOS, A. H.; FERNANDES, A. P. S.; SOARES, D. S. B.; PINTO, E. G.; MARTINS, W. F.; LEMES, A. C. Determinação dos teores de minerais em polpa de manga (*mangifera indica l.*) de diferentes cultivares. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 71888-71895, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n9-582>.

SANTOS, D. C.; LEITE, D. D. F.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; SANTOS, F. S.; LIMA, T. L. B.; FIGUEIREDO, R. M. F.; COSTA, T. N. Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem de fatias de acuri. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 22, 2019. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.03118>.

SANTOS, D. S.; RODRIGUES, M. M. F. Atividades farmacológicas dos flavonoides: um estudo de revisão. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 7, n. 3, p. 29-35, 2017. <https://doi.org/10.18468/estcien.2017v7n3.p29-35>.

SANTOS, F. S.; ARAÚJO, A. C.; ARAÚJO, K. T. A.; COSTA, M. S.; GOMES, J. P. Estudo das propriedades físicas do extrato da flor de hibisco (*Hibiscus sabdariffa*) liofilizado em diferentes formulações. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC)**, Maceió, 2018.

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, p. 91-100, 2021. <https://doi.org/10.19084/rca.21469>.

SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SANTOS, D. C. Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed 'pitaya' peels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 872-877, 2017.

SANTOS, F. S.; LEITE, D. D. F.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da romã. **Revista Espacios**, v. 38, n. 52, p. 27, 2017.

SANTOS, J. A.; ACEVEDO, A. F. G.; LACERDA, V. R.; VIEITES, R. L. Caracterização físico-química, nutricional e compostos bioativos de romã. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.22777>.

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. Modelagem matemática aplicada a cinética de secagem das cascas de pitomba (*Talisia*

esculenta). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1986>.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; SILVA, L. R. I.; MUNIZ, C. E. S.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A. Determinação dos parâmetros cinéticos durante o processo de secagem da casca de abacaxi. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2794>.

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, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1609>.

SANTOS, T. C.; GOMES, T. M.; PINTO, B. A. S.; CAMARA, A. L.; PAES, A. M. A. naturally occurring acetylcholinesterase inhibitors and their potential use for Alzheimer's disease therapy. **Frontiers in Pharmacology**, v. 9, n. 1192, 2018. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01192>.

SEERANGURAYAR, T.; MANICKAVASAGAN, A.; AL-ISMAILI, A. M.; AL-MULLA, Y. A. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p.33–43, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.016>.

SHARMA, A.; JANA, A. H.; CHAVAN, R. S. Functionality of milk powders and milk-based powders for end use applications: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 5, p. 518-528, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00199.x>.

SHIMIZU, G. D.; DE PAULA, J. C. B.; NEVES, C. S. V. J.; PACHECO, C. A. Quality of pomegranate peel cultivar Valenciana as determined by different drying methods. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 42, n. 2, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452020431>.

SHUEN, G. W.; YI, L. Y.; YING, T. S.; VON, G. C. Y.; YUSOF, Y. A. B.; PHING, P. L. Effects of drying methods on the physicochemical properties and antioxidant capacity of Kuini powder. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08620>.

SILVA, H. R. P.; CUCO, R. P.; PORCIUNCULA, B. D. A.; SILVA, C. Avaliação dos parâmetros termodinâmicos e cinéticos de cenouras submetidas a secagem convectiva. **e-xacta**, v. 10, n. 2, p. 73-80, 2017. <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v10i2.2171>.

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of 'Cabacinha' pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p.174-180, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n2p174-180>.

SILVA, L. E.; CONFORTIN, C.; AMARAL, W.; ALBERTON, M. D.; PAIM, M.; SANTOS, S. C.; REBELO, R. A. Screening for inhibitory activity of volatile oils from Piper spp. on

acetylcholinesterase and α -glucosidase. **Rodriguésia**, v. 72, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202172079>.

SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 310-318, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.3014>.

SILVA, M. O; BRIGIDE, P.; TOLEDO, N. M. V.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Phenolic compounds and antioxidant activity of two bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) submitted to cooking. **Brazilian Journal of Food Technology** Campinas, v. 21, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.7216>.

SILVA, M. V.; DEMCZUK JUNIOR, B.; VISENTAINER, J. V. Produção e caracterização de maltodextrinas e sua aplicação na microencapsulação de Compostos alimentícios por *Spray Drying*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 16, n. 1, p. 111-126, 2014. <http://dx.doi.org/10.5935/RECEN.2014.01.07>.

SILVA, S. N.; SILVA, R. M.; SILVA, L. P. F. R.; SILVA, P. B.; GOMES, J. P. Atributos físicos de farinha obtida de cascas de banana. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC)**, Maceió, 2018.

SILVEIRA, A. G. **Desenvolvimento de pó de extrato de frutos verdes de aceroleira com elevado potencial antioxidante**. 2020. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2020.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p203-208>.

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum* L.) peel: A review. **Food Chemistry**, n. 261, p. 75–86, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.039>.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 564–568, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.015>.

SOTO, J. L. M.; GARCÍA, L. M.; GONZÁLEZ, J. V.; NICANOR, A. B.; CRUZ, L. G. Influence of starch source in the required hydrolysis time for the production of maltodextrins with different dextrose equivalent. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 69, p. 13428-13435, 2012. <http://dx.doi.org/10.5897/AJB12.2257>.

SOUSA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; COSTA, J. D.; MACEDO, A. D. B.; SANTANA, R. A. C. Cinética de secagem de resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12610>.

SOUSA, N. C. F.; GONZAGA, L. F.; RODRIGUES, J. F. S.; FERNANDES, E. S. Propriedades farmacológicas de *Punica granatum* L. (romã): uma revisão de literatura. **Revista Ceuma Perspectivas**, vol. 31, n. 1, p. 57-67, 2018.

SOUZA, J. F.; AMARAL, V. A.; ALVES, T. F. R.; BATAIN, F.; CRESCENCIO, K. M. M.; BARROS, C. T.; RIOS, A. C.; CHAUD, M. V. Polyphenols isolated from pomegranate juice (*Punica granatum* L.): Evaluation of physical-chemical properties by FTIR and quantification of total polyphenols and anthocyanins content. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p.64236-64254, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n9-017>.

TREVISAN, J. M.; CORBELLINI, V. A.; BACCAR, N. M.; ROHLFES, A. L. B. Farinhas de vegetais como fontes de carotenoides: Uma revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 8, n. 2, p. 03-10, 2018. <https://doi.org/10.17058/rjp.v8i2.12276>.

URGANCI, U.; ISIK, F. Quality characteristics of biscuits fortified with pomegranate peel. **Akademik Gıda**, v. 19, n. 1, p.10-20, 2021. <http://dx.doi.org/10.24323/akademik-gida.927462>.

VEBER, J.; PETRINI, L. A.; ANDRADE, L. B.; SIVIERO, J. Determinação dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante de extratos aquosos e etanólicos de jambolão (*Syzygium cumini* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2015. https://doi.org/10.1590/1983-084X/12_181.

VAZ JÚNIOR, S. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: Uma abordagem sustentável. **Documentos** 31. 1 ed. 26 p. Embrapa Agroenergia, Brasília – DF, 2020.

VIDAL, H. G.; ARAUJO, L. F.; BARBOSA JUNIOR, J. L. Drying temperatures on the functional properties of purple-fleshed sweet potato. **Ciência Rural**, v. 52, n. 6, 2022. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201044>

VILLA-VÉLEZ, H. A. V.; VÁQUIRO, H. A.; LOPES-FILHO, J. F.; TELIS, U. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Study of the specific heat capacity of biomass from banana waste for application in the second-generation ethanol industry. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 34, n. 4, p. 1221–1228, 2015. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.12090>.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocaltea. Micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

XIAO, Z.; XIA, J.; ZHAO, Q.; NIU, Y.; ZHAO, D. Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 298, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120113>.

ZAGO, G. R.; GOTTARDO, F. M.; BILIBIO, D.; FREITAS, C. P.; BERTOL, C. D.; DICKEL, E. L.; SANTOS, L. R. Pomegranate (*Punica granatum* L.) peel lyophilized extract delays lipid oxidation in tuscan sausages. **Ciência Rural**, v. 50, n. 4, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20190689>.

ZAPATA, L. M.; CASTAGNINI, J. M.; QUINTEROS, C. F.; VEUTHEY, M. J. Drying kinetics modeling of apple and zucchini slices vacuum impregnated with anthocyanins. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 10, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180839>.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, p. 2225-2253, 1996. <https://doi.org/10.1080/07373939608917205>.